

1. Basım

RADYASYON VE SAĞLIĞIMIZ?

Fizik Y.Müh., Dr. Yüksel ATAKAN

www.nobelyayin.com





NOBEL AKADEMİK YAYINCILIK EĞİTİM DANIŞMANLIK TİC. LTD. ŞTİ.

YAYIN NU : 832
Fen Bilimleri Nu : 74
ISBN : 978-605-133-734-0
© 1. Basım, Şubat 2014

RADYASYON VE SAĞLIĞIMIZ? **Fizik Y.Müh.Dr. Yüksel ATAKAN**



Copyright 2014, NOBEL AKADEMİK YAYINCILIK EĞİTİM DANIŞMANLIK TİC. LTD. ŞTİ. SERTİFİKA NU 20779
Bu baskının bütün hakları Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti'ne aittir. Yayınevinin yazılı izni olmaksızın, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayımı, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz.

Genel Yayın Yönetmeni: Nevzat Argun -nargun@nobelyayin.com-
Fen Bilimleri Dizi Editörü: Prof. Dr. Mehmet Karataş -mkaratas@nobel.gen.tr- www.nobel.gen.tr-

Redaksiyon: Gönül Ekici -gonul@nobelyayin.com-
Sayfa Tasarım: Şerikan Kara -serikan@nobelyayin.com-
Kapak Tasarım: Pınar Özen-pinar@nobelyayin.com-
Baskı Sorumlusu: Halil Yeşil
Baskı ve Cilt: Hazar Matbaacılık / Sertifika No: 26482
Kazım Karabekir Cad. 7/56-57 İskitler Ankara

Dağıtım: Volkan Kurt -volkankurt@nobelyayin.com- +90 312 418 20 10
Emrah Dursun -emrah@nobelyayin.com-
Tantım: Sadık Küçükakman -sadic@nobelyayin.com-
Yavuz Şahin -yavuz@nobelyayin.com-
Onur Uysal -onur@nobelyayin.com-
Çetin Erdoğan -cetin@nobelyayin.com-
Serdar Döğür -serdar@nobelyayin.com-
Serhat Geçkaldı -serhat@nobelyayin.com-
e-satis: Volkan Özdemir -esatis@nobelkitap.com-
Sipariş: siparis@nobelyayin.com-

KÜTÜPHANE BİLGİ KARTI

Atakan, Yüksel.

Radyasyon ve Sağlığımız / Yüksel Atakan

1. Basım, XVI + 378 s., 135x215 mm

Kaynakça ve dizin var.

ISBN 978-605-133-734-0

1. Radyasyon, 2. Nükleer, 3. Cep telefonları, 4. Baz istasyonları, 5. Çernobil, 6. Fukuşima, 7. Akkuyu,
8. Elektrik Enerjisi, 9. Fotovoltaik, 10. Trafolar, 11. BT, 12. MRT 13. Kanser riski
14.Sulardaki radyoaktivite, 15.Radon kaplıcaları



NOBEL AKADEMİK YAYINCILIK EĞİTİM DANIŞMANLIK TİC. LTD. ŞTİ
Ankara Değirgen Kültür Mah. Mithatpaşa Cad. No: 74 B-01/02 K44ay / ANKARA
Tel: 0312 418 20 10 Faks: 0312 418 30 20 / www.nobelyayin.com nobel@nobelyayin.com
Merkiz: 1020 Abdülmecid Çayırca Cad. No: 2/A Osmangazi / ANKARA Tel/Faks: 0312 388 00 91



www.nobelkitap.com

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----------|
| ANA BÖLÜM I: RADYASYON, RADYOAKTİVİTE, VÜCUDA ETKİLER VE RISK KAVRAMI | 1 |
| Bölüm 1: Radyasyonla İlgili Kısa Açıklamalar | 3 |
| Bölüm 2: İyonlaştırıcı Radyasyonlar Vücudumuzu Nasıl Etkiliyor? ... | 7 |
| Radyasyon Fiziği, Radyasyon, Radyoaktivite ve Radyasyon Dozuna Yakından Bakış..... | 10 |
| Doğal ve Yapay Radyasyon Dozlarının Karşılaştırılması ve Vücutta Hasar Oluşma Riski..... | 24 |
| Uluslararası Radyasyon Kurumlarının Kanseri Riskiyle İlgili Belirlemeleri Neler? | 34 |
| Radyasyon, Vücudumuzu Nasıl Etkiliyor? Hücrelerdeki Tepkimeler | 35 |
| Radyasyondan Korunma Yöntemleri ve Doz Sınır Değerleri?..... | 38 |
| Düşük Dozlarla İlgili Hesaplanan Kanseri Riski Belirlemeleri Ne Ölçüde Gerçekçi?..... | 41 |
| Bölüm 3: Nerelerden Işınlanıyoruz, Bizleri Etkileyen Radyasyon Kaynakları Neler?..... | 55 |
| Kozmik Işınlardan Vücutta Oluşturduğu Radyasyon Dozu ve Sağlığa Etkisi? | 55 |
| Uçak Yolculuklarında Kozmik Işınlardan Alınan Radyasyon Dozları Ne Kadar? | 57 |
| Tütündeki Radyoaktivite, Radyasyon Dozu ve Kanseri Riski? | 60 |
| Gece İşildayan Kol Saatlerinin Saçtığı Radyasyon Bileşimini Çok mu Işınlıyor?..... | 65 |
| Bölüm 4: Sulardaki Radyoaktif Maddeler ve Sağlığımız..... | 67 |
| Sulardaki Yabancı Maddelerin İnsana Ulaşım Yolları ve Üst Sınır Değerler | 67 |
| İçme Sularındaki Uranyumun Sağlığa Etkisi? Almanya'da ve Türkiye'de Durum | 72 |
| İçme Sularındaki Radonun Sağlığa Etkisi? Doz ve Risk Hesaplamaları, Alınabilecek Önlemler | 75 |
| Radon Kaplıcalarında Alınan Radyasyon Dozları ve Kanseri Riski?.. | 84 |
| Türkiye'de Avrupadakilere Benzer Radon Kaplıcaları var mı?..... | 93 |

ANA BÖLÜM II: NÜKLEER SANTRALLAR97

Bölüm 5: Nükleer Güç Santrali (NGS) Çalışırken Ortaya Çıkan

Radyoaktif Maddeler 99

| | |
|--|-----|
| Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Radyoaktivitenin Sınırlanması / Almanya'daki Otomatik Ölçüm Sistemleri ve Çevrede Yaşayanlarda Oluşan Dozlar | 102 |
| Türkiye'de Planlanan Nükleer Santralin Ölçütleri ve Radyasyon Ölçüm Sistemleriyle ilgili Bazı Öneriler | 111 |
| Almanya ve Başka Ülkelerde Yapılan Kapsamlı Bilimsel Araştırmaların Sonuçları | 113 |
| Kömürlü Elektrik Santralleri Çevrede, Nükleer Santrallardan Daha mı Çok Radyasyon Dozu Oluşturuyor? | 118 |

Bölüm 6: Çernobil Kazası ve Sonuçları..... 121

| | |
|---|-----|
| Almanya ve Türkiye'deki Doz ve Risk Değerlendirmeleriyle Çernobil Radyoaktivitesinin Sağlığıımıza Etkisinin Belirlenmesi | 121 |
| Almanya'da Çernobil Radyasyon Dozlarının Oluşturabileceği Sağlık Riski | 128 |
| Türkiye'de Çernobil Radyasyon Dozlarının Oluşturabileceği Sağlık Riski: Bir Yaklaşım | 128 |
| Çernobil'in Sağlığıımıza Etkisini Belirlemedeki Sorunlar Neler? | 132 |
| Rize Üniversitesi Bahçesinde Gömülü Yüksek Radyoaktiviteli Çaylarla İlgili Basındaki Açıklamalar Radyasyon Fizikine Göre Yanlışlar ve Doğrular..... | 139 |

Bölüm 7: Fukuşima Kazası ve Sonuçları..... 147

| | |
|---|-----|
| Büyük Deprem, Tsunami ve Nükleer Reaktörlerdeki Patlamalardan Sonra Fukuşima Nükleer Güç Santrallerinde ve Çevrede 2011 Sonundaki Durum | 147 |
| Fukuşima Çevresindeki Kirlenme ve Santral Personelindeki Radyasyon Dozları | 151 |
| Fukuşima'daki 'Radyasyon Kaçağı ya da Sızıntısı' Değil, 'Radyoaktif Madde Kaçağı, Sızıntısı ya da Salınması'dır | 152 |
| Fukuşima Nükleer Kazasının Sağlık RaporuDünya Sağlık Örgütü'nün 28 Şubat 2013 günü açıkladığı Fukuşima Raporu | 156 |
| Fukuşima'da Süregelen Kazalarda Yayılan Radyoaktiviteden Japonya'ya Uğrayanların Sağlığı Etkilenir mi? | 161 |
| Japonya'da Kısa Süre Kalanların Etkilenebileceği Radyasyon Dozları | 163 |

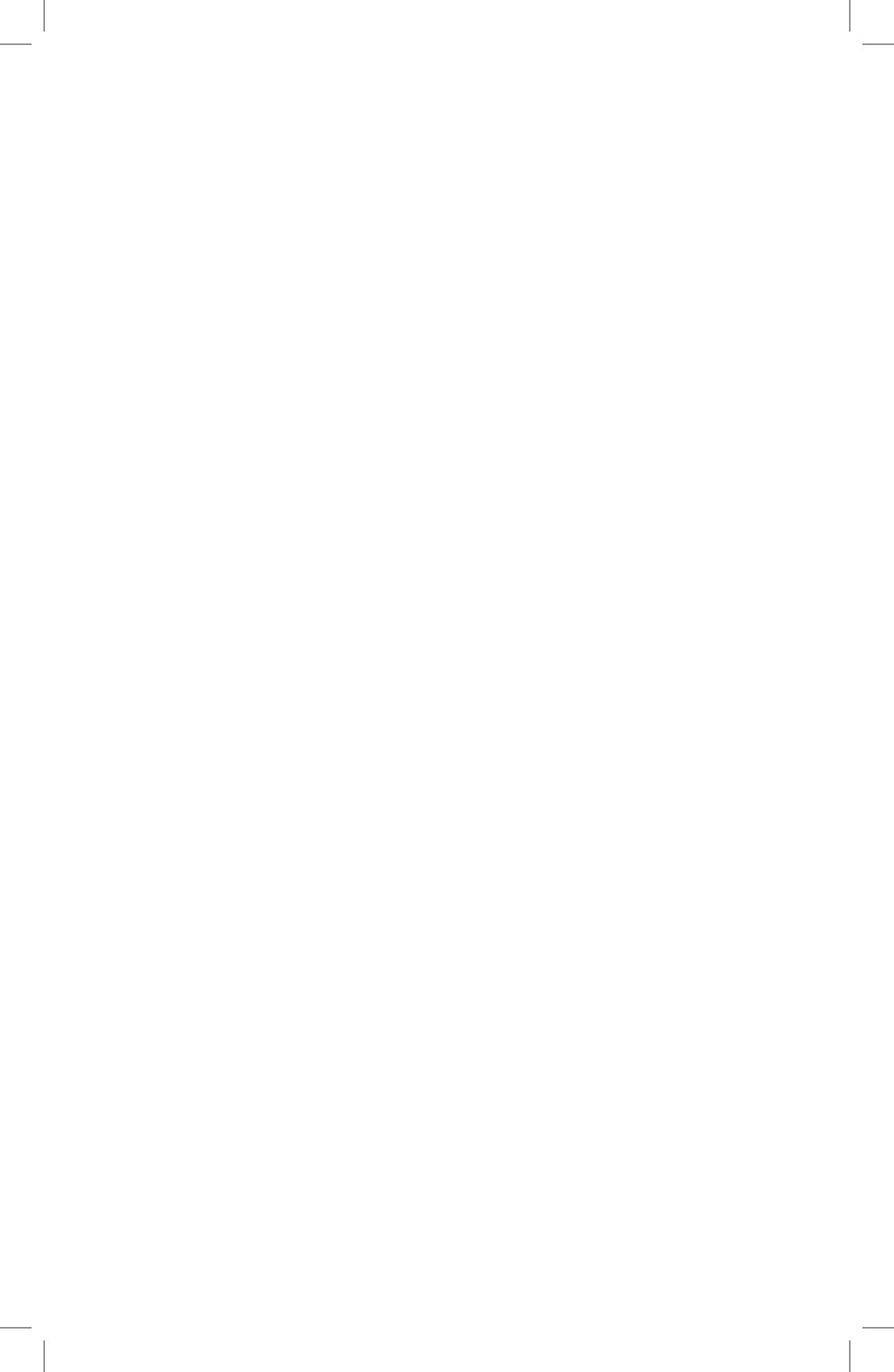
Bölüm 8: Geleceğin Nükleer Santralleri 165

| | |
|--|-----|
| Yüksek Güvenlikte Bir Nükleer Santralde Bulunması Gereken Teknik Özellikler ve Akkuyu Nükleer Santralinin Güvenliğine Bir Bakış..... | 165 |
| Akkuyu Nükleer Santral Yapımında Hangi Denetimler Gereklidir? | 177 |

| | |
|--|-----|
| 3.Kuşak Bir Nükleer Santralin Finlandiya'da Yapımı Sürerken Alınabilecek Dersler | 180 |
| Akkuyu Santralıyla ilgili Politik ve Teknik Duruma Dışardan Bakış .. | 185 |
| Hükümetlerin Konuya Yaklaşımı Yönünden Durumun İncelenmesi..... | 186 |
| Nükleer Karşıtların, Muhalefetin ve Halkın Konuya Yaklaşımı Yönünden Durumun İncelenmesi | 188 |
| Greenpeace"ın 'Nükleer Enerji Hiçbir Zaman Güvenli Değildir' yazısı üzerine bazı gerçekler | 190 |
| Yenilenebilir Enerjiler, Elektrik Açığını Kapatacak mı? Almanya'daki Büyük Sorunlar | 194 |
| Bölüm 9: Teknolojide Radyoaktif Maddelerin, Radyasyonun Kullanıldığı Bazı Önemli Uygulamalar..... | |
| Hızlandırılmış Ağır İyonlarla Tümörlerin Yok Edilmesi-Kanserli Hücreleri Işınlamada Yeni Bir Teknik..... | 197 |
| Uranyumlu Mermilerin Kullanılmasıyla Vücutta Oluşabilecek Radyasyon Dozları ve Kanser Riski? Körfez ve Balkan Savaşları Sendromları (Hastalık Görünümleri) | 204 |
| ANA BÖLÜM III: İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYONLAR (IŞINLAR)..... | |
| Bölüm 10: Cep Telefonları ve Baz İstasyonlarının Yayıdığı Radyasyonlar | |
| Cep Telefonlarından Kaynaklanan Düşük Dozun Vücuda Etkisini Belirlemedeki Güçlükler | 222 |
| Mobil İletişim Nasıl Sağlanıyor? Baz İstasyonları Çevrelerindeki Ölçümler ve İnsana Etkileri? | 230 |
| Almanya'da Baz İstasyonları Çevresinde Yapılan Ölçümler ve Değerlendirmeler | 238 |
| Almanya'da Baz İstasyonları Çevresindeki Ölçümlere Örnekler | 242 |
| Cep Telefon Kullanımı Beyinde Tümör Oluşturuyor mu? 1997'den beri Süregelen Uluslararası 'İnterfon' Araştırması ve Ara Sonuçları | 245 |
| 'Baz İstasyonları Tehlikeli mi ?' Düşük Işınlanma Dozunun Sağlığımıza Etkileriyle İlgili Bilimsel Belirsizlik | 246 |
| Çatılardaki Baz İstasyonları Çatı Altında Oturanların Sağlığını Etkiliyor mu? | 251 |
| Baz İstasyonları Neden Kent Dışında Değil de, Kentteki Binaların Çatısına Kuruluyor? | 253 |
| Bina İçlerinde Kullanılan Kablosuz (DECT) Telefonların ve Küçük Baz İstasyonlarının Yayıdığı Elektromanyetik Dalgaların Vücuda Etkisi | 256 |
| Kalp Pili ya da Metal Kapakçıklı Bir Gitarist Elektrogitarın Manyetik Alanından Ne Ölçüde Etkilenir? Bir Soruya Yanıt..... | 261 |

| | |
|--|------------|
| Polimer Malzemeler Elektromanyetik Dalgaları Nasıl Zırlıyor?..... | 264 |
| Trafo ve Yüksek Gerilim Hatlarının Yayıdığı Elektromanyetik Dalgaların Sağlığa Etkisi Nedir? | 265 |
| Alçak Frekanstaki Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Etkileri | 269 |
| ANA BÖLÜM IV: ENERJİ SORUNU..... | 275 |
| Bölüm 11: Almanya’da Nükleer Enerjiden Çıkış, Yenilenebilir Enerjiler | 277 |
| Elektrik Üretimindeki Sorunlar ve Türkiye’deki Elektrik Üretimine Karşılaştırmalar..... | 277 |
| Almanya’da Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimindeki Gelişmeler..... | 279 |
| Almanya’da Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemiyle Elektrik Üretimi | 281 |
| Nükleer Santraller Kapatılırken Almanya’da Elektrik Üretimindeki Sorunlar | 286 |
| ‘Almanya Fotovoltaik Enerjide Dünya Rekoru Kırdı!’ Haberiyle İlgili Doğrular ve Yanlışlar..... | 289 |
| ‘Almanya’da Fosil ve Nükleer Çağının Sonu mu?’ Yazısı ve Bazı Gerçekler | 292 |
| Nükleer Kazalardan Baz İstasyonlarına Kadar Çelişkili Uzman Görüşlerinin Nedenleri? | 295 |
| ANA BÖLÜM V: EKLER | 299 |
| Radyasyonla Uğraşanlar ve Üniversiteler İçin Ayrıntılar | 301 |
| Ek 1: Radyasyonlarla İlgili Açıklamalar | 301 |
| Ek 2: Çeşitli Radyasyon Dozları ve Birimleri..... | 304 |
| Ek 3: Aktiviteden Dozhozuna, Doz ve Risk Hesaplarına Geçiş İçin Bir Hesaplama Örneği..... | 310 |
| Ek 4: Kozmik Işınlara İlgili Bazı Ayrıntılar..... | 312 |
| Ek 5: Yerkabuğu Kaynaklı Radyasyonlar..... | 314 |
| Ek 6: Yapı Malzemesindeki Doğal Radyoaktivite ve Sınırlamalar .. | 317 |
| Ek 7: Ölçülen Dozhozı’ndan Gidilerek Topraktaki Radyoaktiviteyi Kabaca Belirlemek | 319 |
| Ek 8a: İnsanda Oluşan Yıllık ‘Etkin Radon Dozunun’ Hesaplanması (UNSCEAR)..... | 320 |
| Ek 8b: İçme Sularındaki Radonun İnsanda Oluşturduğu Dozun Hesaplanması..... | 320 |
| Ek 9: Sulardaki Yabancı Maddelerden Herhangi Biri İçin Sınır Değerin Hesaplanması | 322 |
| Ek 10: Uranyum’la İlgili Ayrıntılı Bilgiler | 323 |
| Ek 11. Radyasyon Dozları ve Radyasyon Riski Hesaplamalarıyla İlgili Ayrıntılı Bilgiler..... | 335 |
| Ek 12: Türkiye’de Uygulanan Radyasyon Doz Sınır Değerleri | 342 |
| Ek 13: Tıpta Radyasyon Uygulamalarıyla Tanı ve İyileştirme | |

| | |
|--|-----|
| Teknikleri - Doz ve Risk Değerleri..... | 344 |
| Ek 14: Alkol ve Radyasyon Dozları Kanseri Risklerinin Karşılaştırılması..... | 354 |
| Ek 15: DNA, RNA VE MUTASYON..... | 359 |
| Ek 16: Atomaltı parçacıklar ve Isıl Enerji Temel Kavramları | 363 |
| Ek 16a: Atomların Yapı Taşları ve Atomaltı Temel Parçacıklar..... | 363 |
| Ek 16b: Fizik'in kraliçesi: 'Termodinamik': Isı, Sıcaklık ve Entropi Nedir? | 370 |
| Yüksel ATAKAN'ın Çalışma Yaşamı | 376 |



SUNUŞ VE TEŞEKKÜR

SUNUŞ VE TEŞEKKÜR

Radyasyonlarla iç içe yaşıyoruz. Çevremizdeki her çeşit maddede hatta vücudumuzda az da olsa bulunan radyoaktif maddelerin yaydığı görünmez ışınlar (radyasyonlar) her saniye 10 bin, günde 800 milyon kadar, vücudumuza girip çıkıyor ama bundan haberimiz olmuyor! Oturduğumuz evin havasında bulunan doğal radyoaktif radon gazı, soluduğumuz havayla ciğerlerimize dolup bizi içten ışınlarken, evin duvarlarında az miktardaki bazı doğal radyoaktif maddeler de bizi az da olsa dıştan ışınıyor. Bir akciğer filmi çektiğimizde ise göğüs kafesimiz, röntgen makinasından gelen röntgen ışınlarıyla etkileniyor. Çevremizdeki TV, radyo, laptop, saç kurutma makinası, cep telefonları, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar gibi daha birçok araç, gereç ve diğer aletlerden kaynaklanan elektromanyetik alanlarla da az çok iç içeyiz. Elektromanyetik alanların vücudumuzda oluşturduğu elektriksel ve manyetik akımlar da vücudumuzu etkileyebiliyor. Tüm bu çeşit ışınların, vücudumuza etkisi, bunların şiddeti arttıkça, kaynaklarına yaklaştıkça ve oralarda kalma süresi uzadıkça artıyor. Yazları deniz kıyısında yatıp güneşlendiğimizde derimizin kızarmasına güneş ışığındaki mor ötesi (ultraviyole) ışınların neden olduğunu, özellikle tatil boyunca, öğle saatlerinde güneşlenmemizin ise deri kanseri yapabileceğini bu konudaki bilimsel araştırmalar gösteriyor.

Bunların yanı sıra, 2.Dünya savaşında Japonya'da atılan atom bombalarının o bölgelerde sağ kalanlar üzerindeki etkileri ilgili bugüne kadar yapılan bilimsel araştırmalardan elde edilen bulgular ve 1986'daki Çernobil ile 2011'deki Fukushima kazalarında havaya salınan radyoaktif maddenin, uzak ülkelerdeki etkileri de bu kitaptaki yazılarımızda açıklanıyor. Öte yandan, yapımı planlanan Akkuyu nükleer güç santralının ne ölçüde güvenli olabileceği gözden geçiriliyor ve dünyanın en güvenli nükleer santrali olarak kabul edilen Finlandiya'da yapımı bitmek üzere olan 3. Kuşak nükleer santralın teknik özellikleriyle karşılaştırmaları ve sonuçları da yazılarımızda yer alıyor. Özetlersek, bu kitapta, insan vücudunu etkileyebilen radyasyonla (ya da ışınımınla, taneciklerle) ilgili akla gelen her konu gözden geçirilmeye, ilgili bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ışığında, bunlara yabancı olanların aydınlatılması amaçlanıyor.

Kitaptaki yazı düzeniyle ilgili açıklamalar

Bu kitaptaki her bir yazımızda, ilgili konuda, uzman kurulların yayımladıkları yüzlerce sayfalık bilimsel ve teknik raporlardaki, daha başka bir dizi bilimsel araştırma yazılarındaki bulgu ve değerlendirmeleri gözönüne aldık. Bunları uzun deneyimlerimizin ışığında, konuya yabancı okurların bilgi edinebileceği düzeyde genellikle basitleştirerek, bu kitaba aktarmaya çalıştık. Bazı bölümlerde bir miktar ayrıntılara da girerek, radyasyonla uğraşanların ve üniversitelerin de bu konularda derinlemesine bilgi edinmelerine özen gösterdik. **Bu gibi ayrıntılı açıklamalar, kitapta genellikle çerçeve içinde, bulunmaktadır.** Ayrıntılarla ilgilenmeyen okurlar, isterlerse, bu bölümleri ve diğer ayrıntılı açıklamaları atlayarak, kendilerini ilgilendiren konuları seçebilirler. Bazı uzun yazıların, kısaltılıp biraz değiştirilen şekilleri de kitaba alınarak, bu **konularda ‘az öz’ bilgi almak isteyenlere** de yardımcı olunmaya çalışılmıştır.

Bu kitaptaki yazılarımızda, radyasyonlarla ilgili olarak çoğumuzun aklına takılan konularda bugünkü bilimsel düzeyde ulaşılan sonuçları, bir miktar temel bilgilerle birlikte, açıklamaya çalıştık. Kitabın ilk bölümlerinde radyoaktif maddelerden yayınlanan yüksek enerjili (iyonlaştırıcı) radyasyonların çeşitleri ve vücudumuza etkileri konularında temel bilgiler verilirken daha sonraki bölümlerde, gerek radyoaktif maddelerin gerekse nükleer santrallerin ve elektromanyetik dalgaların insan sağlığına etkileriyle ilgili açıklamalar yer alıyor.

Son bölümlerde enerji sorunu ve özellikle fotovoltaiik’le ilgili Almanya’daki ve Türkiye’deki durum açıklanıp karşılaştırılıyor. Kitabın en sonunda ise kitaptaki yazılarda çok geçen birimler, kavramlar ve radyasyonla uğraşanlara yardımcı olabilecek bazı hesaplamalar yer alıyor. Buna rağmen, kitapta birimlerin geçtiği yazılar, her bir yazıda kısaca açıklanarak ya da dip notlarıyla verilerle okuyucuya kolaylık sağlanmaya çalışılmıştır.

Okuyucu, ‘İçindekiler’ sayfalarından ilgilendiği konudaki yazıyı bulup okuduğunda, o konudaki genel bilgileri edinmiş olacaktır. Her yazı kendi içinde bir bütündür. Okuyucu daha sonra isterse, ilgili konuda, kitabın başındaki ya da sonundaki daha ayrıntılı açıklamalardan yararlanabilir. Aynı konuda olmakla birlikte, farklı noktaları inceleyen ya da soruları yanıtlayan benzer yazılardaki bazı tekrarlar, özellikle bırakılmıştır. Bunun nedeni, genel bilgi edinmek isteyen okuyucunun, okuduğu yazıda, başka yazılara ve kitabın V. Ana Bölüm’ünde yer alan Ekler’lerdeki ayrıntılı açıklamalara gerek kalmadan da gerekli bilgileri özetle elde edebilmesi düşüncesidir. Bu nedenlerle okuyucuya önerimiz, baştaki ilk iki bölüme göz attıktan sonra, yazıları art arda okumak yerine, ‘İçindekiler’e bakıp, okumak istediği yazıyı ya da yazıları seçmesidir.

Kitaptaki tüm yazılarımızda izlediğimiz yol ve yöntem, bilim ve teknolojinin bugün ulaştığı düzeydeki bulgu ve değerlendirmeleri, nesnel olarak in-

celeyip, okuyuculara bu konulardaki gerçek durumu yansıtabilmektir. Bilim bilindiği gibi varsayım (hipotez), gözlem, deney ve karşılaştırmayla sonuçlar çıkarıyor, bulgular elde ediyor. Bu bulguların başka gözlem ve denemelerle, bilimsel araştırmalarla da karşılaştırılması ve sınanması gerekiyor. **Bu nedenle herhangi bir yerde bir grup araştırmacının yaptığı bir araştırmada ulaşılan bulguları, başka bilimsel araştırmalar destekliyorlarsa ya da bunlar yanlışlanıyorsa bulgular, geçerliliğini koruyorlar.** Özellikle düşük düzeydeki radyasyonun insana etkileri konusunda son yüz yıldır yapılan 50.000'den çok bilimsel araştırmacının içinde, bazı araştırmacıların, genel bulgularla çelişen bazı çalışma sonuçları da bulunuyor. Örneğin, bazı istasyonlarının insanda yorgunluk, baş ağrısı, uykusuzluk yaptığı gibi bazı araştırmacıların ileri sürdükleri savlar, bilimsel yol ve yöntemleri sınanmış çok daha fazla sayıdaki araştırmalarla desteklenemediğinden, bunların bugün bilimin eriştiği düzeyde, bir geçerliliği bulunmuyor. Benzer durum nükleer santraller çevrelerinde yaşayan halk grupları için de geçerli. Bu gibi konularda, araştırmacının ayrıntıları ve elde edilen sonuçlar, araştırmada kullanılan yol ve yöntemin incelenmesi, bu sonuçlara ulaşmada kullanılan veri adediyle tüm yan etkenlerin gözden geçirilip geçirilmediğinin kontrolü gerekiyor. Bunu da ancak yetkili uluslararası kurumların, ilgili bilim dallarında araştırmalarıyla adlarını duyurmuş, saygın uzmanları birlikte yapabiliyorlar. Bu gibi kurumların yayımladıkları bilimsel raporlar gerekçeleriyle birlikte yanlışlanmadığı sürece bu raporlardaki bulguları kabul etmek gerekiyor ya da bugünkü bilimsel düzeye göre başka bir seçeneğimiz bulunmuyor. Buna rağmen, bilim gözlemleyemediği olguları da yok sayamaz. **Bu nedenle koruyucu önlemler, abartılmamak koşuluyla alınabilir. Örneğin cep telefonlarıyla daha az konuşmak ve konuşurken telefonu kulaktan 1 cm kadar uzakta tutmak, kulaklık kullanmak elektromanyetik dalgaların kulak bölgesindeki etkisini azaltacaktır.** Buna karşın evimizin pencerelerine metal örgülü tül perdeler asmak evin içindeki elektromanyetik alan şiddetini bir miktar düşürmesine rağmen, gün boyunca iş yerlerimizde, yollarda başka kaynakların elektromanyetik alanlarıyla iç içe yaşadığımız için önemli olmayacaktır. Ayrıca bu çeşit metal perdeli bir evde cep telefonu ile konuşursak, telefonumuz baz istasyonu ile bağlantı kurabilmek için gücünü artırmak zorunda kalacak, bu ise kulak bölgemizin daha fazla ışınlanmasıyla sonuçlanacaktır. Bu nedenle akla ve bilime uygun önlemler alınmalı ama aşırıya kaçılmamalıdır. Kitapta bu konular, ilgili bölümlerde, ayrıntılarıyla, şekilleriyle bunlara yabancı olanların da izleyebileceği şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu kitaptaki yazılarımızın, hem bu konulara yabancı olan okurların akıllarına takılan birçok soru işaretine açıklık getirebileceğini, hem de tıp ve teknolojiye radyasyonlarla uğraşanların, ilgili dallardaki üniversite öğretim üyeleri ve öğrencilerinin çalışmalarında kendilerine yardımcı olabileceğini umuyor, tüm okuyuculara en iyi dileklerimi sunuyorum.

Teşekkür

Bu kitaptaki yazıların bir çoğunun türkçeye uyumunda büyük katkısı nedeniyle, ne yazık ki çok erken yitirdiğimiz, Prof. Dr. Vural Altın'ın anısını burada tazeliyorum. TÜBİTAK Bilim Teknik dergisinde daha önce yayımlanmış yazılarımların da güncellenerek bu kitaba girmesi ve derginin arşivinde kaybolmaması, ileride bunların gençlere yararlı olabilmesi amacıyla, dergideki yazılarımla baskıldıkları şekilde bana ilettikleri için derginin Genel Yayın Yönetmeni Sayın Duran Akça ve arkadaşlarına burada teşekkür ediyorum. TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi, eski Genel Yayın Yönetmeni değerli dostum Sayın Raşit Gürdilek de kitaptaki birçok yazının düzeltilmesinde büyük katkıda bulundu. Kendisine emekleri nedeniyle teşekkürlerimi sunuyorum. Bu kitaptaki yazılardan bazılarımlarını inceleyip düşüncelerini bana yazması nedeniyle eski arkadaşım, değerli fizik profesörü Hayriye Yeter Göksu'ya ve kitapla ilgili düşüncelerini yazdığı için sınıf arkadaşım Prof. Dr. Özgen Birgül'e, kitabın son şeklini vakit ayırıp baştan sona incelediği, özellikle ışın fiziğiyle ilgili değişiklik önerileri ve düzeltmeleri için de arkadaşım değerli fizik profesörü Ömür Akyüz'e çok teşekkür ediyorum. Değerli biyolog Prof. Dr. Ali Demirsoy'a da hücre içi ve DNA bozulmalarıyla ilgili görüş ve katkısı için teşekkür ediyorum. Türkiye'deki bazı kaplıcalarda ölçülen radyoaktivite değerlerinin sağlanması katkıları nedeniyle değerli radyasyon fizikçisi Dr. Nilgün Çelebi'ye teşekkür ediyorum. Bu kitabın yayımlanmasını, gençlere yararlı olacağını vurgulayarak, Nobel Akademik Yayıncılık şirketine öneren, değerli Jeolog, Prof. Dr. Cahit Helvacı'ya teşekkürlerimi sunuyorum. Değerli çevirmen, yakınım Yavuz Alogan'a, kitabı incelediği ve bazı değişiklik önerileri için teşekkür ediyorum. Bu kitapta, yazıların ve şekillerin hazırlanmasına katkısı, bunların gerek türkçeye uyumunda gerekse fizik yönünden anlaşılmasında, önerileri ve düzeltmeleri nedeniyle eşim ve sınıf arkadaşım Fizik Y. Müh. Berksan Atakan'a da teşekkür ediyorum.

Last but not least, radyasyon fiziğinde bana 60'lı yıllarda ilk bilgileri veren değerli IAEA uzmanları Françis J. Baile (ABD) ve David Cockbaine'e (İngiltere) burada teşekkürlerimi sunuyorum.

Kapak Resmi: Işınlar Cümbüşü

Resim, elektromanyetik dalgalardan oluşan güneş ışınlarının ya da 'iyonlaştırmayan' radyasyonun deniz yüzeyinden yansımalarını, ışımalarını gösteriyor (Bk. Bölüm 1 ve **Şekil 1.1**). Güneş ışığındaki kısa dalga boylu morötesi ışınlar, deride kızarma ve yazın özellikle öğle saatlerinde çok uzun süre deniz kıyısında yatıldığında (ışınlanma dozu arttığında) hatta deri kanseri de yapabiliyor. Resim, Ekim 2013'de İzmir / Özdere koyunda, bir sörfçü izlenirken, öğleden sonra güneşe karşı çekilmiştir.

Yüksel Atakan
Heppenheim-Almanya
Ocak 2014

ANA BÖLÜM I

RADYASYON,
RADYOAKTİVİTE,
VÜCUDA ETKİLER VE
RİSK KAVRAMI



BÖLÜM 1

RADYASYONLA İLGİLİ KISA AÇIKLAMALAR

Radyasyon Nedir?

Uranyum, radyum gibi bazı doğal maddelerin (elementlerin) atom çekirdeklerinden, bir dış etken olmadan, kendiliğinden yayılan, enerjileri yüksek, alfa, beta ve gama adlarındaki ışınlara 'iyonlaştırıcı radyasyonlar' ve bunları yayan maddelere de radyoaktif maddeler diyoruz. Genel olarak 'radyasyon' deyince akla radyoaktif maddelerden yayınlanan alfa, beta ve gama ışınları gelmekle birlikte, bunlar **Şekil 1.1**'de gösterildiği gibi tüm ışınlar spektrumunun sadece bir bölümünü kapsıyorlar. Radyasyona, yerine göre 'ışınım' ya da 'ışın' da diyoruz. Her çeşit ışının, cinsine göre az ya da çok enerji içerdiğini, ya gama ışınları gibi kütsüz foton taneciklerinden (elektromanyetik dalgadan) ya da alfa, beta'lar gibi kütleli tanecik akımından oluştuğunu son yüzyıldır biliyoruz. Radyasyonun frekansı (saniyedeki titreşim sayısı) ne kadar büyükse (ya da buna bağlı olarak dalga boyu ne kadar küçükse) radyasyonun enerjisi de o kadar büyüyor. **Şekil 1.1**'de çok çeşitli ışınların (radyasyonların) frekans ve enerjilerine göre dizilimi (spektrumu) ve bunların içinde iyonlaştırıcı ışınların (radyasyonların) konumu görülüyor. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar arasında tek fark, elektromanyetik dalgaların saniyedeki titreşim sayısı olan frekansı ya da buna bağlı olan dalga boyu. Çok hızlı tanecik akımına/yayınına da ışın denebiliyor: 2 proton ve 2 nötrondan oluşan Alfa Işınları; elektronlardan oluşan Beta Işınları ve proton ile daha başka atomaltı parçacıklardan (örneğin mezonlar) oluşan kozmik ışınlar gibi.

Radyoaktif maddelere 'ışın etkin maddeler' de deniyor. 'Aktivite'ye de, 'etkinlik' denebileceği gibi, 'radyoaktivite'ye ise 'ışın etkinlik' ya da radyoaktiflik de denebilir. Radyasyon, aslında, çok hızlı enerji akımından başka bir şey değil. Radyasyondan korunma yol ve yöntemleriyle uğraşan radyasyon fiziği ise, tıptaki zorunlu uygulamalar dışında, radyasyonun vücuda aktarabileceği enerji akımını önlemeye ya da azaltmaya çalışan uygulamalı bir bilim dalı. Radyasyon fiziğine de 'Sağlık Fiziği'; atom enerjisi araştırma merkezlerinde, laboratuvarlarda çalışanlara da Türkiye'de 'Sağlık Fizikçisi',

hastanelerde radyasyon ve radyoaktif madde uygulamalarında çalışanlara ise 'Hastane Fizikçisi' deniyor.

İyonlama ve İyon Çifti Nedir?

Radyoaktif maddelerden yayınlanan girici ışınlar, atomların çevresindeki elektronlara çarparak enerjilerini elektronlara aktardıklarında, enerjileri, eşik enerji miktarı olan 12,4 elektron Volt (eV)'dan büyükse, elektronları yörüngelerinden kopararak serbest bırakıyorlar(Elektronvolt tanımı için Ek1'e bk.). Bu olaya iyonlama, serbest kalan eksi yüklü bir elektronla, arta kalan artı yüklü (bir elektronu eksik) atomun oluşturduğu çiftte de bir 'iyon çifti' deniyor. Radyoaktif maddelerden yayınlanan girici ışınlarla da bu nedenle 'iyonlaştırıcı radyasyonlar ya da iyonlaştırıcı ışınlar' deniyor.

Radyasyon/Madde Etkileşimi: Radyasyon Dozu Nedir?

Radyoaktif maddelerden yayınlanan ışınlar ile çok hızlandırılan protonlar gibi başka bazı girici ışınların, hücrelerdeki atom ve moleküllere girerek, iyon çiftleri oluşturmaları sonucu maddeye aktardıkları enerji miktarına, 'vücudun' veya 'belirli bir organın' aldığı ya da soğurduğu '**radyasyon dozu**' deniyor. Çoğunlukla bu çeşit girici ışınlar, atom çekirdeklerinde nötron fazlalığı bulunan uranyum, radyum, radyoiyot, trityum gibi 'kararsız atom çekirdeklerinden'(radyoaktif maddelerden) salınmakla birlikte, nükleer parçacık hızlandırıcılarından, röntgen aygıtlarından da kaynaklanabiliyor, ya da uzaydan gelen 'Kozmik Işınlardan' oluşuyorlar.

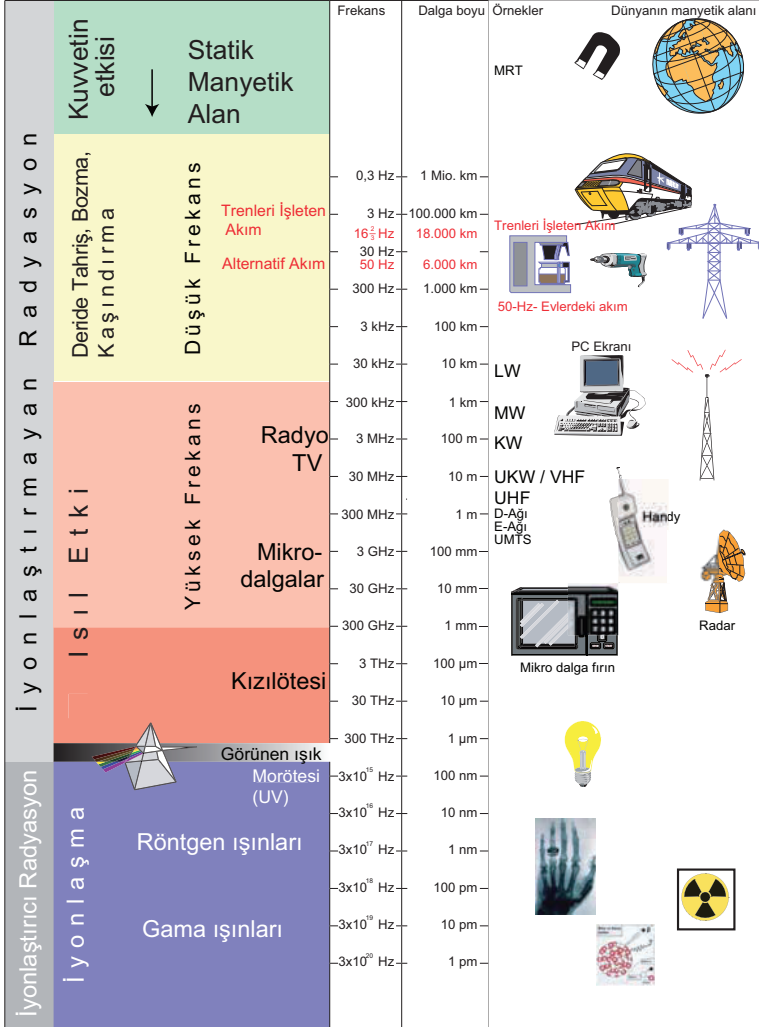
Radyasyon Doz Birimi: Sievert

Radyasyonun insan vücudundaki hücrelere aktardığı Joule cinsinden enerji miktarının ölçüsü olarak Sievert birimi kullanılıyor. Örneğin gama ışınları için, vücudun kilogramı başına soğurulan enerji miktarı 1 Joule ise, buna 1 Sievert (Sv) diyoruz. Sievert hücreler için çok büyük bir enerji miktarı olduğundan pratikte, daha çok, bunun binde biri olan miliSievert (mSv) kullanılıyor. Sievert vücudun biyolojik etkinliğini de içeriyor. Bu konuda daha ayrıntılı açıklamalar için Ek 1'e bk. Aslında hücreler için çok büyük enerji olan 1 Joule, pratikte çok küçük bir enerji miktarıdır: Örneğin 100 gramlık bir çukolata paketini 1 metre yukarı kaldırmak için 1 Joule'lük bir enerji gerekiyor.

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, frekansları ve dolayısıyla enerjileri daha düşük olan ve vücuda etkileri moleköl düzeyinde kalarak **iyonlar oluştura-**

mayan (iyonlaştırıcı olmayan) elektromanyetik dalgalarından oluşuyor. Çok farklı frekans alanlarını kapsayan bu çeşit elektromanyetik dalgalar örneğin trafolardan, yüksek gerilim hatlarından, cep telefonları ve baz istasyonlarından, mikrodalga fırınlardan yayınlanıyor.



Şekil 1.1: Çeşitli ışınların frekans, dalga boyuna göre dizilimi (spektrumu)



BÖLÜM 2

İYONLAŞTIRICI RADYASYONLAR VÜCUDUMUZU NASIL ETKİLİYOR?

Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Radyasyon ile Madde Etkileşimi, Radyasyon Dozu ve Kanser Riski

Radyasyonlarla iç içe yaşıyoruz. Çevremizdeki her çeşit maddede hatta vücudumuzda az da olsa bulunan radyoaktif maddelerin yaydığı görünmez ışınlar (radyasyonlar) her saniye 10 bin, günde 800 milyon kadar vücudumuza girip çıkıyor ama bundan haberimiz olmuyor!. Oturduğumuz evin havasında bulunan doğal radyoaktif radon gazı, soluduğumuz havayla ciğerlerimize dolup bizi içten ışınlarken, evin duvarlarında az miktardaki bazı doğal radyoaktif maddeler de bizi az da olsa dıştan ışınıyor. Bir akciğer filmi çektiğimizde ise göğüs kafesimiz, röntgen makinasından gelen röntgen ışınlarıyla etkileniyor. Çevremizdeki TV, radyo, laptop, saç kurutma makinası, cep telefonları, baz istasyonları, yüksek gerilim hatları, trafolar gibi daha birçok araç, gereç ve diğer aletlerden kaynaklanan elektromanyetik alanlarla da az çok iç içeyiz. Elektromanyetik alanların vücudumuzda oluşturduğu elektrik akımları da vücudumuzu etkileyebiliyor. Tüm bu çeşit ışınların vücudumuza etkisi, bunların şiddeti arttıkça, kaynaklarına yaklaştıkça ve yakınlarında kalma süresi uzadıkça artıyor. Yazları deniz kıyısında yatıp güneşlendiğimizde derimizin kızarmasına güneş ışığındaki mor ötesi (ultraviyole) ışınların neden olduğunu, özellikle tatil boyunca, öğle saatlerinde güneşlenmemizin ise deri kanseri yapabileceğini bu konudaki bilimsel araştırmalar gösteriyor.

Radyoaktif maddelerden yayınlanan radyasyonlar, hem vücudumuzu sürekli olarak 'içten' ışınlarken, bunları vücut dışına da yayıyor. İnsana bu nedenle düşük radyoaktifiteli bir radyasyon kaynağı gözüyle bile bakılabilir! Sevgiden birbirimize sarıldığımızda, birbirimizi karşılıklı olarak ışınladığımızın ise farkında bile değiliz! Ama korkmamıza, çekinmemize eşlerimizden, yakınlarımızdan uzak durmamıza da gerek yok. Çünkü çok düşük şiddetteki bu doğal radyasyon, yakınlarımıza çok yaklaştığımız kısa sürede, vücutta ancak çok az 'radyasyon dozu' oluşturabildiğinden, etkisi de önemsiz derecede az.



Aslında insan, başlangıçtan beri, uzaydan gelen kozmik ışınlar ile çevresinde ve vücudunda bulunan, 'Doğal Radyoaktif Maddelerden' yayılan radyasyonlarla birlikte yaşamakta. Hava, su, bitkisel ve hayvansal besinlerde az da olsa bulunan, radyoaktif maddeler vücudumuza girdiğinde bunlar zamanla çeşitli organlarda az ya da çok birikiyor. Bunların saldığı enerjileri yüksek ışınlar, insan vücudunu '**içten**' ışınıyorlar. Kozmik ışınların bizi sürekli dıştan ışınlamasının yanı sıra, evlerimizin taban ve duvarlarındaki ve çevremizdeki herçeşit maddenin içindeki doğal radyoaktif maddelerden salınan ışınlarla sürekli olarak '**dıştan**' ışınıyoruz. Kozmik ışınlardan alınan radyasyon dozu 1500 metre yükseklerde yaşayanlarda, deniz düzeyindekiyle oranla yaklaşık olarak iki kat daha çok olmasına rağmen, yüksek yerlerde yaşayan insanlarda belirgin bir kanser artışı gözlenmiyor.

Doğal radyasyonun yanı sıra git gide gelişen teknolojinin modern yaşama sunduğu çok çeşitli tesis, araç, gereç ve diğer aletlerin yaydığı radyasyonlarla da birlikte yaşıyoruz. Örneğin radyoaktif maddelerin bulunduğu nükleer tesislerden, laboratuvarlardan, tıpta kullanılan röntgen makinalarından, bilgisayarlı tomografi (BT) aletlerinden de sağlık durumumuza göre az ya da çok ışınıyoruz. Bu çeşit insan yapısı kaynaklardan yayınlanan '**yapay radyasyon**' ile çevremizdeki tüm kaynaklardan yayınlanan '**doğal radyasyon**' arasında ve bunların insanda oluşturabileceği radyasyon dozlarında temelde bir fark yok. Örneğin, ister doğal, ister yapay kaynaklı olsun, belirli bir enerjide ve şiddetteki (akı yoğunluğundaki) gama ışınlarının insanda oluşturabileceği radyasyon dozları farklı değil.

Bu nedenle örneğin bir nükleer tesis çalışanlarının tesisteki bazı radyasyon kaynaklarından aldıkları dozları, uçak personelinin kozmik ışınlardan aldıkları dozlarla karşılaştıırıp değerlendirebiliyoruz. Almanya'daki 30.000 kadar uçak personelinin herbirinin, nükleer santrallarda çalışanların herbirinden ortalama olarak çok daha fazla radyasyon dozu aldıklarını ise ölçüm ve değerlendirmeler gösteriyor.

Öte yandan oturduğumuz evin taban izolasyonu iyi değilse, tabandaki çatlak ve boru kanallarından alt katlara girip yükselen radon gazı soluduğumuz havayla bizi içten ışınlayarak vücudumuzda önemli bir radyasyon dozu oluşturabiliyor. Doğal kaynaklardan aldığımız radyasyon dozunun kabaca yarısı radyoaktivite özelliği gösteren radon gazından geliyor. Yaşadığımız yöreye, evlerimizin izolasyonuna, yediğimiz içtiğimiz maddelerin çeşitliliğine, bunlardaki doğal radyoaktif maddelerin cins ve miktarlarına göre kişilerde oluşan '**toplam doğal radyasyon dozu**' da büyük farklılık gösteriyor. Benzer olarak insan yapısı kaynaklardan aldığımız radyasyon dozu da, örneğin tıpta bunlara olan gereksinimize, bu aletlerin cinsine, kaynakların

şiddetine, bunlara yakınlığıımıza, ışınlandığımız süreye bağlı oluyor. Eğer kömür santralleri çevresinde yaşıyorsak, baca gazlarıyla birlikte çevreye az da olsa sürekli salınan radyoaktif maddeler de soluduğumuz havayla birlikte vücudumuza girip özellikle kemiklerde yerleşip bizi içten ışınıyorlar. Taşkömürü ve linyit kömürü gibi yakıtların bileşiminde, **uranyum 238 ve toryum 232'den türeyen, radyum 226, polonyum 210 ve kurşun 210 ve ayrıca potasyum 40 gibi doğal radyoaktif maddeler, kömürün cinsine göre, az miktarlarda bulunuyor** (bunlar nükleer santrallerin baca gazlarında bulunmuyor). Kömür, santralda yüksek sıcaklıkta yanarken, bunlar baca gazları ve kurumla birlikte havaya ve yakın çevreye ulaşıyorlar. rüzgâr ve yağış durumu gibi hava koşullarına ve ayrıca santralin tam güçle ve kesintisiz çalışıp çalışmamasına göre, bu çeşit doğal radyoaktif maddeler de santral çevresindeki havada zaman zaman az, ya da çok bulunmakta ve etkin rüzgâr yönündeki yörelerdeki toprakta ise gitgide zenginleşmekte. Buralarda yetişen sebze, meyva, tahılın; ya da otlayan hayvanların etlerinin yenmesi, sütlerinin içilmesi yollarıyla da bu çeşit radyoaktif maddeler insana ulaşabiliyor

Tüm bu katkılarla, vücudumuzda oluşan radyasyon dozları, radyasyon fiziğinde '**düşük dozlar**' bölümüne giriyor. 1986'daki Çernobil kazası sonucu birçok ülkeye, Almanya ve Türkiye'ye hava akımları ve yağışlara taşınan radyoaktif maddelerin toprakta, bitkilerde birikmesi sonucu insanda oluşan radyasyon dozları da düşük dozlardır. Son yüz yıldır yapılan sayısız, kapsamlı bilimsel araştırmalar, düşük düzeydeki radyasyon dozlarının örneğin kanser gibi hastalıklara yol açabileceğini kanıtlamaktan uzak. Bunun en önemli nedeni, hücrelerin düşük dozlarla oluşabilecek bozulmaları onarabilmelerinin yanı sıra, kanser gibi hastalıkların ortaya çıkmasında çok çeşitli yüzlerce başka etkenin rol oynaması. Örneğin iyice yanmamış kömürle yapılan ızgarada bir pırazanın üzerinde kanser yapabilen (kanserojen) yüzlerce madde oluşabiliyor.

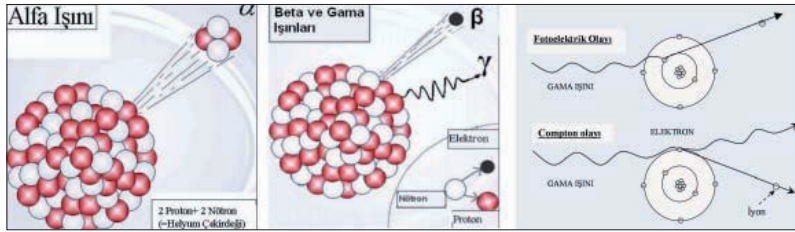
Herhangi bir kişi 200 mSv'in altında bir doz aldığıında bunun belirgin bir etkisi o kişide gözlenmiyor. Bu dozu binlerce kişiden oluşan bir topluluk aldığıında ise istatistiksel olarak bazı kişilerde kanserden ölümler beklenebiliyor. Daha yüksek dozlarda kanserden ölüm olasılığı artıyor ve bu, yüzde sayılarla verilebiliyor. Uluslararası kurumların ve ülkelerin kabul ettikleri kanserden ölüm riski, bir topluluk için ortalama olarak 1 Sievert'lik doz başına % 5 dir. Bunun anlamı, toplulukta her bir kişi bu dozu aldığıında her 10.000 kişide 500 kişinin kanserden ölebileceği beklenebilir. Her bir kişi 10 Sv gibi çok yüksek bir dozu aldığıında ise 10.000 kişinin yarısının kanserden ölmü söz konusudur. Ancak bu kadar yüksek dozları, Japonya'da atılan atom bombalarından kurtulanlar bile almadılar. Kanserden ölümlerin topluluk için de hangi kişilerde görülebileceği ise belirsizdir.

Radyasyon Fiziği, Radyasyon, Radyoaktivite ve Radyasyon Dozuna Yakından Bakış

Radyasyon fiziği, radyasyonlarla, bunların insan vücuduna etkilerini belirlemekle ve bu etkileri azaltmakla uğraşılıyor. Bu konuda iki önemli bilim ve teknoloji dalı var. İlki, radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden yayınlanan, frekansları ve bu nedenle de enerjileri çok yüksek gama ışınları (fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar) ile taneciklerden oluşan ve buna rağmen ‘alfa ve beta ışınları’ denilen **radyoaktiviteyi** kapsayan dal. **Radyoaktif maddelerden yayınlanan “iyonlaştırıcı radyasyon”** denilen bu çeşit ışınlar, atomlardan elektron söküp iyonlar oluşturarak hücrelerin işlevlerini bozabiliyorlar. İkinci bilim dalı ise, radyo dalgaları gibi çok daha düşük frekanslardaki, enerjilerdeki elektromanyetik dalgalarla, bunların vücutta **‘iyonlaştırıcı olmayan’** etkileriyle uğraşılıyor. Kozmik ışınların, topraktan sızan radyoaktif radon gazının ve daha birçok doğal ve yapay radyasyon kaynaklarının insana etkileri uzun yıllardır araştırılıyor. Japonya’da 1945 yılında atılan iki atom bombasından ışınlanmalarına rağmen kurtulan ve sayıları yüzünü geçen insanlar üzerinde bugüne kadar yapılan çalışmaların yanı sıra, Çernobil kazasının etkileri de sürekli inceleniyor. Uluslararası kurumların özellikle radyasyonun etkisiyle oluşabilecek kanserle ilgili çalışmalarının sonuçları, bunların bugünkü bilimsel düzeyde değerlendirilmesi, düşük dozlar konusunda yaklaşım ve belirsizliklerin de bilim dünyasında tartışılması sürüyor. Bu kitapta bu konuları oldukça basite indirgeyip açıklamaya çalışacağız.

Yer kabuğunda bulunan çok çeşitli kimyasal maddelerin bazıları radyoaktivite özelliği gösteriyor. Nedir bu radyoaktivite? Bildiğimiz gibi madde atomlardan oluşuyor. Her atomun bir çekirdeği ve bunun çevresinde dolaşan elektronlardan oluşan bir de kılıfı var. En basit atom, hidrojen atomu: çekirdeğinde artı elektrik yüklü bir proton ve çevresinde dolanan eksi yüklü bir elektrondan oluşuyor. Daha büyük atomların çekirdeklerinde, elektriksel yükü bulunmayan nötronlar da var. Örneğin karbonun 12 numaralı atom çekirdeğinde 6 proton ve 6 nötron bulunuyor. Radyum 226’nın çekirdeği ise 88 proton ve 138 nötrondan oluşuyor ve çevresinde 88 elektron dolaşılıyor. Protonlara oranla bu nötron fazlalığı, atom çekirdeklerinin kararsızlığıyla ve nötronlardan bazılarının beta adı verilen ışınlar yayarak protonlara dönüşmeleriyle sonuçlanıyor. Genel olarak, bazı maddelerin atom çekirdeklerindeki radyoaktif bozunum sonucu çekirdeklerinden alfa, beta ve gama ışınları salınmasına (yayılmaya) ‘radyoaktivite ve bu çeşit radyasyon salan maddelere de ‘radyoaktif maddeler’ diyoruz (Bkz: **Şekil 2.1 ve Ek 1**). Aşırı nötron fazlalığı olan radyum 226 radyoaktif bir madde iken, çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve nötron bulunduran karbon 12 radyoaktif madde

değil ya da karalı bir madde. Yer kabuğundaki önemli radyoaktif maddeler olarak toryum, uranyum-aktinyum ve uranyum-radyum dizilerindeki ışın saçan maddeler (radyoizotoplar) sayılabilir ki bunlar, çeşitli sürelerde bir dizi radyoaktif bozunma (parçalanma) sonucunda kurşuna (Pb) dönüşüyorlar. Böylece bunların atom çekirdekleri radyoaktivite özelliklerini yitirerek, kararlı duruma geçiyorlar. Ayrıca toprakta çok miktarda potasyum var ve bunun 40 nolu atom çekirdeği radyoaktif. Örneğin yemek tuzunda epey potasyum var. Ancak vücuttaki etkisi az.



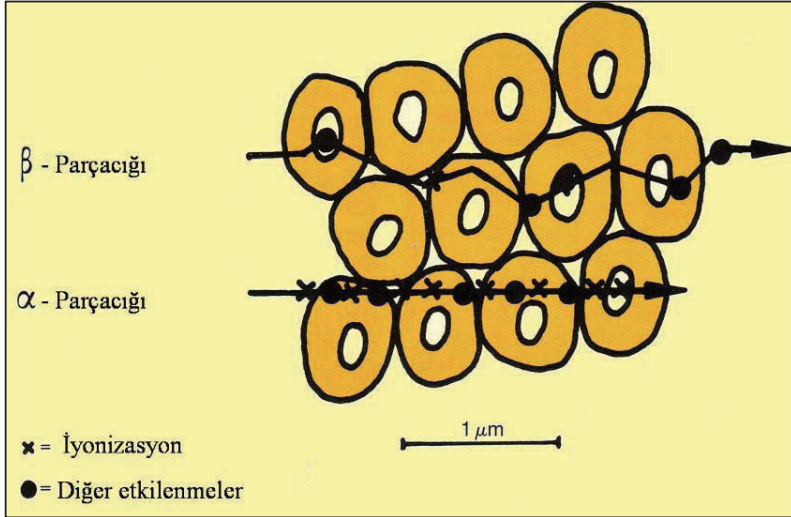
Şekil 2.1: Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden yayımlanan alfa, beta ve gama ışınlarıyla iyonlaşma olayları (Compton olayı sonucu, gama ışınının elektrona enerjisinin bir bölümünü aktarmasıyla atomdan koparılan elektron serbest kalarak bir iyon oluşturuyor)

Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri (herbirinin başlangıçtaki miktarının yarıya inmesi için geçen süre) kabaca yerkürenin jeolojik yaşı kadar (birkaç milyar yıldan çok) olmakla birlikte bunlardan türeyen radyoaktif maddeler (radyoizotoplar) çok daha kısa yarılanma süreli.

Yer kabuğundaki radyoaktif maddeler, topraktan, suya, bitki ve hayvanlara, bunlardan da (dolaylı ya da dolaysız) insana ulaşıyor ve vücudun çeşitli organlarında çeşitli sürelerde kalıyorlar. Örneğin topraktan havaya ve oradan da solunum yoluyla vücudumuza giren radon gazı ve ondan türeyen polonyum gibi daha bir dizi radyoaktif madde bizi içten ışınıyor. Vücuda alınan besinlerdeki, solunan havadaki radyoaktif maddelerdeki değişimlere göre vücuttaki radyoaktivite sabit olmayıp sürekli olarak bir miktar değişmekte. Vücudumuzdaki radyoaktivitenin yarısı tuzdaki K 40 radyoizotopundan ve diğer yarıya yakını da Karbon 14'den, arta kalanı da rubidyum 87, kurşun 210 ve radon 222 gibi başka radyoaktif maddelerden kaynaklanmakta. Soluduğumuz havadaki radon gazı vücudumuzda önemli bir doz oluşturmakta (Ortalama radon dozu yılda 1,2 mSv olup, bu da doğadan aldığımız yıllık radyasyon dozunun yarısını oluşturuyor). Vücuda solunum ve sindirim yollarıyla giren radyoaktif maddeler farklı or-

ganlarda farklı miktarlarda birikiyorlar. Vücutun doğal kaynaklardan toplam içten ışınlanma dozu ortalama olarak yılda kişi başına 1,5 mSv olup bunun büyük miktarı radon ve torondan kaynaklanıyor (Bk.: Çizelge 1). Tüm yiyecek ve içeceklerimizde, bir bardak su, süt, bira vb. de radoaktif maddeler var. Örneğin 1 kg peynir, süt, et, balık, sebze ve meyvada ortalama 30-60 Bq arası doğal radyoaktivite bulunuyor. 1 kg sofrata tuzunun radyoaktivitesi ise: 16.000 Bq (K 40). Becquerel (Bq): Radyoaktivite birimi olup, saniyede 1 bozunum gösteren radyoaktif maddenin radyoaktivitesi olarak tanımlanıyor.

Ancak 'Becquerel' bir radyoaktif maddenin vücutta oluşturduğu doz için tek başına bir ölçü değil. Her atom çekirdeği bozunumunda (parçalanmasında) salınan radyasyonların cinsinin ve enerjilerinin de bilinmesi gerekiyor. Örneğin vücuttaki 9.000 Bq'lik radyoaktivitenin yarısı kadar olan tuzdaki Potasyum 40'ın saldığı Beta'ların oluşturduğu doz önemsiz derecede az. Buna karşın, vücutta 50 Bq kadar olan radon'un saldığı büyük kütleli alfa taneciklerinin (bir alfa taneciği, iki proton ve iki nötrondan oluşuyor) daha az hücrede, daha yoğun enerjilerini bırakmaları sonucu ortaya çıkan doz ise çok daha büyük (Bk. **Şekil 2.2**). Vücutumuzdaki bu doğal radyoaktif maddelere rağmen, hücreler başlangıçtan beri sağlıklı olarak yaşamayı sürdürüyorlar.



Şekil 2.2: Alfa'lar beta'lara oranla hücre içinde çok daha fazla sayıda tutularak (soğurularak) enerjilerini hücreye aktarıyorlar/kernenergie.de

Radyoaktif maddelerden yayınlanan yüksek enerjili, ışık hızındaki girici gama ışınları (ya da gama radyasyonu) elektromanyetik dalgalar olup bunlar gama fotonlarından (çok küçük kütleli ışık taneciklerinden) oluşuyor. Alfa, beta ışınları ise tanecik akımıdır, bunlar elektromanyetik dalgalar değildir. Bunların hızları yüksek olmasına rağmen ışık hızının sadece onda bir kadardır. Kozmik ışınlar da, adlarının aksine, tanecik akımıdır.

Şekil 1.1'deki elektromanyetik spektrumdaki ışınlar arasında tek fark, elektromanyetik dalgaların saniyedeki titreşim sayısı olan frekansı ya da buna bağlı olan dalga boyudur. Radyasyonun frekansı ne kadar büyükse (ya da buna bağlı olarak dalga boyu ne kadar küçükse) radyasyonun enerjisi de o kadar büyüyor. Işınların enerjisi yüksek olduğunda, bunlar maddenin yapısındaki atom ve moleküllere girerek, enerjilerini iyon çiftleri oluşturarak maddeye aktarıyorlar. Aktarılan bu enerji miktarına, 'vücutun' veya 'belirli bir organın' aldığı ya da soğurduğu 'radyasyon dozu' ve enerjileri çok yüksek olan bu çeşit girici ışınlar da 'iyonlaştırıcı radyasyonlar' ya da 'iyonlaştırıcı ışınlar' diyoruz. Çoğunlukla bu çeşit girici ışınlar, 'radyoaktif madde' olarak bilinen uranyum, radyum, radyoaktif, trityum gibi 'kararsız atom çekirdeklerinden', nükleer parçacık hızlandırıcılarından, Röntgen aygıtlarından kaynaklanıyor ya da uzaydan gelen 'Kozmik Işınlardan' oluşuyorlar. **Şekil 1.1**'de çok çeşitli ışınların frekans ve enerjilerine göre sıralanması (spektrumu) ve bunların içinde iyonlaştırıcı ışınların konumu görülüyor. Çok farklı frekans alanlarını kapsayan bu çeşit elektromanyetik dalgaların bir bölümü, örneğin trafolardan, yüksek gerilim hatlarından, cep telefonlarından, baz istasyonlarından ve mikrodalga fırınlarından yayınlanan dalgalardır.

Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden yayılan alfa, beta ve gama adlarındaki ışınlardan gamalar, yüksek enerjili radyasyonlar olup, vücudun derinliklerine doğru ilerlerlerken enerjilerini azar azar yolları boyunca hücrelere aktarıyorlar. Alfa ve betalar ise daha az girici olduklarından çokça deride soğurularak (tüm enerjilerini derinin üst yüzeylerine aktararak) deride bazı hasara neden olabiliyorlar (Bk. **Şek.2.2**).

Radyasyon Dozu' aslında iyonlaştırıcı radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsü. Yazın deniz kıyısında güneşlendiğimizde güneş ışığındaki morötesi ışınların deriye aktardıkları enerji sonucu 'alınan dozla' derinin kızardığını biliyoruz. Radyoaktif maddelerden salınan yüksek enerjili, çok kısa dalga boylu radyasyonların çoğu sadece deri yüzeyindekilere değil, çok daha derinlerdeki hücrelere, bunların atom çekirdeklerine girerek hücrelerin çalışma işlevlerini bozabiliyorlar. Bunun belirlenebilmesi ise, ancak çok yüksek dozlarda olabiliyor. Düşük dozlarda, başka etkenlerin perdelmesi sonucu görülemeyen, belirlenemeyen vücutta olabilecek etkiler

için ise çok yüksek dozlardaki etkilerden gidilerek çeşitli yaklaşımlarla kestirimler yapmak zorunlu olmaktadır.

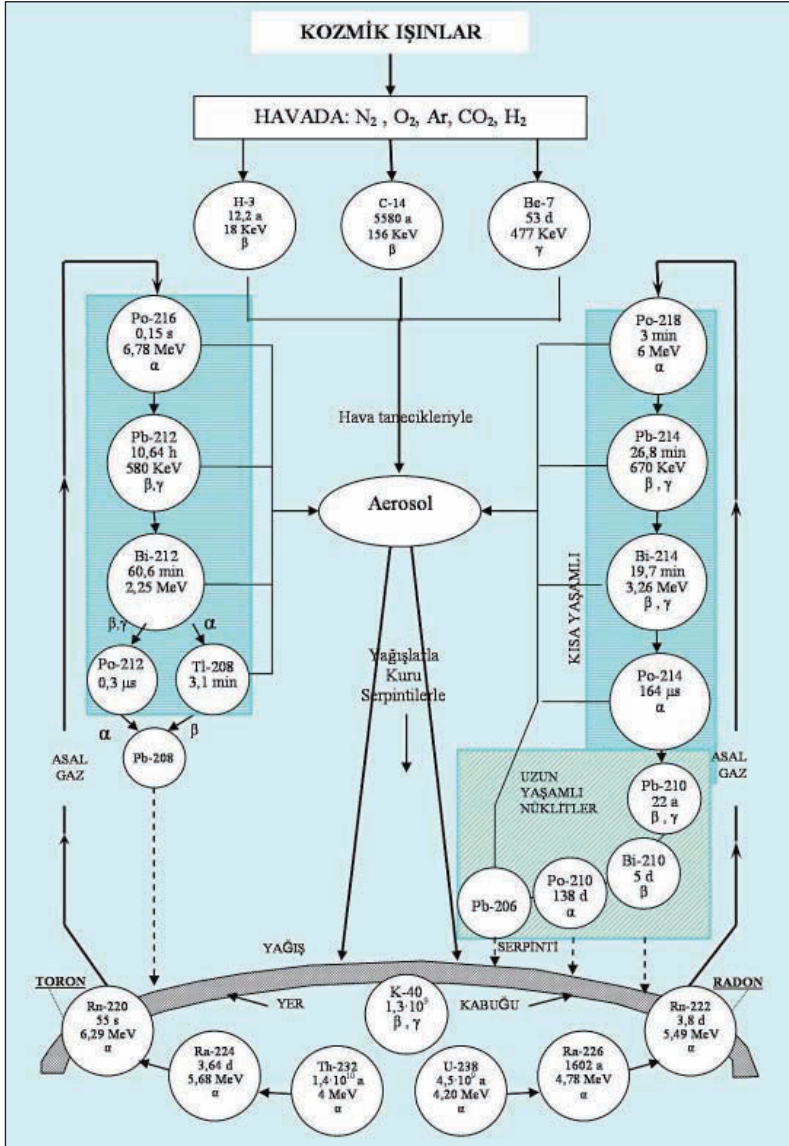
Vücudumuz ayrıca kozmik ışınlar ve çevremizdeki her çeşit maddenin içindeki radyoaktif maddelerden salınan ışınlar da sürekli olarak 'dıştan' hedef olmaktadır. Öte yandan, bir röntgen filmi çektiğimizde, vücudumuza 100 milyar kadar ışın girmesine karşın vücutta 'belirgin bir hasar' ya da hastalık başgöstermiyor. Her ne kadar hücreler, radyasyonlara karşı gerekli savunmayı yaparak kendilerini korumakta iseler de giriciliği yüksek iyonlaştırıcı ışınların, hücre ve organlarda hasar oluşturabilmesi, kanser gibi ölümlü sonuçlanabilecek hastalıklara yol açma olasılığı, çok düşük olmakla birlikte, var. Bazı araştırmacılar, düşük radyasyon dozlarının hücreleri adeta kamçılıyarak işlevlerini yapmaya zorladıklarını ya da bunlara karşı koruyucu önlemleri almayı öğrenip, daha yüksek dozlarda hasarın önlenmesini sağladıklarından, vücut için yararlı bile olduklarını ileri sürüyorlarsa da bu, henüz kanıtlanmış değil. Radyasyonlarla, radyasyon dozuyla ve birimleriyle ilgili ayrıntılı açıklamalar için **Ek 1** ve **2**'ye, **Şekil E3**'e bk.

Doğal Radyasyon Kaynakları

Kaynağı 'Doğa'da olan radyasyonlar, güneşten, yıldızlardan gelen kozmik ışınlar ile yer kabuğunda (kayaçlarda, taşta, toprakta, havada, suda, bitkilerde ve tüm canlılarda) bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan ışınlardır.

Kozmik Işınlar

- Güneş ve daha uzaklardaki yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar daha çok (% 93) hızlı protonlardan (hidrojen atomu çekirdeklerinden) ve daha az da (% 6,3) alfa parçacıklarından (helyum atomu çekirdeklerinden) ve bir miktar da trityum (H3) ve karbon 14 çekirdeklerinden oluşuyor (**Şekil 2.3**). Kozmik ışınlar atmosferdeki hava molekülleri ve atomlarla çarpışarak yeni çekirdekler üretilir, enerjilerini gitgide bunlara aktararak azalıyor ya da yitiriyorlar. Sonunda, kozmik ışınlardan ikincil ve daha sonraki bir dizi tepkimelerle üretilen protonlar, nötronlar, elektronlar, mezonlar, gamalar (fotonlar) gibi daha birçok ışınlar yeryüzüne ulaşıyorlar.



Şekil 2.3: Doğal radyoizotopların oluşumu, radyoaktif bozunmaları ve yayımları/ a:yıl, d:gün, min: dakika, s: saniye Prof.Jacobi-Müniñh/

Mezonlar, kütleleri elektronla proton arasında olan ve atom çekirdeklerindeki komşu parçacıklar arasında büyük bir hızla gidip gelen, çok kısa ömürlü temel (elemanter) parçacıklardır. “Çekirdek Kuvvetine” mezonların neden olduğu düşünülmektedir. Yeryüzünde deniz düzeyindeki kozmik ışınların % 90’ı mezonlardan oluşuyor. Ancak bunlar saniyeden çok çok daha kısa bir sürede bozunarak, elektriksel yüklerine göre, ya bir elektronla ya da bir pozitronla¹ birlikte iki nötrino² yayıyorlar. ‘Mezonların şiddeti’, bir metre kalınlığındaki kurşunu geçerken bile ancak % 50 azalıyor. Bu nedenle mezonlar derin maden ocaklarında ve derin deniz diplerinde de ölçülebilir. Kozmik ışınların şiddetinin, tüm bu etkileşmeler sonucu atmosferin yüksek katlarından yer yüzüne doğru inildikçe azalacağı anlaşılır. Deniz düzeyinden yükseldikçe kozmik ışınların şiddeti iyice artıyor: her 1000 ile 1500 metre arasında yaklaşık olarak 2 katına çıkıyor ve dolayısıyla yüksek yerleşim yerlerinde oturanların, uçak personelinin, uzun uçuş yapanların alacakları radyasyon dozu da artıyor. Deniz düzeyindeki bir yerleşim yerinde **yıllık ortalama 0,25-0,3 miliSievert (mSv)³** olan kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozu, 3.000 m’de 1,1 ve 10.000 m yüksekliğinde ise yılda ortalama 44 mSv “e yükselmektedir ki bu da saatte 0,005 mSv (= 5 mikro Sievert)’lik bir dozhızı demektir (Deniz düzeyindeki değer 150 katına yakın). Bu nedenle kozmik ışınlardan, uçak personelinin aldığı radyasyon dozları, nükleer reaktörlerde, nükleer tıpta ve diğer nükleer araştırma merkezlerindeki personel gruplarının (radyasyonla uğraşanların) aldıkları yıllık ortalama dozların çok üstünde olup, örneğin Almanyadaki 30.000 kişilik uçak personeli en çok radyasyon dozu alan grubu oluşturuyor.

Vücutumuzdaki ve Çevremizdeki Doğal Radyoaktif Maddeler Nereden Kaynaklanıyor?

Çevremizdeki ve vücutumuzdaki doğal radyoaktif maddeler, yer kabuğunda, az miktarda bulunan uranyum, toryum, potasyum gibi çok uzun ömürlü, karasız dediğimiz radyoaktif maddelerden ve kozmik ışınların havadaki atom çekirdekleriyle çarpışarak oluşturduğu karbon 14 ve trityum (H 3) gibi maddelerden kaynaklanıyor. Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri kabaca yerküresinin jeolojik yaşı kadar (10^9 yıldan çok) olmakla birlikte bunlardan türeyen radyoizotoplar çok daha kısa yarılanma süreli.

¹ Pozitron: Radyoaktif atom çekirdeğinden salınan (yayılan, yayınlanan) artı yüklü elektron.

² Nötrino : Kütsesiz ve elektriksel yüksüz enerji parçacıkları (kuantumlar) olup, atom çekirdeklerinin eksi ya da artı beta bozunumu sırasında nötronun protona ya da protonun nötrona dönüşümünde ortaya çıkıyorlar (Bk. Ek 1)

³ Ek 2’deki ayrıntılı doz birimleri açıklamalarına bk.

Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden Alfa, Beta ve Gama ışınları salınarak bunların başka maddelere dönüştüklerini (bozduklarını) özellikle Marie Curie⁴ 'nin 1898' de başlayan çalışmalarından biliyoruz. Yer kabuğunda bulunan önemli radyoaktif maddeler olarak Toryum, Uranyum-Aktinyum ve Uranyum-Radyum dizilerindeki radyoizotoplar sayılabilir ki bunların tümü bir dizi radyoaktif bozunma (parçalanma) sonucunda kurşuna (Pb) dönüşerek, atom çekirdekleri kararlı duruma geçerek son buluyorlar.

Örneğin uranyum dizisinde, uranyum 238'den ardı sıra radyoaktif bozunum sonucu radyum 226 ve ondan da radon 222 (asal gaz) oluşurken, toryum dizisinde, toryum 232'den bir dizi bozunumlar sonucu radon 220 ortaya çıkıyor. Bu çeşit doğal radyoaktif maddelerle bunlardan türeyen daha bir çokları hava, su, besinler yollarıyla vücuda girip vücudu içten ışınladıkları gibi, bunların toprakta, yapı malzemesinde bulunmaları sonucu vücut ayrıca dıştan ışınlanıyor. Topraktan evlerin alt katlarına giren ve yükselen radon gazı da soluduğumuz havaya karışarak bizleri içten ışınlıyor. Tüm bunlardan başka uzaydan gelen kozmik ışınlar da oturduğumuz yörenin yükselmesine göre bizi daha az ya da daha çok dıştan ışınlamakta. Bu ışınlamalar sonucu vücutta bir 'taban radyasyon dozu' oluşuyor.

Şekil 2.3'te doğal radyonüklitlerin ortaya çıkışı, radyoaktif bozunumları ve bunların yayılmaları gösteriliyor. Görüldüğü gibi, kozmik ışınların etkisiyle havadaki azot, oksijen, argon ve CO₂ gibi maddelerden, trityum ve C 14 gibi radyoizotoplar (radyoaktif atom çekirdekleri) oluşmakta, bunlar havadaki aerosollarla (toz taneciklerinin binde biri büyüklüğündeki gözle görülemeyen tanecikler) birlikte yeryüzüne (kuru ya da yağ) serpilerek bitkiler ve hayvanlar yoluyla ya da doğrudan insana ulaşıyorlar. Öte yandan topraktaki doğal potasyumdaki potasyum 40 nolu (K 40) radyoizotop, besinler yoluyla insan vücuduna girerek insanı içten ışınlıyor. Ayrıca yer kabuğundaki, Uranyum ve Toryum Dizileri'lerinden radyoaktif bozunum yoluyla oluşan radon ve toron asal gazları içindeki Rn 222 ve Rn 220 (=Toron) radyoizotopları atmosferde yükselip, yine radyoaktif bozunumla kurşun ve bismut gibi uzun yarılanma süreli radyoizotoplara dönüşmekte ve bunlar da havadaki taneciklere tutunarak tekrar yer yüzüne yağış ya da kuru serpintilerle inerek besinler yoluyla ya da doğrudan insanı ışınlıyor.

İnsan Vücudunda Oluşan Doğal Radyasyon Dozları

Dünyanın herhangi bir yerinde yaşayan bir insanın vücudunda oluşan doğal radyasyon dozu, yukarda belirtilen doğal radyoaktif maddelerle, onlardan türeyenlerin sadece o yöredeki az ya da çok bulunmasına bağlı değil. O kişinin

⁴ Marie Curie (1867-1934), Polonya asıllı Fransız bilimci, radyum ve polonyumu buldu, fizik ve kimyada Nobel ödülleri aldı.



yemek yeme alışkanlığına, yediği besinlerin, içeceklerin günlük miktarına ve bunların nereden kaynaklandığına, ekonomik durumuna da bağlı. Örneğin Ankarada oturup Samsundan balık, Güney Amerikada muz, Edirmeden beyaz peynir yemek gibi. Bunların herbirindeki doğal radyoaktif maddelerin cins ve miktarlarının o kişinin oturduğu yerdekilerden farklı olacağı açık.

Öte yandan kişinin oturduğu yerin yükseltisi, evinin tabanının izolasyonu, duvar, kapı ve pencerelerinin ısı korunumlu olup olmaması, yılda kaç gün evde kaldığı, uçaklarla yılda kaç saat iş ya da tatil gezisi yaptığı (artan kozmik ışın dozu!) ve daha birçok etken o kişinin vücudundaki doğal doz oluşumunda önemli olabiliyor. Bu nedenlerle vücutta oluşan doğal radyasyon dozunun belirli bir yörede bile kişilere göre büyük değişim göstereceği, sabit bir değerde olamayacağı görülyor.

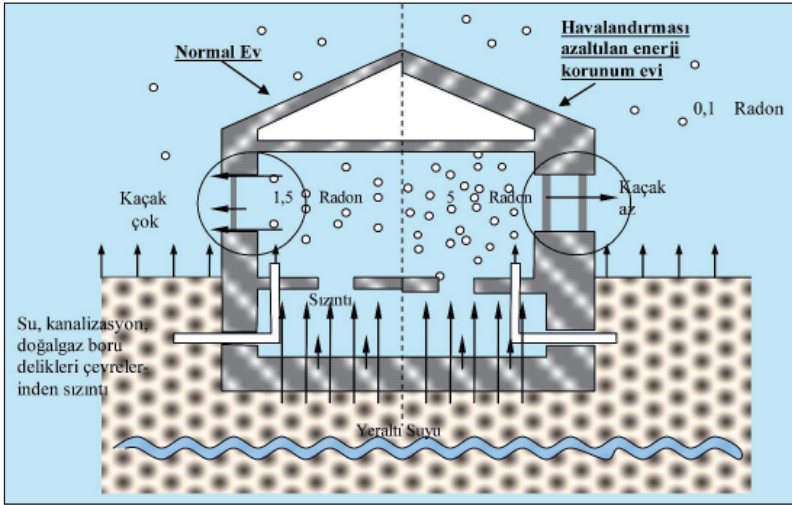
Vücutta oluşan radyasyon dozları, dünya ortalama değerleri olarak aşığadaki Çizelge 2.1'de bulunuyor. Bu ortalama doz değerlerinin belirli bir bölge ya da yöre için doğrudan uygulanamayacağı da burada belirtilmeli (Çizelgenin sağ sütündeki, dünya ortalamalarındaki büyük 'değişim aralıklarına' bk.).

Dünyanın çeşitli bölgelerinde, bu çizelgedeki değerlerin çok üstünde doğal dozlar da ortaya çıkabiliyor. Örneğin Brezilya, Hindistan ve Çinde yılda 24 mSv'lik dozun alındığı yerler var (çizelgedeki ortalama değerin 10 katı) ve oralarda yaşıyanlar arasında belirgin bir hastalık olduğu da gözlenmemiş. Büyük bir topluluktaki (100.000 kişi ve daha çoğu gibi), insanların % 65'nin yılda 1 ile 3 mSv, % 25 kadarının 1 mSv'in altında ve % 10'nun da 3 mSv'in üstünde etkin doz alabilecekleri bekleniyor.

Evlerin tabanındaki çeşitli çatlak ve yarıklardan, boru kanallarından bodrum katına ve oradan da daha yukardaki katlara, topraktan sızıntılarla ulaşan radon gazı içindeki radyoizotoplar (Rn 222 ve Rn 220) özellikle havalandırması az olan evlerde oturanları solunum yoluyla etkiliyorlar. Radon'un katkısı insanın sürekli etkilendiği 'toplam doğal radyasyon dozunun' yaklaşıık olarak yarısını oluşturmaktadır.

Çizelge 2.1'de kozmik ışınların ve doğal radyoizotopların vücudu dıştan ve içten ışınlanması sonucunda oluşan yıllık etkin ortalama doz değerleri (kişi başına) gösteriliyor. Görüldüğu gibi, **Tüm Dünya için, toplam ortalama değer yılda 2,4 mSv** dir. Bu değer, 70 yıllık ortalama yaşam süresinde 170 mSv (0.170 Sv)'lik yaşam boyu ortalama doğal radyasyon dozunu oluşturuyor (Doz birimleri açıklamaları için Ek 2'ye bk.). Bunun yarısı, yapılarıdaki doğal radyonüklitlerin (Rn 220 ve Rn 222) havaya ulaşması ve bunların solunum yoluyla insanı içten ışınlanması yoluyla oluşmakta. Doğal radyasyon dozundaki tüm dünya için değişim aralığı oldukça fazla olup, yılda 1-10 mSv arasında bulunuyor. Bu değişim, yaşıyanların yükseltisine göre kozmik ışınların katkısıyla, çevrenin doğal radyoaktivitesinden

kaynaklanıyor. Örneğin 1.000 ile 2.000 metre arasındaki yükseklikteki bir yerde kozmik ışınların, 'toplam doğal radyasyon dozuna' katkısı, deniz düzeyindeki bir yerleşim yerindekine göre yaklaşık olarak iki katıdır. Ayrıca çevredeki madde ve malzemelerdeki (evlerin yapı malzemesi gibi) doğal radyoizotopların cins ve miktarı, bu dozların hesaplanmasına katkıda bulunuyor. Öte yandan çeşitli yörelerdeki insanların yiyecek alışkanlıklarının değişik olması sonucu besinlerle vücuda giren radyoaktif madde cins ve miktarı da farklıdır. Bir yerleşim yerindeki insanların vücudunda oluşan doğal radyasyon dozları, ancak tüm bunların (vücut dışından ve içinden ışınlamaların) katkıları gözönüne alındığında doğru olarak hesaplanabilir. Türkiye'de kullanılan dünya ortalamaları, geniş coğrafyamızdaki dıştan ve içten ışınlamalardaki farklılıklar (her bir yöredeki farklı radyasyon doz hızlarının yanı sıra, halkın yemek yeme alışkanlıklarındaki farklılıklar) nedenleriyle kaba yaklaşımlardır.



Şekil 2.4: Hava sızdıran normal bir evdeki düşük radon konsantrasyonu ile hava kaçağı azaltılan enerji korunum evindeki artan radon derişiminin şematik görünümü⁵

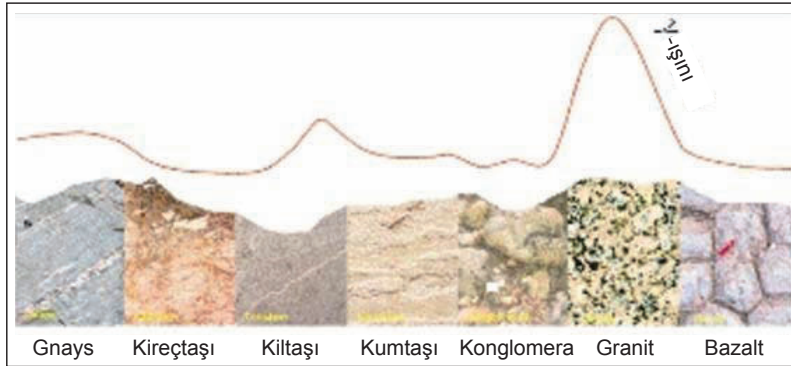
⁵ Dünyadaki enerji sorunu ve yakıtın pahalı olması nedeniyle, daha az yakıt kullanmak amacıyla, bilindiği gibi, evlerin pencere ve kapılarını iyice izole etmek öneriliyor. Bu ise evlerin havasındaki doğal radon gazı miktarını ve dolayısıyla akciğerlerdeki radyasyon dozunu çoğaltıyor. Buna karşı alınacak en iyi önlem, soğuk kış günlerinde bile 1-2 dakika kapıyı pencereyi iyice açıp evi havalandırmak olabilir (Pencereyi bütün gün aralık tutmak, evi duvarlarıyla birlikte tümüyle soğutacağından çok daha fazla enerji yitirilmesiyle sonuçlanacaktır).

| Doğal Radyasyon Kaynağı | Ortalama yıllık etkin doz (mSv) | Değişim/Salınım aralığı (mSv) |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| DIŞTAN IŞINLANMA | | |
| Kozmik ışınlar | 0,4 | 0,3 – 1,0 |
| Yerel gama ışınları | 0,5 | 0,3 – 0,6 |
| İÇTEN IŞINLANMA | | |
| Solunum (çoğu Radondan) | 1,2 | 0,2 – 10 |
| Sindirim | 0,3 | 0,2 – 0,8 |
| TOPLAM | 2,4 | 1–10 |

Çizelge 2.1: Doğal radyasyon kaynaklarının vücutta oluşturduğu “Dünya Ortalama Yıllık Etkin Radyasyon Dozları” (UNSCEAR 2000 yılı Bilimsel Raporundan)⁶

Çizelgedeki değerler dünya ortalamaları olup, bölgelere göre değişim aralıkları, görüldüğü gibi büyüktür

Yeryüzündeki çeşitli toprak ve kayalarda az da olsa bir miktar radyoaktif madde bulunuyor. Bunlardan saçılan ışınların oluşturduğu doz hızları göreceli olarak **Şekil 2.5**'de gösteriliyor. Şekilde, çeşitli jeolojik yapı taşlarındaki doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan gama ışınlarının doz hızlarındaki göreceli farklılık görülüyor (Granitteki radyoaktif maddelerin diğerlerinden daha çok olduğu yaydığı gama ışınlarının doz hızları düzeyinden görülüyor- Ayrıntılar için **Ek 2** ve **Ek 5**'e bk.)



Şekil 2.5: Çeşitli kaya türlerinin yaydığı gama ışınları doz hızları (birimsiz, göreceli salınımlar)

⁶ UNSCEAR: Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun etkilerini inceleyen bilimsel alt kurulu

İnsan Yapısı (Yapay) Radyasyon Kaynakları

Doğal radyasyonların yanı sıra, hızla ilerleyen teknolojinin getirdiği insan yapısı (yapay) radyasyon kaynaklarından da ışınlanmakta olduğumuzu biliyoruz. Bunlardan önemlileri:

- Nükleer bomba denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintiler (fallout)
- 1986-Çernobil kazasından türeyen serpintiler
- Nükleer reaktörlerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan radyoaktif maddeler
- Tıpta uygulanan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları
- Bilim ve teknoloji uygulamalarında kullanılan iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları
- Çeşitli aygıtlarda kullanılan radyoaktif kaynaklar (Gece görünür saatler, yangında duman uyarıcıları gibi)

Toplumda oluşan radyasyon dozlarına, baştaki ilk dört kaynağın katkıları, önemli olduğundan, aşağıda bunlara biraz yakından bakılıyor:

Nükleer Bomba Denemelerinden Kaynaklanan Serpintiler (Fallout)

1945-1989 yılları arasında tüm dünyada 420 kadar yerüstü ve 1050 kadar da yeraltı Nükleer Bomba Denemesi yapıldı (Tümü açıklanmadığından tam sayı bilinmiyor). Patlama gücüne göre en etkinleri 1961 ve 1962 yıllarındakilerdi. 1963'den beri ABD, İngiltere ve eski Sovyetler Birliği arasında yerüstü denemelerini durduran bir sözleşme yapıldı. Bu sözleşme dışında kalan Çin Halk Cumhuriyeti ve Fransa o zamandan beri 63 yerüstü denemesi yaptılar.

Nükleer bombalar, ya atom çekirdeklerinin parçalanması (Atom bombasında olduğu gibi; fisyon, çekirdek bölünmesi de diyoruz) ya da çekirdeklerin çok yüksek sıcaklıkta kaynaştırılması (Hidrojen Bombasında olduğu gibi; füzyon, çekirdek kaynaşması) olaylarına ve bunlarla ilgili yol, yöntem ve teknolojilere dayanıyor.

Atom bombasında, ya uranyum 235 ya da plütonyum 239 çekirdekleri bölünürken (parçalanırken) ortaya çıkan nötronlar başka çekirdekleri parçalayarak zincirleme tepkimeler sonucunda çok büyük bir enerji, ışın, ısı ve basınç dalgası olarak yayılıyor. Çekirdek bölünmesinde ortaya çıkan birçok radyoizotoptan alfa, beta, gama iyonlaştırıcı ışınları salınıyor. Çekirdek kaynaşmasında ise ya döteryum (H 2) ya da trityum (H 3) nötronlarla kaynaşarak helyuma dönüşüyor ve atom bombasındakinden çok daha büyük bir enerji açığa çıkıyor.

Yerüstü nükleer bomba denemeleri sırasında ortaya çıkan radyoizotoplar atmosfere ulaştıktan sonra, hava akımlarıyla dünyanın çeşitli bölgelerine yağışlarla ve kuru serpintilerle indiler. Bunlar yeryüzündeki toprak ve sulara bulaşarak insana solunum ve besinler yollarıyla ulaşır vücudumuzu içten, ayrıca az da olsa bizi dıştan Zr 95, Ru 103, Ba 140 gibi radyoizotoplarla, çok daha uzun yarılanma süreli Cs 137 (30,17 yıl) ve Sr 90 (28,5 yıl) olanlardan kaynaklanan gama ve beta ışınları önemli katkıda bulundular. Bugün bunlardan sadece Sr 90 ve Cs 137 radyoizotoplarıyla insanın içten çok az da olsa ışınlanması söz konusudur ki bunlar su, süt, et, sebze ve meyvalar yoluyla insan vücuduna çok az miktarlarda bugün de giriyorlar.

En yoğun nükleer bomba denemelerinin yapıldığı yıllar 1961/1962 yıllarıydı. O dönemden atmosfere yayılan radyoizotopların Avrupadaki besinlerde ve insanda ortaya çıkması 1-2 yıl gecikmeyle oldu. Bugün bu yolla, vücut dışından ve içinden ışınlanma sonucu alınan **toplam radyasyon dozu yılda kişi başına 0,01 mSv** 'den daha az olup, bu değer, diğer ışınlanmalar sonucu oluşan dozlar yanında çok azdır.

Tıpta iyonlaştırıcı radyasyon kaynakları uygulamaları

Tıpta, tanı ve iyileştirme (tedavi) amacıyla Röntgen ve gama ışınlarıyla, radyoizotoplarla, ayrıca hızlandırılan proton ve C¹² gibi atom çekirdekleriyle çok çeşitli uygulamalar yapıldığını biliyoruz.

Tanısal Radyoloji

Tıpta tanı (teşhis) amacıyla vücudun belirli bir organı ya da bölgesi röntgen ışınlarına tutuluyor. Röntgen ışınları maddenin yoğunluğuna göre az ya da çok geçirgen olduklarından, örneğin bir akciğer röntgeninde kaburga kemiklerinde daha çok tutulan (soğurulan) ışınlar arkadaki bir filmde (ya da bir ekranda), çevrelerindeki daha az yoğunluktaki et dokulara oranla daha açık, silik bir görüntü oluşturuyor. Buradan ilgili organdaki önemli bir bozukluk, hasar ortaya çıkarılabiliyor (örneğin organ büyümesi, kaburga kırılmasında kırığın tam yeri ve büyüklüğü gibi). Tanı amacıyla yapılan tıptaki bu çeşit uygulamalarla insan vücudunda, tanının cins ve kapsamına göre, çok farklı radyasyon dozları oluşmakta. **Röntgen ışınlarıyla yapılan bir akciğer tanısı sırasında deri yüzeyinde 1 mSv, kemik iliğinde 0,2 mSv** ve üreme organlarında 0,01-0,03 mSv kadar oldukça düşük dozlar oluşurken, böbrekteki kan ve limf dokularının incelenmesinde deri yüzeyinde 300 mSv, kemik iliğinde 10 mSv ve üreme organlarında 12-30 mSv kadar büyük dozlar vücudu etkileyebiliyor. Teknik ilerledikçe Röntgen aygıtları, vücutta daha az doz oluşacak yönde geliştiriliyor.

Radyoterapi (Radyasyonla Tedavi)

Tıpta iyileştirme (tedavi) amacıyla vücut dokularında ortaya çıkan kötü huylu belirli bir ur (tümör gibi) röntgen ışınlarına, yüksek enerjili gama ışınlarına ya da çok hızlandırılmış atom çekirdeklerine tutularak öldürülüyor (Röntgen ve gama ışınları farklı enerji ve orijinli fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalardır, bk. Ek 1). Derindeki bir tümörü ışınlarken, aradaki sağlıklı dokuların da radyasyonla çok fazla öldürülmemesi için, ışınlama bölümler hâlinde (daha az dozlarda), aynı hedefe farklı yönlerde, 5-10 gün içinde yapılıyor. Böylelikle aradaki sağlıklı dokular daha az ışınlanırken, tümör toplam dozla ışınlandığından aldığı bu yüksek radyasyon dozu sonucu öldürülebiliyor (**Bu konuyla ilgili CT, MRT ve PET tekniklerinin ayrıntıları için Ek 13'e bk.).**

Tedavi ışınlamalarında hastanın ilgili organı, tanı amaçlı olanlara göre, kısa süreli daha büyük bir radyasyon dozu alıyor. Dozun büyüklüğünü, hasta hücrelerin öldürülebilmesi belirlemekte. Örneğin kanserli bir tümörün öldürülebilmesi için 30 – 100 Sv arasında değişebilen çok yüksek dozlar gerekebiliyor. Organ dozları olarak gereki olan bu aşırı doz değerleri, tüm vücut ışınlamasında uygulanamaz. Örneğin 4 Sv'lik bir tüm vücut ışınlaması bile, bu dozu alan kişinin % 50 olasılıkla, ölümüyle sonuçlanabiliyor.

Almanya'da kişi başına yılda ortalama olarak iki adet röntgen filmi ışınlanması, '**tanı amacıyla**' yapılmakta ve bunun sonucu olarak **kişi başına ortalama etkin dozun yılda 1,5 mSv** olduğu hesaplanıyor. Bu ise 2,4 mSv'lik 'ortalama doğal radyasyon dozunun' % 62'i kadardır. **İyileştirme (tedavi) amacıyla** yapılan röntgen ya da gama ışınlamalarının genel toplumda oluşan ortalama doza katkısı kişi başına sadece % 1 – 2 kadar. Tedavide bu düşük katkının nedeni, tanı için akciğer filmini neredeyse herkes çektirirken, ışın tedavisi gören insan sayısının çok daha az olmasındandır.

Nükleer Tıpta Radyoizotop Uygulamaları

Nükleer Tıp'ta tanı amacıyla hastaya belirli bir radyoaktif maddeli karışım veriliyor (örneğin içiriliyor ya da enjekte ediliyor) ve bunun izleneceği organda toplanması sağlanıyor. Radyoaktif maddenin vücutta bulunduğu yerlerden yayılan radyasyonların, vücut dışından uygun aletlerle ölçümüyle izlediği yollar ve yayıldığı dokular belirleniyor. Organın radyoaktif maddeyi alış hızından ve dokudaki derişimden (konsantrasyondan) gidilerek, organın normal çalışması ve organda herhangi bir tümör olup olmadığı anlaşılıyor. Hastaya verilen radyoizotopun kısa yarılanma süreli olması, vücutta çok uzun süre kalmaması ve yaydığı radyasyonun enerjisinin çok yüksek olmaması gerekiyor (Radyoizotopun biyolojik yarılanma süresinin kısa olması yoluyla: Vücuda giren miktarın yarısının, vücuttan normal yollarla atılması için geçen süre). Bu

konuda çok bilinen bir örnek, tiroitin iyi çalışıp çalışmadığıyla ilgili tanı ya da kontroldür. Hastaya verilen belirli bir miktardaki radyoaktif iyot 131'in % 90'ı birkaç saat sonra tiroit bezinde toplanıyor. Geçen zaman süresince iyot 131'in tiroitte birikme hızı ve biriken miktar, tiroitin düzenli çalışıp çalışmadığının bir göstergesi oluyor. Vücut dışındaki bir ışın sayacından (detektör) gelen sinyaller elektronik ekrana ve yazıcıya aktarılarak örneğin tiroitin aşırı büyüklüğü gibi bilgiler resim ya da diyagram şeklinde görüntüleniyor.

Yukardaki gibi tanı amacıyla iyot 131'in kullanılmasının yanı sıra, tiroit bezinde bir tümör varsa, iyot 131 hastaya daha yüksek miktarlarda verilerek ilgili tümör öldürülüyor. Radyoiodun saldırdığı beta ışınlarının enerjileri fazla olmadığından fazla yol alamıyorlar ve tiroit bezinin içinde kalarak dışarıdaki dokularda olumsuz bir etki yaratmıyorlar.

Nükleer tıptaki tanı ve iyileştirme uygulamalarında ortaya çıkan radyasyon dozları çok yüksek olabilir. Örneğin hastaya 2 Mega Bq'lık iyot 131 uygulandığında, tiroitte oluşacak radyasyon dozu 1 Sv kadar yüksektir. Hastayı iyileştirmek için bu yüksek lokal doz gereklidir. Öte yandan Nükleer Tıptaki bu çeşit uygulamaların sayısının az olması nedeniyle, tüm halkta oluşacak ortalama 'kollektif radyasyon dozu' çok azdır (Röntgen ışınlarıyla yapılan tanı uygulamalarından oluşan dozun sadece yüzde birkaçı kadar).

Almanya'da 2004 yılında iyonlaştırıcı ışınlarla ilgili işlerde çalışan 313.400 kişiden, (241.000'i tıpta olmak üzere) alınan toplam topluluk dozu : 42 kişi·Sievert. Bunların % 80 kadarı herhangi bir doz almadıklarından (değerler dozimetrelerin duyarlılıkları altında kaldığından) sadece 51.500 kişi için **ortalama doz** hesaplanarak **kişi başına**: $42.000 \text{ kişi} \cdot \text{Sievert} / 51.500 = 0,82 \text{ mSv}$ bulunuyor. Vücutlarının içten ışınlandığı (inkorporasyon yoluyla) 1.284 kişi için 0,069 kişi·Sievert ve buradan da kişi başına ortalama içten ışınlanma dozu olarak: $0,069 \text{ kişi} \cdot \text{Sv} / 1.284 \text{ kişi} = 0,054 \text{ mSv}$ hesaplanıyor.

Doğal ve Yapay Radyasyon Dozlarının Karşılaştırılması ve Vücutta Hasar Oluşma Riski

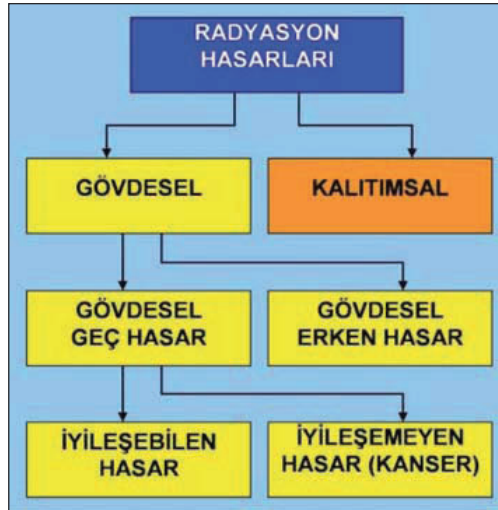
Tüm halk için, yapay radyasyon dozuna 2004 yılında en büyük katkı röntgen ışınlarıyla yapılan tıptaki 'Tanısal Radyolojideki' uygulamalardan kaynaklanmakta olup bunun ortalama değeri yılda kişi başına olmak üzere 1,5 mSv kadar. Çernobil'in ve diğer kaynakların yine yılda kişi başına olmak üzere toplam katkısı ise 0,1 mSv'in epey altında. Böylece 'yapay radyasyon kaynakları'nın toplam katkısı 1,6 mSv ile 'doğal radyasyon'un ortalama 2,4 mSv'lik katkısı toplandığında, **halktan herhangi bir kişinin yılda ortalama olarak 4 mSv bir radyasyon dozu aldığı ve bunun 2,4/4 = % 60'nın doğal radyasyondan, 1,6/4 = % 40'nın yapay radyasyondan kaynaklandığı**

ve yapay radyasyon dozunun da neredeyse tümünün röntgen ışınları uygulamalarından (Tanısal Radyolojiden) ileri geldiği sonucu çıkıyor.

Radyasyonun Vücutta Hasar Oluşturma Olasılığı (Riski)

Radyasyonun vücutta oluşturabileceği hasarın derecesi (büyüklüğü) ya da hasar oluşma olasılığı (riski) genellikle aşağıdaki büyüklüklere bağlı :

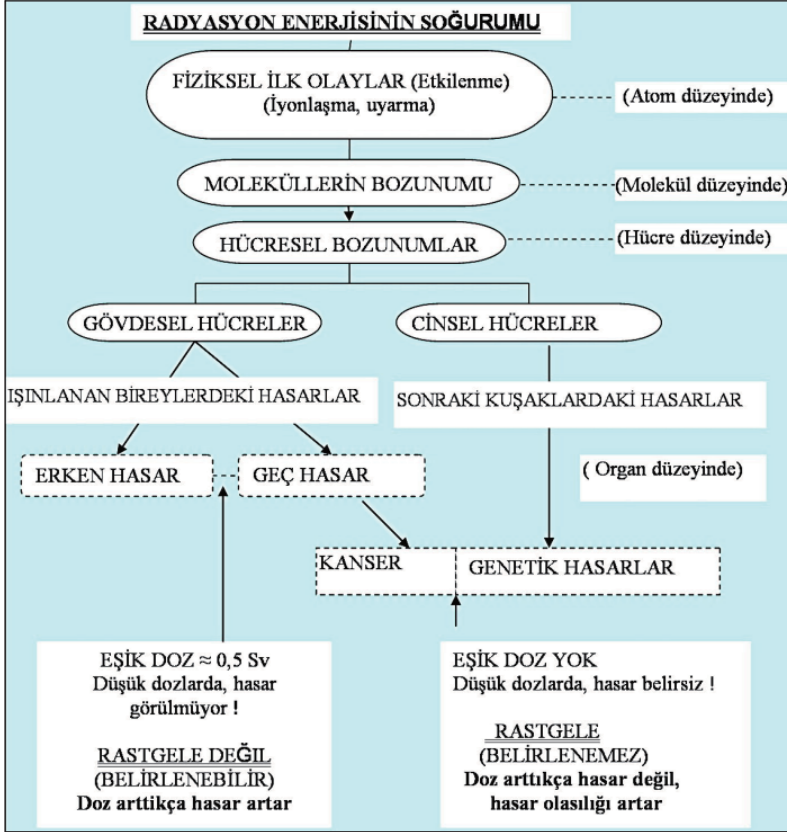
- Dozun büyüklüğü: Doz arttıkça, risk de artar
- Dozun süresi : 'Belirli bir dozun' alındığı süre arttıkça, etkisi azalır ve bu nedenle risk de azalır (Örneğin 1 Sv'lik bir doz 1 yılda alınırsa, 1 saatte alınmasına göre etkisi çok azalır)
- İyonlayıcı ışının cinsi: Aynı enerji dozundaki yoğun iyonlaştırıcı ışınlar (alfalar gibi), seyrek iyonlaştırıcı ışınlarla göre (beta, gama) daha etkin olduklarından, yoğun iyonlaştırıcılarla risk artar
- Hedef dokunun cinsi ya da duyarlılığı : Doku ne kadar farklılık gösterirse iyonlaştırıcı ışınlarla karşı direnci artar
- Işınlanan canlının yaşı: Organlarının oluşmakta olduğu embriyo, anne karnındaki bebekler ve çocuklar iyonlaştırıcı ışınlarla, yetişkinlerden çok daha duyarlılar.



Şekil 2.6: Radyasyonun vücutta oluşturabileceği hasarlar

Şekil 2.6 radyasyonun vücutta başlattığı olayların gelişmeleri sonucu ortaya çıkabilecek hasarları gösteriyor.

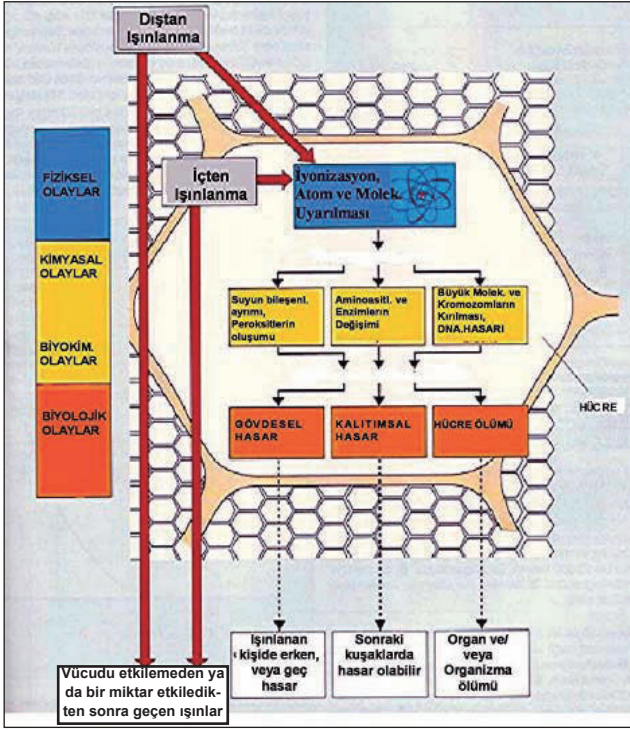
Gövdesel (somatik) hasar erken (ani, birdenbire) ya da geç ortaya çıkabiliyor. Geç ortaya çıkan bir hasar kötü huylu ya da iyi huylu bir tümör şeklinde olabiliyor. **Şekil 2.7**'de radyasyon enerjisinin soğurumu ve vücutta ortaya çıkabilecek hasarların ayrıntıları gösteriliyor.



Şekil 2.7: Radyasyon enerjisinin soğurumu ve vücutta ortaya çıkabilecek hasarların ayrıntıları / kernenergie.de/

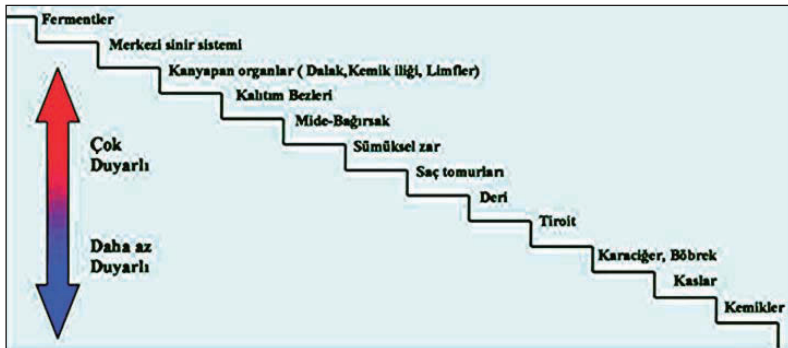
Gövdesel hasarlar sadece radyasyon dozu alan kişide görülüyor. Işınlanmanın etkisiyle o kişinin kalıtım hücrelerinde de hasarlar ortaya çıkabiliyor.

Şekil 2.8'den görüldüğü gibi, iyonlaştırıcı ışınlar atom düzeyinden başlayarak, molekül hücre ve organ düzeylerinde çeşitli hasarlara neden oluyorlar. Işınlanan bireydeki "rastgele olmayan (belirlenebilen) hasarlar" erken ya da geç ortaya çıkabiliyor. Kanser ve genetik hasarlar ise bir toplumda, önceden belirlenemeyen, **rastgele** bazı kişilerde görülüyor.

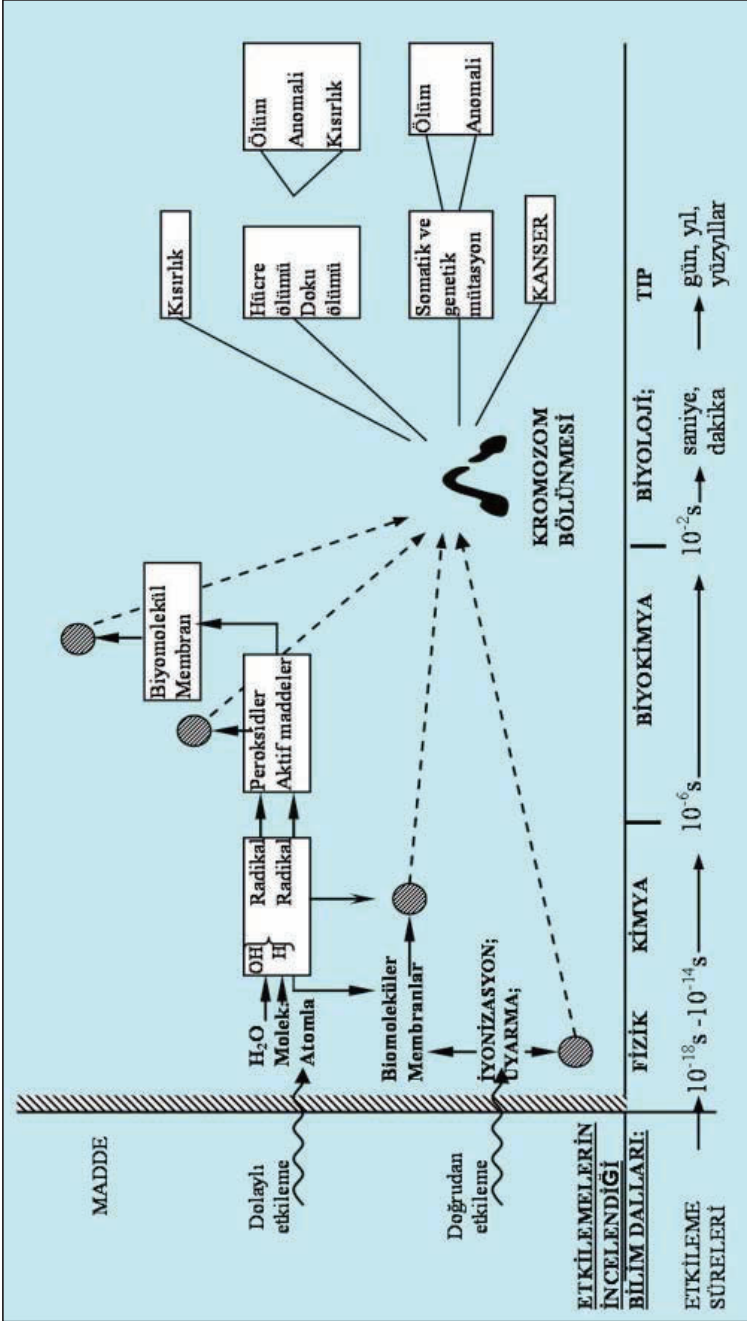


Şekil 2.8: Dıştan ve içten ışınlanma sonucu radyasyonun vücut hücrelerinde ortaya çıkabilen hasarlarla ilgili fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilenmeler

Şekil 2.9, organ ve dokuların radyasyona duyarlılığını gösteriyor. Merkezi, sinir sistemi ve kan yapan organlar radyasyona çok duyarlıyken, kemik dokuları çok daha az duyarlı.



Şekil 2.9: Organ ve Dokuların Radyasyona Duyarlılığı/kemenergie.de/



Şekil 2.10: Radyasyonun madde ve hücreyle etkilenmesi, bunlarla ilgili bilim dalları

Şekil 2.10, radyasyonun madde ve hücreyle etkilenmesiyle ilgili bilim dallarını gösteriyor. Etkilenme süreleri fizik ve kimyasal olaylarda saniyenin çok çok altındayken, tıpta yılları alabiliyor.

Radyasyonun Vücutta Oluşturabildiği Erken Hasar Nedir?

Radyasyona ışınlandıktan sonra, çabuk, ani gibi erken hasarların ortaya çıkabilmesi için oldukça yüksek olan **eşik bir doz** değeri gerekiyor ki bu 'bir kez ışınlanma'durumunda **300 mSv** kadardır. Böyle bir ışınlanmanın etkisi, ancak kan yapısındaki değişimlerin ilgili laboratuvarında incelenmesiyle ortaya konabiliyor. Radyasyon dozu arttıkça, vücuttaki erken hasarın büyüklüğü de artıyor. Eşik doz değerinin aşılması durumunda hasarın ortaya çıkması rastgele olmadığı için, bu çeşit hasarlara '**rastgele olmayan hasarlar**' ya da belirlenebilir (deterministik) hasarlar denilmekte. Bunlara örnek olarak aşırı dozla oluşan cilt yanıkları ve katarakt verilebilir.

Öldürücü Doz Olasılığı ve Değerleri Neler?

4.000 mSv 'lik (= 4 Sv) bir kezlik bir tüm vücut ışınlanması sonucu, herhangi bir iyileştirme önlemi alınmamışsa, o kişi % 50 olasılıkla 30 gün içinde ölebiliyor. Burada ölüm olasılığı ya da riski derken, örneğin 1000 kişiden herbiri 4.000 mSv'lik bir doz aldığında, bunların yarısının ölebileceği anlaşılıyor (yarı öldürücü doz⁷). 7.000 mSv 'lik bir doz ise, iyileştirici bir önlem alınmadığı takdirde o kişinin büyük bir olasılıkla (% 90 gibi) ölümüyle sonuçlanıyor (**öldürücü doz**).

Radyasyonun Vücutta Oluşturabildiği Geç Hasar Nedir?

Gövdesel geç hasarlar yıllar sonra ortaya çıkabiliyor. Her ne kadar hücrelerdeki bozunmalar ışınlanmanın hemen sonrasında ortaya çıkıyorsa da, bunların ilgili organ ya da tüm organizmaya yayılıp hastalığa neden olması çok sonra olabiliyor.

Kötü huylu olmayan geç hasarlar (örneğin kısırılık, gözlerde bulanıklık gibi hasarlar) ancak belirli bir eşik doz değeri aşıldığında ortaya çıkabiliyor. Bunun yanı sıra, eşik doz değerinin altında olmakla birlikte birçok kez yinelenen ışınlanmalar da geç hasarlara neden olabiliyorlar.

⁷ Çeşitli canlıların radyasyona duyarlılığı ya da direnci farklılık gösteriyor. Yarı öldürücü doz (toplulukta aynı dozu alanlardan yarısının öldüğü doz) örneğin köpek, keçi ve domuzda 2.500 mSv' e düşerken, farede 5.600, tavşanda 7.000, alabalıkta 15.000 ve arılarda ise 1 milyon mSv'e kadar çıkmakta.

Kan kanseri gibi kötü huylu geç hasarların ortaya çıkmasında ise, buna neden olabilecek doz değeri çok düşük olabilir ya da eşik bir doz değeri belirlenemiyor. Buradan, tek bir gama ışınının ya da alfa taneciği gibi iyonlaştırıcı bir parçacığın, daha önce hasara uğramış ve kendi onarımını yapamamış bir hücreyle etkileşmesi durumunda, bu hücrenin çoğalmasına ya da kansere neden olabiliyor. Doz miktarı arttığında 'hasarın büyüklüğü değil', **hastalığın ya da 'hasarın ortaya çıkma olasılığı' artıyor**. Ancak bu, belirli bir kişi için, ne deneysel ne de istatistiksel olarak ortaya konabiliyor. Bu nedenlerle, bu çeşit hasarlara, toplulukta hangi kişide ortaya çıkacağı önceden kestirilemediği için **'rastgele hasarlar'** (stokastik hasarlar) deniyor.

Çeşitli kanser cinslerinde, kanserin ortaya çıkışı, organların iyonlaştırıcı ışınlarla karşı farklı duyarlık göstermesi nedeniyle, farklı sürelerde oluyor. Işınlanma zamanıyla, kanserin başgösterme zamanı arasındaki çeşitli kanser cinslerine göre farklı olan bu süreler 'latent ya da kuluçka süresi' deniyor. En kısa kuluçka süreleri, kan kanseri (lösemi) ve tiroit kanserlerinin ortaya çıkışında görülüyor, çocuklarda bu süre 2-3 yıl kadar. Tüm yaşlar için ortalama 8 yıl. Başka kanser cinsleri için bu süre 10 yıldan ve akciğer kanseri için 20 yıldan çok. Eğer kanser bu sürelerden çok daha kısa bir sürede ortaya çıkıyorsa, bu kanserin nedeni büyük bir olasılıkla iyonlaştırıcı ışınlar değil.

Yapılmakta Olan Epidemiyolojik⁸ Çalışmalar

İyonlaştırıcı ışınların etkisiyle ortaya çıkan kanser ve genetik hasarlar, görünüm ve içerik olarak, başka nedenlerle aniden oluşan kanser ve genetik hasarlardan ayırmsanamıyor. Bu gibi hastalıkların nedenlerinin iyonlaştırıcı ışınlar oldukları, ancak ışınlanan toplulukta, ışınlanmamış olan topluluklara oranla, istatistiksel olarak belirgin (signifikant) bir hastalık sıklığı ya da çokluğu varsa ortaya konabiliyor ki bu da kapsamlı çalışmalar gerektiriyor.

Tıpta, iyonlaştırıcı ışınların neden olabileceği epidemiyolojik çalışmalar aşağıdaki insan grupları için yapılıyor :

- Japonya'da atılan atom bombalarından sonra sağ kalan bir grup halk
- Tıpta tanı ve iyileştirme amacıyla ışınlananlar
- İyonlaştırıcı ışınlarla uğraşan kişiler
- Nükleer tesisler yakınlarında oturan halk. Örneğin Hanford (ABD), Mayak (Rusya), Çernobil ve Fukuşima.

⁸ Epidemiyoloji: Büyük halk kitlelerinde kanser gibi hastalıkların sıklık ve dağılımını, nereden kaynaklandığını, etkenlerini; bunların yayılmasını ve şiddetini etkileyen koşullarla birlikte araştırıp inceleyen ve başka daha sağlıklı halk kitlelerindeki aynı cins olaylarla karşılaştırıp sonuçlar çıkararak bilim dalı. Epidemiyolojik çalışmalar çoğunlukla tam kanıtla sonuçlanmasa da, herhangi bir hastalığın neyin sonucu olarak ortaya çıkmış ya da çıkmamış olabileceğini gösterebiliyor" ve bulgu sayısı çoğaldıkça istatistiksel güvenilirlik de artıyor.

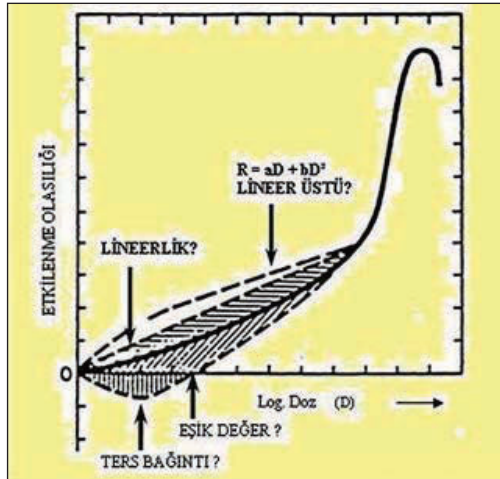
- Atmosferde yapılan atom bombaları denemelerinden etkilenen insan toplulukları

Yukardakilerden en kapsamlısı olan Japonya'da atılan atom bombalarından ışınlanmalarına rağmen sağ kalan 100.000 kişilik bir halk kitesinde (çevrede, ışınlanmayan başka halk topluluklarıyla karşılaştırılarak) 1945'den bu yana yapılmakta olan epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıda özetleniyor.

Düşük Dozlar Sorunu: Risk Kestirimi ve Belirsizlikler

Genel Yaklaşımlar ve Güçlükler

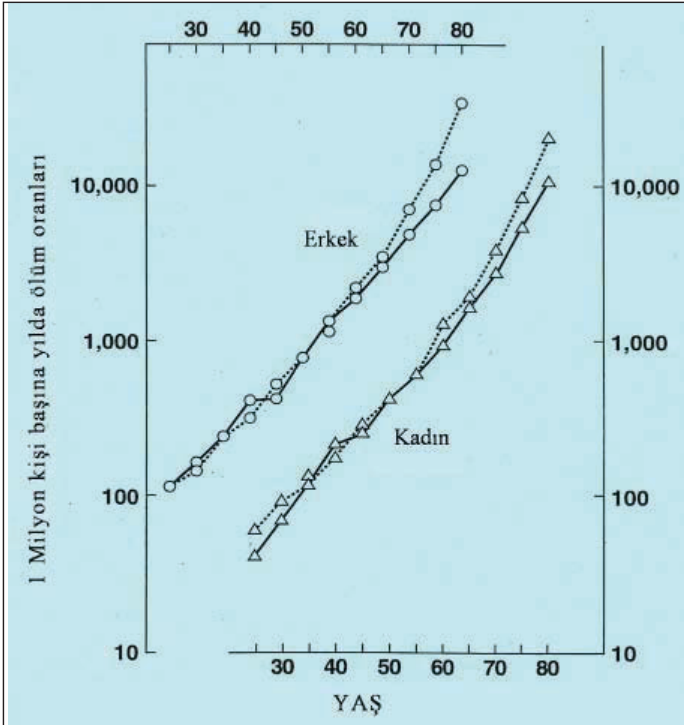
Doğal radyasyondan etkilenen halkın ve hatta nükleer tesislerde çalışanların alabileceği düzeylerdeki oldukça düşük dozların oluşturabileceği risk için, yüksek dozlarla ilgili gözlem ve bulgulardan gidilerek çeşitli yaklaşımlar (ekstrapolasyon) yapılması gerekiyor. Diğer yandan ilgili bölgedeki halk için başka nedenlerle kanser ve kan kanserinin aniden ortaya çıkma sıklık ve çokluğunun araştırmalarla ortaya konulması, bunların ne kadarının iyonlaştırıcı ışınlar yoluyla oluştuğunun kestirilebilmesi için önemli. Sadece yüksek dozlar için geçerli olabilen 'Doz/Etki' bağıntılarından (eğrilerinden) düşük dozlara doğru bu eğriler uzatılarak (ekstrapolasyonla) kestirimler (tahminler) ancak kitlesel ışınlanma durumu için yapılabilen. **Şekil 2.11**'deki eğrilerden görüldüğü gibi farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte daha çok doğrusal (lineer) olanı kullanılıyor.



Şekil 2.11: Doz/etki bağıntıları ile ilgili çeşitli yaklaşımlar ve belirsizlikler/ kernergie.de/

Japonya’da Atılan Atom Bombalarının İnsana Etkileri Neler?

Nagazaki’de atılan atom bombasından sağ kalanlardan ‘ışınlananlarla’, ‘ışınlanmayanlar’ üzerinde yapılan bir karşılaştırmada (Şekil 2.12), ölüm oranlarında, 55 yaşına kadar pek bir fark görülüyor. Bu iki gruptan, daha yaşlılarla ilgili olanlarda ise, **ışınlanmayanlarda ölüm oranlarının arttığı** gözlemlenerek, beklentinin tersine bir sonuç elde edildi.



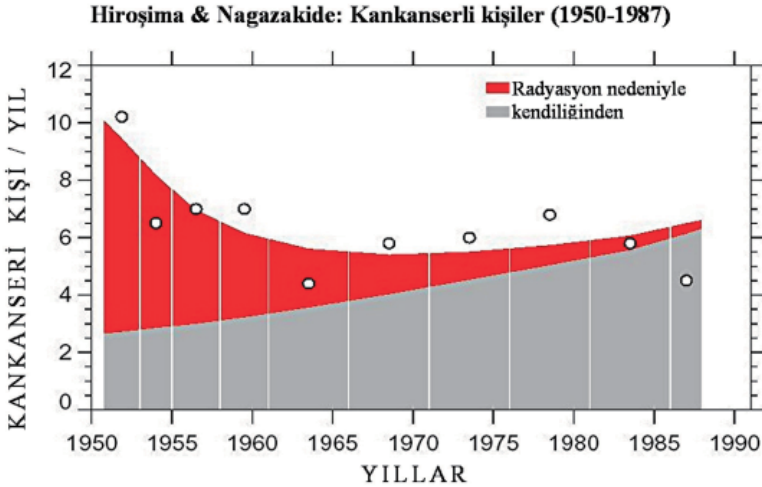
Şekil 2.12 Işınlanan grup siyah çizgili, ışınlanmayan grup ise noktalı çizgili olarak grafikte gösteriliyor /IAEA/

Japonya’da bombaların patladığı merkezlerde bulunanlar yüksek basınç ve sıcaklık sonucu yaşamlarını hemen yitirirken, buraların yakınlarında yaşayanlardan birkaç bin kişinin, aldıkları yüksek radyasyon dozları sonucu vücutlarında ağır hasar oluştuğu biliniyor.

Sağ kalanların çoğu ise daha uzaktaki halk kitleleri olmuş ve bunlar 0,5 Sv’lik eşik doz değerinin altında kalan, ortalama **0,2 Sv (= 200 mSv)**’ lik dozlar almışlar ve vücutlarında belirgin bir hasar gözlenememiş.

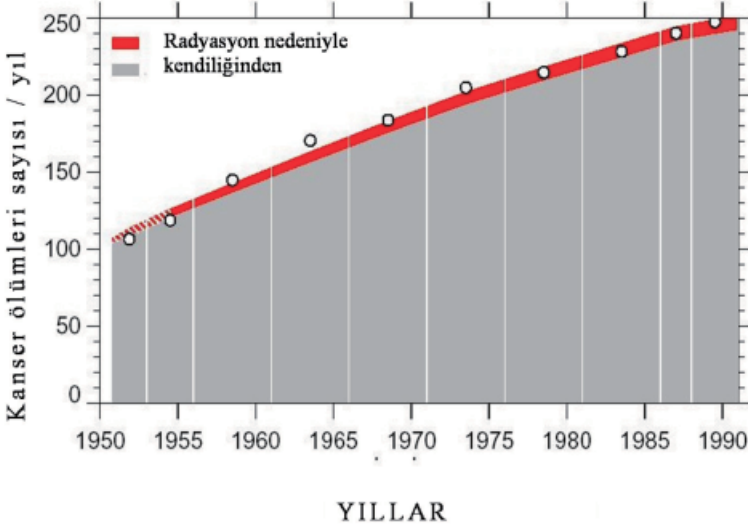
Ortalama 200 mSv doz alan bu grupta, bugüne kadar 500 kadar daha çok kanserli ve kan kanserli kişi belirlenmiş. Bunlardan 250 kan kanserliden 90'nın radyasyonun etkisiyle kansere yakalandığı saptanmış. Bu oldukça az 250 kişilik toplam sayıya rağmen, 90'nının radyasyonun etkisine bağlanabilmiş olması çok yüksek bir belirleme oranı ($90/250 = \% 36$) olup buradan kan kanserinde radyasyonun etkisinin gözlenebildiği ya da tanımlanabildiği sonucu çıkıyor. 100.000 kişinin yarıya yakını yaşamlarını sürdürüyor ve araştırmalar sonuçlanmış değil (2006).

Aşağıdaki **Şekil 2.13 ve 2.14**, Hiroşima ve Nagazaki'de atılan atom bombalarından kurtulan grup içinde, ileriki yıllarda gözlenen 'kanserden ölüm sayıları'nı gösteriyor (Şekillerdeki küçük daireler, kankanseri dışındaki katı dokular ve **Şekil 2.14**, tüm kanser cinsleri için). **Şekil 2.13** kan kanseri sonucu ölümleri gösteriyor, gri bölge, **ışınlanmayanlarda ortaya çıkan kanserden ölüm sayılarını** (istatistik analizlere göre hesaplanan), kırmızı band kalınlığındaki kanserden ölüm sayılarına eklemeler ise **ışınlananlar için** yapılan hesaplara dayanıyor (1950'den önce kayıt yok). Gri bölgede, atom bombasından kurtulanların yaşlanmalarıyla birlikte herhangi bir nedenle kanserden ölümlerin zamanla arttığı görülüyor. Sadece çok az sayıdaki kanser ölümü, radyasyona bağlanabiliyor. Bunun nedeni alınan ortalama dozun sadece 140 mSv kadar az olması ve radyasyon dozu alındıktan sonra katı/kalıcı tümörlerin artış hızının, kan kanserine oranla çok daha az olması /Kellerer and Walsh GSF-Münih/.



Şekil 2.13

Hiroşima & Nagazakide: KANSER ÖLÜMLERİ (1950-1990)



Şekil 2.14

Uluslararası Radyasyon Kurumlarının Kanser Riskiyle İlgili Belirlemeleri Neler?

Radyasyon fiziğinde 'Risk' dendiğinde, ışınlanan topluluktaki 'rastgele herhangi bir kişide' kanser, kan kanseri ya da kalıtımda başgösterecek bir 'hasar olasılığı' anlaşılıyor. Hasar olasılığının başgöstermesiyle doz arasındaki bağıntı ise 'Risk katsayısı' olarak adlandırılıyor.

Düşük dozların zamanla (süreğen) alındığı durumlarda, hücrelerin bu uzun sürede onarım işlevlerinin devreye girip etkiyi ya da bozunmayı azaltacağı ya da ortadan kaldıracakları gözönüne alınarak risk katsayıları yarıya indirilerek; ışınlanan tüm kitle için ortalama (yaklaşık olarak):

% 5 / 1 Sv (Sievert başına ortalama risk % 5)

Örneğin ışınlanan 10.000 kişilik bir topluluktaki her kişi uzun sürede 10 mSv'lik toplam bir doz almış ise:

10.000 kişi x 0,010 Sv/kişi x 0,05/Sv = 5 kişi bulunur
(10.000 kişi içinden rastgele, ortalama 5 kişinin ölümcül kansere yakalanabileceği anlaşılmalı).

Kansere yakalanma olasılığı (riski), kanserden ölüm riskinden iki kat daha büyük. Eğer, kanserden ölüm riski değil, sadece kansere yakalanma riski gözönüne alınacaksa, yukardaki değerlerin iki katını almak gerekiyor. Yukardaki örnekteki 10.000 kişiden rastgele 10 kişinin kansere yakalanabileceği, bunlardan 5'inin ise ölebileceği sonucu çıkar (Radyasyon riskiyle ilgili daha ayrıntılı açıklama ve hesap örnekleri için bk.: **Ek 11**).

Genetik hasarlar, kalıtım hücrelerinin kromozomlarındaki değişim ya da dönüşümler sonucunda, ışınlanan kişinin sonraki kuşaklarında ortaya çıkabiliyor. Genetik hasarların bazılarını da vücut onarabiliyor. Hücrelerdeki değişim ve dönüşümler (mutasyonlar)⁹ tüm canlılar için doğal olarak birdenbire ortaya çıktığı gibi fiziksel ve kimyasal etkilerle zamanla da oluşabiliyorlar.

İyonlaştırıcı ışınların oluşturabileceği genetik hasarlarla ilgili olarak insanlar üzerinde yapılabilmiş ve sonuçları bilimsel olarak kabul edilebilmiş bulgular bulunmuyor. Japonya'da atılan atom bombalarından sonra yaşamda kalanların çocuk ve torunlarında, diğer bölgelerdeki Japon halk gruplarına oranla belirgin olarak daha çok bir genetik hasar belirlenemiyor. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerden, iyonlaştırıcı ışınların genetik hasar (kalıtım hücrelerinde değişim ve dönüşümler, mutasyon) yapabileceği biliniyor. Bu nedenle insanlarla ilgili genetik hasarların kestirimi, hayvanlar üzerinde yapılan deneylere dayanıyor.

Radyasyon, Vücudumuzu Nasıl Etkiliyor? Hücrelerdeki Tepkimeler

Doğal ve yapay radyasyon kaynakları yukarıda açıklandığı gibi girici (yıkıcı, dokulara işleyen) ışınlar yayıyorlar. Bunlar insanı, ya dıştan ya da vücut içine girdiklerinde, vücuttaki dağılımlarına ve hangi organ ya da dokuda ne miktarda birikip, ne süre kaldıklarına bağlı olarak, vücudu içten ışınlayarak vücutta radyasyon dozları oluşturuyorlar.

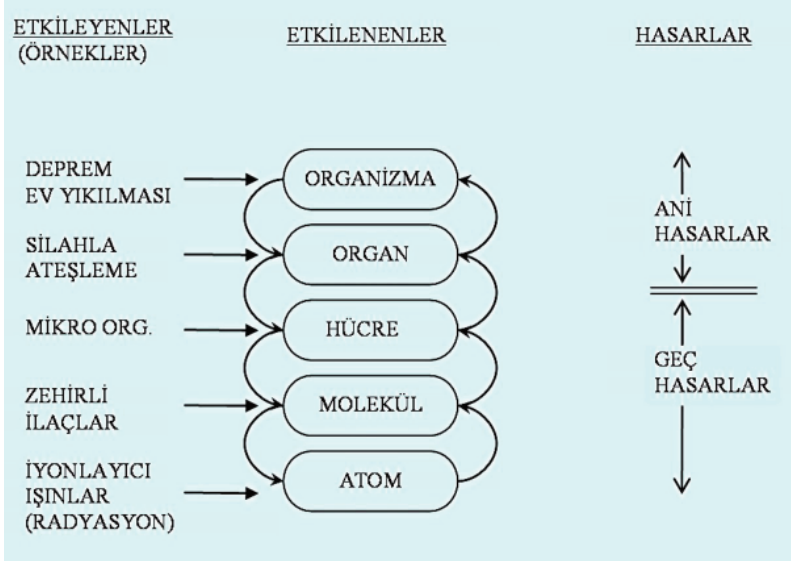
Örneğin Çernobilden hava akımlarıyla çeşitli ülkelere taşınıp yağışlarla yeryüzüne inen radyoaktif maddeler, insanı “dıştan” ve “içten” olmak üzere iki yoldan ışınladılar. Radyoaktif maddeli taneciklerin, hava, toprak ve bitkilere bulaşması sonucu, vücut dıştan ışınlanırken, solunum ve sindirim yoluyla vücut içine taşınan radyoaktif maddeler de insanı içten ışınladılar.

Hücreler, bu gibi radyoizotopların saldıdığı radyasyonlara karşı gerekli savunmayı yaparak kendilerini koruyorlar. Burada, vurgulamak yararlı olabilir: Belirli bir radyoizotopun doğalı ile, örneğin bir nükleer santralde ortaya çık-

⁹ Değişim ya da mutasyon, bir canlının genomu içindeki DNA ya da RNA diziliminde meydana gelen kalıcı değişimlerdir (Bk.: Ek 15)

kan yapayı arasında hiçbir fark bulunmuyor. İnsan vücudu her saniye, kendi içindeki ve çevresindeki doğal radyoaktif maddelerin saldığı 15.000 kadar radyasyona hedef oluyor.

Şekil 2.15'te çeşitli etkenlerin etkisiyle organizmada aşağıdan yukarıya ya da yukardan aşağıya doğru olan düzeylerdeki hasarlar görölüyor: radyasyon şiddeti aşırı derecede yüksek olmadığında, hasar geç ortaya çıkıyor.



Şekil 2.15: Her düzeyde etkileyenin etkilenende oluşturduğu hasar, daha alttaki ya da üsttekini etkiliyor/kıvrık oklara bk.)

Herhangi bir düzeydeki etken sonucunda, bu düzeyin hasar görmesi diğer düzeyleri de etkilemekte. Örneğin, ev yıkılması sonucu organizmanın hasarı ya da ölümü, organ ve hücrelerin ani hasarı ya da ölümü ile sonuçlanıyor. Buna karşılık hücreleri oluşturan moleküllerdeki atomların, radyasyonların etkisiyle bozunumu, molekül, hücre, organ ve organizmada daha geç ortaya çıkan hasara neden olabiliyor.

İyonlaştırıcı ışınlar temelde atomlarla, atom çekirdekleriyle etkilenmekle birlikte, biyolojik sistemin bu ışınlar karşı duyarlığı ya da tepkisi organizmanın her yerinde aynı (homojen) değildir. Farklılığın (heterojenliğin) nedeni, atom, molekül ve organ düzeylerindeki biyolojik yapının karmaşık olması, her düzeydeki çok çeşitli görevler ve her düzeyin diğerleriyle iletişim hâlinde olması.

Her düzeyde “özel bir hareketlilik ya da türbülans (burgaçlama) “ var. Atom düzeyinde; atomlar ‘Kuantum Mekaniği’ kurallarına göre bir araya gelerek molekülleri, bunlar da daha büyük molekülleri oluşturup ortaya yeni bilgilerle donatılmış düzeyler çıkıyor. Her yeni düzenleme (organizasyon) düzeyinde karmaşıklık arttığı için biyolojik sistemin herhangi bir bölümünün ne gibi bilgilerle donatılacağı önceden kestirilemiyor.

Vücudun dıştan ya da içten ışınlanması sonucu vücutta hasarın oluşup oluşmaması neye bağlı, ya da hasar nasıl ortaya çıkıyor?

İyonlaştırıcı ışınların hücreyle etkileşmesi temelde iki yolla oluyor :

1. İyonlaştırıcı ışınların DNA'ya çarparak DNA'da kırıkların oluşması (doğrudan etkileme) /Bkz: Ek 15/
2. İyonlaştırıcı ışınların hücrelerdeki moleküllerde (genellikle su moleküllerinde) iyonizasyona neden olarak, oluşan iyonların diğer hücre molekülleriyle etkileşmesi sonucu zararlı serbest radikallerin ortaya çıkmasıyla hasar oluşması (dolaylı etkileme)

Bir hücrede, aşırı ışınlanma sonucu bozunma arttığında hücre ölebiliyor. Onarılamayan ya da üretilemeyen hücreler, organlardaki işlevleri yönünden önemsiz iseler ve sayıları da çok değilse, ilgili organda belirlenebilecek bir hasar görülemiyor. Buna karşın, işlevleri önemli olan hücrelerin sayıları az da olsa radyasyonun etkisiyle öldürülmesi, ya da başka hücrelerin çok sayıda hasarı sonucunda organlarda önemli hasar ya da hastalıklar başgösterebiliyor. Radyasyon bu şekilde, ışınlanan kişinin hücrelerinde erken (ani, birdenbire) ve geç hasarlar oluşturabileceği gibi, kalıtım hücreleri yoluyla sonraki kuşaklarda ortaya çıkabilecek genetik hasarlara ya da kalıtım bozukluklarına da neden olabiliyor. Büyük molekül Deoksi Ribo Nükleik Asit'in (DNA), genetik madde olarak, radyasyon biyolojisinde özel bir yeri var. Belirli koşullarda, bu büyük molekülde belirli bir yerdeki tek bir atomun başkasıyla yer değiştirmesi, ilgili hücrenin bozulmasına ve bunun da kanser tümörü oluşturmasına neden olabiliyor. Öte yandan, yaşam için gerekli bu genetik madde (DNA), sarmalının bir kolunda ortaya çıkan hasarı bir tamir mekanizması ile onarsa bile, ikinci kolunda ortaya çıkan bir bozukluğu hiçbir zaman düzeltmiyor. Böylece molekül yapısının değişimi sonucu, hücre kolaylıkla bozulabiliyor; çeşitli işlev bozuklukları ortaya çıkıyor. Enzimler gibi oldukça büyük moleküller çok sayıda bulunuyorlar ve bozulduklarında ve zaman zaman yenileri üretiliyor. Bunların az ya da çok miktarda bozulmaları (onları meydana getiren genler dışında), biyolojik sistemde bir ani tehlikeler yaratmıyor. Biyolojik yapının korunmasından sorumlu olan enzimlere “uzman işçiler” gözüyle bakılabilir. Enzimler, kalıtsal maddenin komutu ve denetimi altında çalışıyorlar.Genler, enzimler ve bunların oluşturduğu büyük moleküller, canlının temel işlev birimleri olan

hücreyi oluşturuyor. Vücutumuzun her gramı, çok çeşitli yapıda, yaklaşık bir milyar kadar hücreden oluşuyor ve bunlar özel görevler olarak birbirleriyle iletişim hâlinde bulunuyorlar. **Şekil 2.10**'da radyasyonun biyolojik maddeleri zincirleme etkileme şeması, bu etkileri inceleyen bilim dalları ve etkileme süreleri gösteriliyor.

Radyasyondan Korunma Yöntemleri ve Doz Sınır Değerleri?

Radyoaktif maddelerden yayılan ışınların insanı en az etkilemesi amacıyla bir dizi korunma kural ve yöntemleri geliştiriliyor. Bunlara kesinlikle uyulması teknik ve yönetsel olarak, radyasyon fizikçilerinin gözetim ve denetimiyle sağlanıyor. Radyasyon yayan herçeşit kaynağın yakınında gereksiz yere bulunulmamalı ve gelişigüzel hareket edilmemeli. Bu nedenle her radyasyon uygulamasının bir gerekçesi olmalı ve bunun 'yararı', 'zararından' daha çoksa, ancak o zaman radyasyon kaynaklarıyla çalışılmalı ya da radyasyon uygulamasına geçilmeli. Buna radyasyonlarla çalışmada '**gerçekleştirme**' deniyor.

Radyasyondan korunmada ana üç kural : Radyasyon kaynağına olduğunca uzak durmak, yakınında daha az süre kalmak ve kaynakla aramıza ışınları soğurup etkisini azaltıcı uygun zırh maddeleri koymak şeklinde özetlenebilir.

Uzaklık, radyasyon şiddetini büyük ölçüde azaltıyor: Noktasal bir radyasyon kaynağından uzaklaştıkça, radyasyonun şiddeti (akısı) ve dolayısıyla etkisi uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalıyor, örneğin 2 m uzaklıkta, radyasyon şiddeti dörtte bire iniyor (Bir radyasyon kaynağına uzaklık, kaynağın büyüklüğünden en az 5 kat daha büyükse, pratikte o kaynak noktasal olarak görölüyor).

Radyasyon kaynağının yakınında kalınan süre kısaltılabilirse, alınan doz da bununla doğru orantılı olarak azalıyor. Yapılacak iş ya da uygulama, önceden iyi planlanır ve gerekli hazırlık kaynaktan uzakta yapıp sonra uygulamaya geçilirse, örneğin süre yarıya indirilebiliyorsa alınan doz da yarıya iner.

İyonlaştırıcı ışınlar, yoğunluğu (özümlüğü) fazla olan maddelerde daha çok tutulduklarından, kaynakla aramıza **örneğin gama ve röntgen ışınlarına karşı kurşundan bir zırh koymamız** alacağımız dozu büyük ölçüde azaltıyor.

Öte yandan kapsüllü olmayan (açıkta bulunan) radyoaktif maddelerle çalışırken özel giysi, plastik eldiven ve plastik kılıflı lastik ayakkabılar

kullanılarak kendi giysilerimize radyoaktif maddelerin bulaşmaması sağlanıp radyoaktif madde bulaşmasının başka yerlere taşınması önlenir. Radyoaktif maddelerle çalışmaların yapıldığı oda ve laboratuvar gibi yerlerde, kullanılabilen 'en fazla radyoaktivite' miktarına göre azdan çoğa doğru olmak üzere gözlem ve denetim bölgeleri (kontrol bölgesi) kurularak buralara giriş ve çıkışlar sağlık fiziği personeline denetlenir. Ayrıca ilgili radyoaktif maddelerin ya da radyasyon kaynaklarının cins ve yaydığı radyasyonların şiddetlerine göre radyasyondan korunarak çalışmanın, yol ve yöntemleri belirleniyor, çalışanlar bu konularda eğitiliyor, uyarıcı radyasyon aletleriyle bu çeşit yerler donatılıyor. Çalışanların aldıkları dozlar film ve cep dozimetreleri gibi çeşitli radyasyon ölçüm aletleriyle sürekli ölçülüp haftalık, aylık ve yıllık kayıtlar tutularak gerektiğinde ilgili zorunlu önlemler alınıyor (Örneğin çalışılan yerlerde ek zırhlama, daha iyi havalandırma, fazla doz alan kişiyi gerektiğinde bir süre iş yerinden uzaklaştırmak gibi önlemler). Çalışma yerlerinde, laboratuvarlarda çeşitli radyasyon ölçü aletleri ve otomatik uyarıcı monitorlarla radyasyon düzeyi (doz hızı) sürekli ölçülüyor.

Çernobil kazasından sonra olduğu gibi, yağışlarla bazı bölgelerin topraklarına ve dolaylı olarak da besinlere ulaşan çok miktarda çeşitli radyoaktif maddeli serpintiler yoluyla halk ışınlanabiliyor. Radyoaktif maddelerin çevreye saçılabilmesi herhangi bir kazada halkın alacağı radyasyon dozunu azaltabilmek amacıyla çevre ve besinlerdeki radyoaktivitenin cins ve miktarları ölçümlerle belirlenerek halka ve üreticilere duyuruluyor ve bir dizi yaptırımla (örneğin belirli yüksek radyoaktifiteli besinlerin satılmaması, üretilip, tüketilmemesi, radyoaktivitesi yüksek bölgelere halkın girmesinin önlenmesi gibi) çevrede yaşayanların gereksiz ya da duruma göre aşırı radyasyon dozu alması önleniyor.

Tüm bu çeşit ve diğer teknik, yönetsel önlemlere rağmen insan az ya da çok ışınlanabiliyor.

Radyasyonlarla çalışanların ve halkın sağlığına zarar vermeyeceği düşünülen ölçüde, en az doz almaları amaçlanarak '**radyasyon dozu sınırı değerleri**' Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulunca (ICRP) belirleniyor.

Doz Sınırlamasının Geçirdiği Evrim

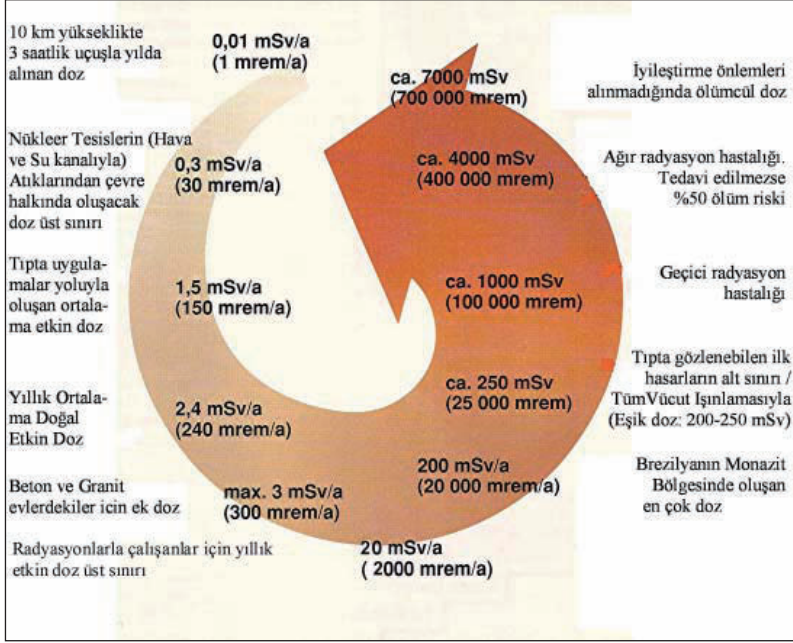
Radyasyon dozuna bir sınırlama getirme gerekliliği ilk kez 1925'de 'Tolerans Dozu' olarak ileri sürülüyor ve bu, deride kızarıklık yapan dozun % 1'i olarak kabul ediliyor. O zamanlar kullanılan röntgen birimiyle deri kızartıcı dozu 600 Röntgen'idi (R) /Ek 2/. Bunun %1'nin 30 günde alınabileceği düşünülerek,

günlük tolerans dozu olarak 1936 da 200 mR belirlenmiş ise de sonraları çeşitli araştırmaların ortaya koyduğu bulgularla bu değer günde 100 mR'e indiriliyor. Çok çeşitli radyasyon kaynaklarının gitgide daha çok kullanılması, çok daha fazla insan kitlelerinin ışınlanmaları olasılığı, ayrıca radyasyonların insan dokularında erken ve geç hasarlar oluşturabilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar, zamanla sınır değerlerin epey düşürülmesiyle sonuçlanıyor ve bugün Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu'nun (ICRP) belirlediği doz sınır değerleri ortaya çıkıyor.

Tüm vücut ışınlanması durumunda bugün halk için yılda ortalama etkin doz sınır değeri, kişi başına olmak üzere 1 mSv, radyasyonlarla çalışanlar için ise bu değer 20 mSv olup, tek bir yıl için bu değerler sırasıyla 5 ve 50 mSv olarak belirlendi. Ancak tek yıl değerleri gerçekleştiğinde, ondan sonraki bir birini izleyen 10 yıl içinde yıllık ortalama 20 mSv ve toplam olarak da 100 mSv değerleri aşılamıyor. Ayrıca çeşitli organlar için daha yüksek doz sınır değerleri öngörülüyor. Örneğin cilt, el ve ayaklar için yukardaki tek yıl değerlerinin 10 katı, yıllık ortalama eşdeğer doz sınır değerleridir. Bu son değerlerin daha yüksek olmasının nedeni, ilgili doku ve hücrelerin vücuttaki işlevleriyle ilgili farklılıklar, radyasyona duyarlılıkları (ya da dirençleri), kendilerini yenileyebilmeleriyle ilgilidir (örneğin bozulan deri hücrelerinin kendilerini yenileyebilmeleri gibi). Türkiye'de de benimsenen radyasyon dozu sınır değerlerinin ayrıntıları için Ek 12'e bk.

Halk ile "radyasyonla uğraşanlar" arasındaki doz sınır değerlerindeki farklılığın nedeni ise, halkın çok daha büyük bir kitle oluşturması ve sürekli radyasyon denetimi altında olamamasının doğuracağı sakıncalar. Ayrıca radyasyonla ilgili geç hasarların ortaya çıkmasındaki risk, doz düşük olmasına rağmen kişi sayısı arttığında çoğalmakta. Bu nedenle çevredeki halkın çok daha az ışınlanmasına özen gösterilerek ilgili koruyucu önlemler alınması sağlanıyor.

Sınır değerler, erişilmesi hedeflenen değerler olarak değil, alınan akla uygun, yararlı, etkin önlemlerle, olduğunca bu değerlerin altında kalınması gerekliliği anlamını taşıyor. Örneğin radyasyonla çalışanlar için yukardaki 20 mSv'lik sınır değerden, 19,9 mSv 'zararsız olduğu için izin verilebilir', 20,1 mSv ise 'zararlı olacağı için izin verilemez' şeklinde yanlış bir çıkarsama da yapılmamalı, duruma uygun olarak sınır değerlerin olduğunca çok altında kalınmasına özen gösterilmeli. Bu da, bugün birçok nükleer merkezde benimsenen ve radyasyonla uğraşanların aldığı ölçülen düşük ortalama dozlarla da kanıtlanan bir yöntemdir. **Şekil 2.16**, çeşitli radyasyon dozlarını, sınır değerlerini ve yüksek dozların olası etkilerini gösteriyor.



Şekil 2.16: Çeşitli radyasyon dozları, sınır değerler ve yüksek dozların olası etkileri (Radyasyon spirali)/kernenergie.de /

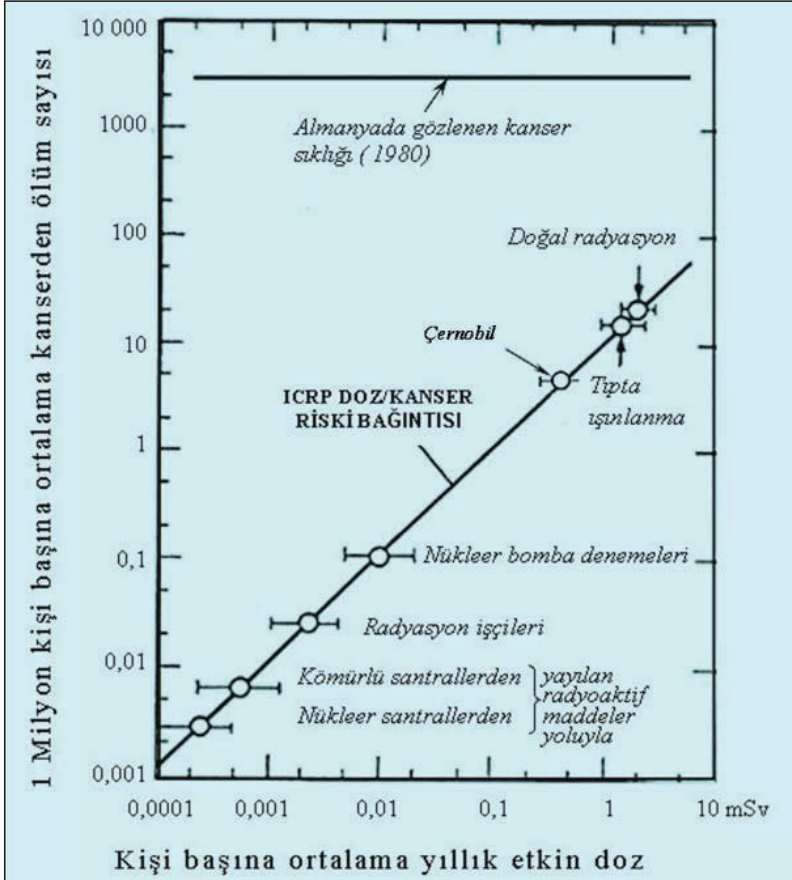
Düşük Dozlarla İlgili Hesaplanan Kanser Riski Belirlemeleri Ne Ölçüde Gerçekçi?

Uluslararası belirlemelere göre radyasyondan kaynaklandığı hesaplanan (yukardaki örneklerdeki gibi) az sayıdaki kanser ölümü, toplumda tüm etkenlerle oluşan çok sayıdaki kanser ölümleri içinde kaybolduğundan, hesapla bulunan bu sayıların doğru ya da yanlış olduğu kanıtlanamıyor.

Örneğin bir radyasyon dozunun vücutta hasar oluşturma riski hesaplanırken, doğrusal (lineer) 'doz/kanser riski' bağıntısı varsayılıyor¹⁰. Almanya'da yaşayan her '1 milyon kişi' içinde, kansere yakalananlardan yılda ortalama olarak 2500 kişi, 'tüm kanser etkenleri'sonucu ölüyor (Şek.2.17'nin üst bölümündeki yatay çizgi). Bu 'çok etkenli toplam kanser sayısının' içinde, çeşitli radyasyon kaynaklarından türediği hesaplanan kanser ölümleri katkılarının çok düşük kaldığı görülüyor (Şekil 2.17'in alt bölümlerine bk.). Düşük radyasyon dozlarının etkisiyle, hesaplanan çok az sayıdaki ölüm,

¹⁰ Prof.W.Jacobi.GSF Münih 'Strahlung und Risiko' 1982

eğer **gerçekten ortaya çıkıyorsa**, bu sayı, 'toplam kanser ölümleri sayısı' içinde kayboluyor.

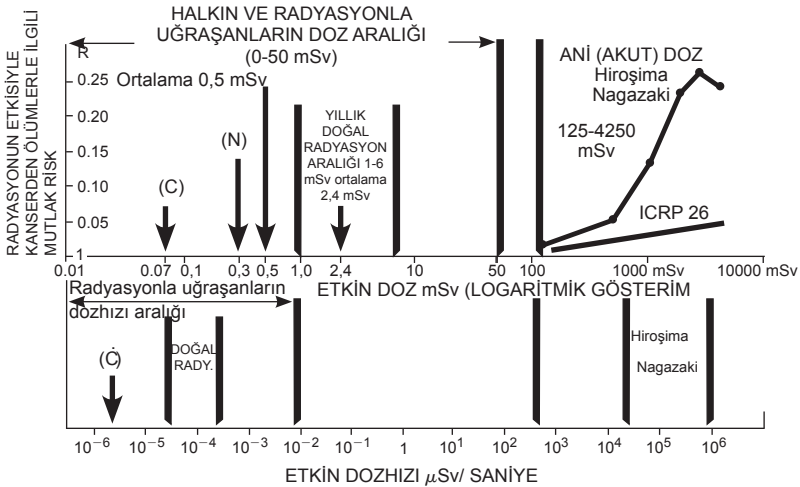


Şek.2.17: Radyasyonun etkisiyle kanserden ölüm riski, Alman halkının çeşitli kaynaklardan aldığı radyasyon dozları (ortalama yıllık, kişi başı) /Prof.Jacobi-Münih/

Ölenlerin, ölüm nedenlerinin araştırılması sonucunda, Almanya'da **'her yıl kanserden ölümler, uzun yılların ortalaması olarak, toplam ölümlerin % 25'ini oluşturuyor (2011'de bu oran: % 26)**. Bunların içinde radyasyonun etkisiyle risk katsayılarından gidilerek **hesaplanan** ölümler sadece birkaç yüz kişi olabileceğinden kanıtlanamıyor. Örneğin 1 mSv'lik ek bir topluluk dozu sonucu toplam kanserden ölüm oranı % 25'den sadece % 25,005'e ve ek 20 mSv'lik bir doz ise toplam oranı ancak % 25,1'e çıkarıyor (Bk.: Ek 11).

Doz, Etki ve Risk Yaklaşımları Ne Ölçüde Geçerli ?

Şekil 2.18'de, Almanya'da Radyasyonla uğraşanların (N) ve halkın (C) Çernobil sonucu aldığı dozlar ile dozhızları (Ç), Japonya'da atılan atom bombaları sonucu oluşan doz ve dozhızlarıyla karşılaştırılıyor /Prof.Sauer.Jülich/. Şekilden, Almanya'daki değerlerin ne kadar düşük kaldığı görülüyor (Bu karşılaştırma yaklaşık olarak Türkiye için de geçerlidir). Japonya'da ortaya çıkan **'birkaç bin mSv'** lik ani (birdenbire) dozların oluşturduğu etkilerle, Avrupa'da radyasyonla uğraşanların bir yıl boyunca aldıkları ve toplamı 1 mSv kadar bile olmayan **'zamana yayılmış' (süreğen) dozların** vücuttaki etkilerini ortaya koyabilmek için, Japonya'daki çok yüksek dozlardan Avrupadaki bu çok düşük dozlara doğru, aradaki farkın 10'un 3'cü kuvveti olan değerler için, uzatmayla (ekstrapolasyonla) sonuçlar çıkarmak kuşkusuz bilimsel olmaktan uzak. Bu çeşit yaklaşımların ne kadar geçersiz olacağını, aradaki farkın 10'un 7 'nci kuvvetine kadar çıktığı, Şek.2.18'deki **dozhızı** karşılaştırmaları açıkça gösteriyor.



Şekil 2.18: Günlük yaşamdaki doz ve dozhızı değerlerinin Japonya'dakilerle karşılaştırılması. C halkla, N radyasyonla uğraşanlarla ilgili değerler /Prof. Sauer,Jülich/.

Sonuç olarak, Japonya'yla ilgili çok yüksek doz ve doz hızlarının etkilerinden gidilerek bulunabilecek daha büyük risk değerlerinin, Avrupa genelinde geçerliliği tartışmalı..

Genetik hasar (bozulma), kalıtım hücrelerinin kromozomlarındaki değişim ya da dönüşümler sonucunda, ışınlanan kişinin sonraki kuşaklarında

ortaya çıkabiliyor. Genetik bozulmaların bazılarını da vücut onarabiliyor. Hücrelerdeki değişim ve dönüşümler (mütasyonlar) tüm canlılar için doğal olarak birdenbire ortaya çıktığı gibi, fiziksel ve kimyasal etkilerle zamanla da oluşabiliyor.

İyonlaştırıcı ışınların oluşturabileceği genetik bozulmalarla ilgili olarak insanlar üzerinde yapılabilmiş ve sonuçları bilimsel olarak kabul edilebilmiş bulgular bulunmuyor. Japonya'da atılan atom bombalarından sonra, yaşamda kalanların çocuk ve torunlarında, diğer bölgelerdeki Japon halk gruplarına oranla, daha fazla bir genetik bozulma, belirgin (signifikant) olarak, belirlenemiyor. Hayvanlar üzerinde yapılan deneylerden, iyonlaştırıcı ışınların genetik bozulma (kalıtım hücrelerinde değişim ve dönüşümler, mütasyon) yapabileceği biliniyor. Bu nedenle insanlarla ilgili genetik bozulmaların kestirimi, hayvanlar üzerinde yapılan deneylere dayanıyor.

İyonlaştırıcı ışınların etkisiyle mütasyonlar ortaya çıkabiliyor; ancak 10 mSv'lik bir beta ya da gama ışın dozu genetik organlarda soğurulduğunda, doğan 1 milyon bebekten % 0,06 'sının özürlü olabileceği hesaplanıyor. Örneğin 10.000 kişinin herbirinin genetik organlarında bu değerde bir doz oluştuğunda 6 özürlü bebek görülebilir. Ancak bu kadar çok kişinin pek az olmayan bu dozu, üstelik genetik organlarında, almaları olasılığı da yok denecek kadar az.

Çizelge 2.1: Radyasyon Dozlarının Karşılaştırılması

Nereden, ne kadar ışınlanıyoruz ve 'etkin dozun' sınır değerleri ne kadar?

| Radyasyon Dozu (yılda miliSievert)* | Açıklamalar (Ne, nerede, ne için geçerli?) |
|-------------------------------------|---|
| 0,01 | Nükleer bir santral çevresinde yaşayan bir kişinin santralin normal çalışması durumunda yılda aldığı en çok radyasyon dozu (ortalama doğal radyasyon dozunun binde dördü kadar: 0,01mSv/2,5mSv) |
| 0,01-0,03 | Bir göğüs (akciğer) filmi çektiildiğinde alınacak radyasyon dozu (ortalama doğal radyasyon dozunun en çok binde 12'si kadar) |
| 0,1 | İstanbul'dan Japonya'ya uçak yolculuğunda kozmik ışınlardan bir kişinin alacağı ortalama radyasyon dozu |
| 1 | Almanya'da nükleer santrallerin normal işletilmesi sırasında halktan bir kişinin alabileceği dozun üst sınırı (limit değeri) |
| 2 | Almanya'da yapay radyasyon kaynaklarından (daha çok tıp uygulamalarından) bir kişinin yılda aldığı ortalama doz |

| Radyasyon Dozu (yılıda miliSievert)* | Açıklamalar (Ne, nerede, ne için geçerli?) |
|--------------------------------------|--|
| 2 | Bavyera'da yaşayan bir kişinin 1986-2036 arasındaki 50 yılda Çernobil kazası sonucu alabileceği toplam radyasyon dozu |
| 2-3 | Bir kişinin doğal kaynaklardan yılda aldığı ortalama radyasyon dozu |
| 10-20 | Yetişkin bir kişinin, 'Tüm Vücut Bilgisayarlı Tomografisinde' alabileceği yaklaşık radyasyon dozu |
| 20 | Radyasyonlarla çalışan bir kişinin yılda almasına izin verilen sınır değer (en çok radyasyon dozu) |
| 100 | Özürü doğumlar ve ölüm olasılığı için önerilen eşik doz değeri |
| 100 | Kitle ışınlamalarında her bir kişinin alabileceği bu doz miktarında kanser ve lösemi oranı % 1 artıyor |
| 250 | Hayat kurtarmak ya da radyasyonun etkisiyle büyük bir yıkımı önlemek amacıyla görevli bir radyasyon işçisinin alabileceği dozun üst sınırı |
| 400 | Almanya'da radyasyonlarla çalışan bir kişinin yaşamı boyunca almasına izin verilen Sınır değeri (en çok radyasyon dozu) |
| 500 | Bu 'eşik radyasyon dozu', kısa sürede alındığında mide bulantısı ve kusmayla sonuçlanabiliyor |
| 1000 | Kitle ışınlamalarında her bir kişinin alabileceği bu doz miktarında kanser ve lösemi oranı % 10 artıyor |
| 3000-4000 | Tıbbi tedavi yapılmazsa bu dozlar arasında ışınlananlardan % 50'i kadarı ölüyor |
| 7000'den çok | % 90 olasılıkla ölümlerle sonuçlanıyor |

* İsveçli Tıp Doktoru ve Fizikçi Sievert Rolf'un (1896-1966) adından /Sievert birimi için Ek 2'ye bk. /

Radyoaktif Atıklar

Nükleer sanrallar, radyoaktif maddelerle çalışılan laboratuvarlar, nükleer tıp, endüstri ve nükleer araştırma merkezleri gibi, yerlerde ortaya çıkan ve artık kullanılmayan maddeler 'radyoaktif atıklar' adını alıyor. Bunların yaydığı ışınlardan insanların zarar görmemesi için radyoaktif atıkların, güvenli bir şekilde etkisiz duruma sokulması gerekiyor. Radyoaktif atıklar radyoaktivitelerinin cins ve yüksekliğine göre, radyasyon fiziği kuralları göz önüne

alınarak, plastik torbalı özel atık kutularında, varillerde ya da reaktörlerde kullanılmış nükleer yakıt maddelerinin atıkları için yapılmış kalın duvarlı çelik silindirlerde toplanıyor, arındırma ya da depolama yerlerine 'kapalı varillerde' sızdırma ve saçılmaya karşı ilgili tüm güvenlik önlemleri alınarak, yollanıyor.

Miktar ya da hacim olarak dünyadaki radyoaktif atıkların %80'i uranyum'un çıkarıldığı madenlerde ve bunun işlendiği ilgili üretim fabrikalarında ortaya çıkıyor. Atıklar, bu madenler, fabrikalar çevresinde depolanıyor. Atıkların diğer önemli bir bölümü Nükleer Güç Santrallerinde (NGS), Nükleer Araştırma Merkezlerinde, 'kullanılmış nükleer yakıt elemanlarında/çubuklarında' arta kalan nükleer maddenin kazanımıyla ilgili işleme ve arındırma tesislerinde ve askeri amaçlı atom silahları yapım yerlerinde ortaya çıkıyor. Radyoaktif atıkların hacim olarak çok daha az miktarı ise nükleer tıp, endüstri ve araştırma merkezlerinden kaynaklanıyor.

Radyoaktif atıklar, radyoaktivitelerine, taşıdıkları radyoizotopların cinslerine, fiziksel durumlarına ve ısı yaymalarına göre sınıflara ayrılarak ilgili teknik kurallar ve yönetmelikler çerçevesinde işleme sokuluyorlar. Radyoaktif atıklar çoğunlukla uluslararası standartlara göre 'Zayıf', 'Orta' ve 'Yüksek' Radyoaktif Atıklar olarak sınıflandırılıyor. **Zayıf ve Orta Radyoaktif Atıklar** kısa yarılanma süreli maddelerden oluşuyorlar. **Orta radyoaktif atıklar** için ek zırhlamalı atık varilleri gerekiyor, bunlar nükleer santrallerden, nükleer tıp ve araştırma merkezleriyle endüstriden gelen makina parçaları gibi çok çeşitli atıklardan oluşuyor. **Yüksek radyoaktif atıklara** örnek olarak, nükleer yakıt elemanları arındırma tesislerinden gelen maddeler ve camlaştırılmış nükleer bölünme (filyon) ürünleri sayılabilir.

Atıkların konduğu varillerdeki toplam radyoaktivite, atıklardaki radyoizotopların cinsine göre sınırlandırılıyor, variller güvenli bir şekilde kapatılıyor, işaretleniyor ve belirli depolara güvenlik önlemleri alınarak yollanıyor.

1300 MW'lık (kaynamalı sulu) bir NGS'de bir işletme yılında ortaya çıkan radyoaktif atıkların miktarı yaklaşık olarak 210 m³ (% 86) Zayıf, 32 m³ (% 13) Orta ve 2 m³ (% 1) Yüksek radyoaktif atıklıdır.

Radyoaktif atıklar daha çok katı maddelerden ve az miktarda da sıvılardan oluşuyor. Sıvı radyoaktif maddeler depolanmadan ya da yeraltında saklanmadan önce kimyasal olarak kararlı duruma getirilerek katı maddeye dönüştürülüyor. Radyoaktif gaz atıklar ise çok az ortaya çıkmakta ve bunlar gaz hâlinde değil, fiziksel ve kimyasal olarak başka maddelerle kaynaştırılarak depolanıyorlar.

Nükleer santrallerde ortaya çıkan radyoaktif atıklar içinde uranyum 235'in nötronların bombardımanıyla bölünmesi sonucu oluşan Cs 137, iyot

131 gibi daha bir dizi 'bölünme ürünleri' ortaya çıkıyor. Ayrıca, çelik reaktör kazanı, pompa ve boru sistemlerindeki aşınmadan kaynaklanan, önceden radyoaktif olmayan, metal parçacıklarının soğutma suyuna karışıp reaktördeki yakıt elemanlarının yakınından geçerken, bunların nötronların bombardımanı sonucunda Co 60 gibi daha başka 'korozyon ürünleri' de oluşuyor. Ayrıca U 238'den nötronların etkisiyle bir miktar oluşan Pu 239 (ki bu da U 235 gibi bölünebiliyor) ile reaktördeki yakıt maddesi kullanıldıktan sonra, yakıt elemanları içinde arta kalan U 235, Pu 239 ve Pu 241 ve Pu 239'a dönüşmeyen U 238 'atık maddeler' gibi gözönüne alınıyorlar. Nükleer yakıt elemanları çubukları içindeki bu gibi maddeler, yakıt elemanları reaktördeki soğutma ve dinlendirme havuzlarında aylarca bekletildikten, ısı ve radyoaktiviteleri epey azaldıktan sonra, ileride özel tesislerde arındırılıyor ve arta kalan madde ve malzemeler ilgili uygun yeraltı depolarında saklanıyor. Reaktörde kullanılmış yakıt elemanlarının, ilgili tesislerde işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek radyoaktivitedeki 'bölünme ürünleri çözümleri' cam ya da seramik içinde kaynaştırılıyor. Böylece bunların korozyona uğramaları ve suda çözünmeleri önlenmiş oluyor.

Başka cins radyoaktif atıkların, durumlarına göre ilgili tesislerde kontrollü yakma ve sıkıştırma gibi uygun yöntemlerle, hacimleri iyice küçültülerek ve kimyasal olarak kararlı duruma getirilip suda çözünmeyen çimento ya da bitüm/asfalt gibi maddelerle kaynaştırılarak bunlar, önce reaktör alanındaki 'Geçici Depolarda' sonra da ilgili yeraltı 'Sürekli Saklama Depolarında' saklanıyor. Bazı atıklardaki radyoaktivite binlerce yıl sürdüğünden bunların konacağı 'yeraltı sürekli depolama yerleri'nin seçimi büyük önem taşıyor. Böyle yerlerin, hidrolojik ve biyolojik sistemle ilişkili olmaması, jeolojik yapının buna uygun olması, deprem bölgelerinden uzakta olması gibi özellikler, radyoaktif maddeli atıkların ileride çevreyi etkilememeleri için zorunlu. Özellikle yeraltı tuz yataklarından arta kalan galerilerle, granit ya da tüf taşı içindeki yeraltı boşlukları gibi daha birçok jeolojik yapının, uygun sürekli depo yerleri olup olamayacağı konusunda son 30-40 yıldır bilimsel ve teknik çalışmalar yapılmakta (Örneğin Kuzey Almanya'daki Asse ve Gorleben'da 1979 dan beri bu konuda çalışmalar sürüyor).

İyonlayıcı Radyasyonun Olumlu Etkileri?

Olumlu Etkiler (Hormesis) ve Uyum Tepkisi (Adaptiv Response) Kuramları

İyonlayıcı radyasyonların (ışınların) biyolojik yapıda olumlu etkileri olabileceği konusu ilgili bilim dallarında açıklanıp tartışılıyor. Orta ve yüksek

dozlarda, kötü huylu tümörlerin ortaya çıkması gibi olumsuz etkileri bilinen radyasyonun, düşük dozlarda biyolojik yapıyı olumlu etkileyebileceğiyle ilgili bazı bulgular olmakla birlikte bunlar henüz bilimsel düzeyde kesinlik kazanamıyorlar. 'Hormesis' denilen bu olumlu etkiler arasında önemlileri, büyümenin ve vücuttaki gelişmelerin hızlandırılması, hücrelerin sağ kalma oranındaki artma, hücrelerin düşük dozla önceden ışınlanma sonrasında yüksek doza karşı daha dirençli olması sayılabilir. Tüm bu belirtiler 200 mSv'den daha düşük dozlar için söz konusu. 'Radyasyon Hormesis' deyiimi, organizmanın düşük dozlarda uyarılıp (kamçı etkisi bezeri) işlevini yapmaya başlatılması anlamını taşıyor. 'Adaptiv response' denilen 'Uyum tepkisi' ise düşük dozlarda önceden ışınlanma sonrası hücrelerin yüksek dozlara karşı dirençli hâle gelmesi anlamındadır.

Radyasyonun olumlu etkileriyle ilgili önemli çalışmaların öncüsü Amerikalı Biyokimyacı T.D.Luckey olup, kendisi çalışmalarını 'Hormesis with ionizing radiation' ve 'Radiation Hormesis' adlarıyla sırasıyla 1980 ve 1991 yıllarında CRC Press'de yayımlamıştır. Araştırmalarının sonuçlarında kendisi bir doz/etki bağıntısı önermiş ve buna göre radyasyonun biyolojik etkisinin 200 mSv'lik dozun altında daha çok olumlu, bu değerin üstünde ise olumsuz olduğunu ileri sürmüştür. Olumlu etkilerden olumsuza geçişte sınır değeri olarak gördüğü 200 mSv'lik dozu ise, radyasyonun herhangi bir etkisinin görülmeyeceğini düşündüğü 'Sıfır Eşdeğer Nokta' ZEP (Zero Equivalent Point) olarak niteliyor.

İyonlayıcı ışınların düşük dozlarda insanda olumlu etkilerinin olup olmadığıyla ilgili bilgiler ancak kapsamlı epidemiyolojik çalışmalarla kazanılabiliyor. Özellikle farklı düzeydeki doğal radyasyonlarla birlikte yaşayan farklı yörelerdeki insan kitleleri üzerindeki bu çeşitli çalışmalar önem kazanıyor. Bununla ilgili Dünyanın çeşitli yörelerinden gelen değeri ise birbirleriyle uyuşmuyor. Benzer olarak, hayvanlar üzerinde yapılan deneyler de çelişkili sonuçlar veriyor. Çoğunlukla insan vücudu dışında, insan kanındaki al yuvarlar üzerinde ayrıntılı bilimsel çalışmalar yapılıyor. Amaç, ışınlanma sonucunda bozunmuş ya da dönüşüme uğramış kromozom sayısını belirlemek (Aberasyonlu kromozom sayısı). Önceden ışınlanmış grupta, önceden ışınlanmamış gruba oranla, belirgin derecede daha az kromozom bozunması görülüyor. Başka araştırmalar, ani/birdenbire ışınlamaların da zamana yayılmış (süreğen) ışınlamalardaki gibi uyum tepkisi (adaptive response) verdiğini gösteriyor. Uyum tepkileri sağ kalmada, mutasyon ve hücrelerin dönüşümünde de gözlenebiliyor.

Wojcik A. ve Streffer C. radyasyona uyum tepkisiyle ilgili birçok bilimsel yayını incelemişler ve tanımladıkları dar sınır koşullarında Olumlu Etkilerin (Hormesis) ve Uyum Tepkilerinin deneysel olarak geçerli olabileceğini ileri sür-

rüyorlar (Wojcik A., Streffer C.: Adaptive Response to Ionizing Radiation in Mammalian Cells: A Review. Biol. Zent. 113, 417-434, 1994). Ancak, bu dar sınır koşulları Uyum Tepkisinin genellenmesini engelliyor. Uyum tepkisinin bireylerdeki belirginliğinde de büyük farklılıklar var.

Bugüne kadar henüz tam yanıtlanamayan soru ise, gözlenen olayların temelindeki 'etkileşmenin yöntemi ya da mekanizması'. Çoğunlukla ileri sürülen tez: düşük dozlarla yapılan ön ışınlama sonucu 'Hücredeki Koruma ve Onarım sistemleri' uyarılarak, bunlar daha sonraki yüksek dozlardaki ışınlamaya hazırlıklı duruma getiriliyor.

Taiwan/Taipei'deki Kobalt 60 Olayı

1983'de Taipei'de bir dizi bina yapılırken içinde, eski reaktörlerden kalma, çok miktarda kobalt 60 (Co 60) bulunan dönüşümlü (recycling) çelik de farkedilmeden kullanılıyor. 10.000 kişinin oturduğu bu binalarda, radyoaktif Co 60'ın yaydığı aşırı gama radyasyonu ancak 1992 yılında farkediliyor ve yetkili atom enerjisi kurumunca, üniversitelerce ölçüm programı başlatılıyor. Bu evlerde oturan 10.000 kişinin 9 ile 22 yıl arasında değişen sürelerde Co 60'dan 400 mSv ile 1000 mSv arasında oldukça yüksek doz aldıkları belirleniyor. Yapılan araştırmalarda ise radyasyon doz ve risk hesaplarına göre bu sürelerde ortaya çıkması gereken ölümcül kanserli kişi sayısı beklenenin çok altında kaldığından, radyasyonun oldukça yüksek dozlarda bile vücuda zararlı olmadığı sonucu çıkarılıyor ve hatta radyasyonun olumlu etkileri olabileceği ileri sürülerek radyasyon fiziği sınırlamalarının değiştirilmesi öneriliyor.

Kaynak: Effects of Cobalt-60 Exposure on Health of Taiwan Residents Suggest New Approach Needed in Radiation Protection W.L. Chen et.al./Dose Respose, 2007.

Sonuç olarak denilebilir ki, Olumlu Etkiler ve Uyum Tepkisi kuramlarıyla ilgili bugüne kadar elde edilen bulgular, bu konuda daha derin ve kapsamlı araştırmaların yapılmasını gerektiriyor. Vücut dışında yapılan biyolojik deneylerdeki dar sınır koşulları ve biyolojik değişimler bu konulardaki genellemeleri önüyor.

Çeşitli Kanser Olasılıklarının Karşılaştırılması

Radyasyondan başka etkilerle, herhangi bir kimsenin rastgele kansere yakalanma olasılığı yüksek. Kanser yapabilecek kimyasal maddeler, sigara vb. gibi daha birçok etken bulunduğundan, düşük radyasyon dozunun kansere yol açıp açamayacağına genellikle saptanamadığı önceki bölümlerde açıklandı.

Uluslararası ilgili kurumların 2005 yılında yayımladıkları Çernobil raporunda, ileride her nekadar 4.000 kişiye varabilecek ölümler olabileceği ileri sürülüyor ise de, **Çernobile bağlanabilecek ölümlerin sayısı olarak en çok 50 kişinin bugüne kadar belirlenebildiği yer alıyor ki bunlar da başlangıçta aşırı ışınlanıp ölen personel ve kurtarma işçilerinden oluşuyor.**

Diğer yandan ABD'de daha 1981'de, Sir Richard Doll'un, ABD-Sağlık Bakanlığının isteğiyle yaptığı ayrıntılı bir araştırmada, ABD'deki kanser olaylarıyla ilgili çok sayıda kayıt ve veriler, uluslararası verilerle de desteklenerek, önlenebilecek kanser nedenlerinin belirlenmesine çalışıldı.

Bu çalışmanın şaşırtıcı sonucu, kanserin ana nedeninin % 35 ile normal besinler ve beslenmeden kaynaklandığı olmuş (Bu sayının salınım aralığı ise oldukça geniş: % 20 ile % 70 arasında). Besinlere katılan ara maddelerin etkisi gözönüne alınmamış. Ancak, bunların etkisinin önemsiz derecede düşük olduğu, ya da ölçülemediği görülmüş. Kanser yapan maddelerle ilgili olarak Ek 14'deki çizelgeye bk.

Yanlış ve aşırı beslenme kanserin ana nedeni : Et ve hayvansal yağların çok yenilmesi (özellikle meme kanserine neden olmakta), lifleri az olan yiyecekler; hidrokarbonlar, yağ ve protein arasındaki dengesizlik (uyumsuzluk); etlerin bazı maddelerle iyice kızartılmasıyla kalıtım hücrelerinin bozulması ve yanlış beslenme sonucu aşırı kilo en önemli kanser nedenleri oluyor. Küflenmiş (Aflatoksinler) yiyecekler de karaciğer kanserine neden olabiliyor. Bu sonuçlar, hayvanlarda yapılan kontrollü yem yedirme deneyleriyle de ortaya çıkmış.

Az yemek, ani tümörlerin ortaya çıkış olasılığını son derece azaltmakta.

İkinci neden tütün/sigara içilmesi ve diğer nedenlere göre bu, en iyi bir şekilde belgelenip kanıtlanmış. Tütün içimindeki % 30' luk risk, çeşitli ülkelerde şaşırtıcı kesinlikle hemen hemen hep aynı çıkıyor. Sigara içilmesi sonucu, bilindiği gibi en başta akciğer kanseri, mesane, sindirim sistemi ve kan kanseri ortaya çıkabiliyor.

Sigara içmeyenlerle karşılaştırdığında kanser olasılığı (riski), aşağıda gösterildiği gibi günde içilen sigara sayısına göre, sigara içmeyenlere oranla katlanarak artmakta:

| <u>Sigara sayısı:</u> | <u>Kanser olasılığı (riski)/içmeyenlere oranla:</u> |
|------------------------------|--|
| Günde 10 sigaradan az: | 15 kat daha çok |
| Günde 10-20 sigara içimi | 20 kat |
| Günde 20-40 " " | 40-50 kat " |

Önceki Bölümlerden Çıkarılacak Sonuçlar

- **Uçak personelinin kozmik ışınlardan yılda aldığı radyasyon dozu, nükleer santral personelinin aldığı dozdan daha çok**

Doğal radyasyonlar içinde önemli bir yer tutan kozmik ışınlardan, 2004'de uçak personelinin aldığı radyasyon dozları, nükleer reaktörlerde, nükleer tıpta ve diğer nükleer araştırma merkezlerindeki personel gruplarının aldıkları yıllık ortalama dozların çok üstünde olup örneğin Almanyadaki 30.000 kişilik uçak personeli, radyasyonlarla uğraşan 313.000 kişilik toplam personel sayısı içinde en çok radyasyon dozu alan gruptur. Uçak personelinin yılda 6 mSv'e kadar ulaşan doz alabileceği hesaplanıyor (Bk. Bölüm 3)

- 1986 yılında Almanya'da radyasyonlarla uğraşan tüm personel için ortalama doz, kişi başına 0,1 mSv olup, bu değer daha sonraki yıllarda daha da azaldı. Yaşamboyu dozunun ise, 1986'daki dozun 2 ile 5 katı arasında olabileceği kestirilmekte. Bu ise, doğal radyasyonla sadece bir yılda alınan ortalama 2,4 mSv'lik dozun çok altında ve bu nedenle 'genel toplum' için radyolojik etkisi belirgin değil.¹¹

- **Alçak radyasyon dozlarında etki belirsizliğini koruduğundan daha çok ve kapsamlı araştırmalar gerekiyor**

Önceki bölümde ele alınan konulardan ve açıklamalardan görülebileceği gibi özellikle 200 mSv'in altındaki alçak sayılan radyasyon dozlarında radyasyonun insanı etkilemesi ve sağlık riskinin 'bir miktar da olsa' belirlenebilmesi için çok çeşitli dallarda, çok uzun süreli, kapsamlı bilimsel çalışmalar yapılması gerekiyor.

- **Japonya'da 2. Dünya Savaşında atılan atom bombalarından sonra sağ kalanlarda, bugüne kadar sadece kan kanserinde radyasyonla ilişki belirlenebiliyor**

Japonya'da 2. Dünya Savaşında atılan atom bombalarından, sayıları yüzünü aşan kurtulanlar üzerinde bugüne kadar yapılan ayrıntılı 'epidemiyolojik' çalışmalar bile, kanserden ölümlerin, radyasyonun etkisiyle mi yoksa 'tüm etkenlerle' kendiliğinden ortaya çıkan kanserden mi olduğunu belirgin (signifikant) olarak ancak çok az sayıda o da 'kan kanserinden olan ölümlerde' ortaya koyabiliyor. Japonya'da gözlem altındaki büyük kitlenin, 'ortalama doğal radyasyon dozunun' 100 katı kadar daha çok doz almış olmasına rağmen, bu grupta bile radyasyonun etkisine bağlanabilen kanserden ölümlerin sayısının azlığı ilginç.

- **Çernobil radyoaktivitesinin Avrupa ve Türkiye'deki etkileri sonucu, buralarda yaşayanlarda ortaya çıkabilecek kanser ölümleri bilimsel olarak kanıtlanamıyor.**

¹¹ UNSCEAR 2000 Bilimsel Raporuna göre (Radyasyonun etkilerini inceleyip değerlendiren uluslararası bir kuruluş).

Japonya'daki 200 mSv'lik ani/birdenbire dozun yanında, Çernobil'in Avrupa'da ve Türkiye'deki genel halk kitleleri için 1986/1987 de oluşturduğu ve **ortalama doğal radyasyon dozunun en çok yarısı kadar** olabilen, üstelik zamana yayılmış (böylelikle hücrelerin kendilerini koruma mekanizmalarının devreye girebileceği) süreğen 1 mSv'lik çok daha alçak bir dozun etkisiyle olabilecek kanserden ölümlerin belirlenemeyeceği sonucu çıkarılabilir.

Bu nedenle, düşük dozların etkileriyle ilgili değerlendirmeler, elde daha tutarlı bilimsel başka bir ölçü olmadığından, ancak o bölgedeki 'Doğal Radyasyon Dozları'yla ve bunların değişimleriyle karşılaştırılıp yapılabilmekte ve topluluk ışınlanmalarında, topluluk dozu hesaplanarak bir sonuç çıkarılabilmekte. Ya da başka bir deyimle, bilimin eriştiği bugünkü düzeyde, çok düşük dozlar için 'ölçüt', 'Doğal Radyasyon Dozu' olmak durumunda.

- **Düşük radyasyon dozlarının değerlendirilmesinde tek ölçüt doğal radyasyon dozlarıyla karşılaştırma**

Özetle, doğal radyasyon nedeniyle, **bir kişinin yaşam süresince aldığı doz 100-200 mSv arasında. Çernobil gibi herhangi bir kaynaklı 1 mSv'lik 'ek bir doz', kanser gibi bir hastalığın oluşumu için ne 'tetikleyici bir doz', ne de 'bardağı taşıran' ek bir doz olarak görülmeli. Böyle bir 'ek doz', zaten sürekli olarak doğadan ve diğer yapay kaynaklardan alınmakta olan dozun içinde yavaş yavaş, zamanla entegre olarak¹², onu bir miktar yükselten bir doz olarak görülmeli ve buna göre bilimsel olarak değerlendirilmeli. Ayrıca doğal radyasyon dozunun oldukça büyük 'normal salınım aralığını' da gözardı etmemek gerekiyor.**

Ancak bu, özellikle büyük halk kitlelerini etkileyen düşük dozların önemsenmemesi anlamına da gelmemeli. Bugün bilim, 1945'den beridir büyük halk kitleleri üzerinde yapılan ayrıntılı çalışmalara rağmen düşük radyasyon dozlarının etkisini, gözlem ve deneyimlere dayalı olarak kanıtlayamıyorsa ve eğer **gerçekten de böyle bir etki varsa**, başka çok daha büyük etkenlerin bastırmasıyla da ayrımsanamıyorsa, düşük radyasyon dozlarının etkisi bilimsel olarak yok denemez, ama var da denemez.

- **Çernobil sonrası yapılan yanlış açıklama ve yorumlar**

Çernobil kazasının 1986 da etkilediği bazı Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ne halkı paniğe sürükleyebilecek 'aşırı önlemlerin' medyada ilgili, ilgisiz,

¹² Örneğin Çernobil'den hava akımlarıyla gelen radyoaktif maddeler, bir anda insan vücuduna ulaşmamış, toprakta yetişen sebze, meyvalarla ve otları yiyen hayvanların et ve yumurtaların yenilmesi, hayvanların sütlerinin içilmesi yoluyla azar azar zamana yayılarak insan vücuduna, diğer doğal radyoaktif maddelerle birlikte çok az düzeyde girmiştir.

daha çok 'sözde uzmanlarca' önerilmesi ve halkın hergün gazetelerde yayımlanan besinlerdeki Bequerel sayılarına göre, işin aslını konuya yabancı olduklarından bilmeden, çok az kullanılan maydonozu bile korkarak almaları, ne de Türkiye'de olduğu gibi bazı yetkililerin-'radyasyonlu çay daha lezetli oluyor' şeklinde TV kameraları önündeki açıklamalarıyla radyasyonun etkisinin 'hafife alınması' ve halkın yanlış bilgilendirilmesi ya da yönlendirilmesi doğru olabilir.

• **Halk kitlelerinin ışınlanmalarında izlenecek yol ne olmalı? Almanya örneği**

Bu nedenle özellikle büyük insan kitlelerinin ışınlanabileceği, etkilenilebileceği durumlarda **aşırıya kaçmamak kaydıyla**, radyasyondan ve radyoaktif maddelerden 'akla, kurallara, yönetmeliklere uyan koruma önlemlerinin, ilgili bilimsel, teknik ve yönetsel (idari) yollarla' uygulanması doğru olur. Ayrıca kapsamlı bilimsel çalışmaların ve ölçümlerin özellikle yoğun radyoaktifiteli geniş bölge ve yörelerde kısa sürede yapılamayacağı açıktır. Bu nedenle, bu gibi bilimsel araştırmaların sadece resmî kurumlarca değil, ilgili tüm üniversite ve araştırma merkezlerince başlatılması ve zaman zaman oluşturulacak ortak Bilim ve Teknik Kurulunun sonuçları değerlendirdikten sonra, seçeceği 'konunun gerçek uzmanlarınca' halkın doğru bilgilendirilmesi izlenecek gerçekçi yol olabilir. Bunun için ise ön hazırlıkların gerekeceği, ilgili yaptırımları içeren yasa ve yönetmeliklerin çıkarılıp yürürlüğe konulması gerekiyor. Örneğin bugün Almanya'da radyoaktif maddelerle ve bunların çevreyi ve insanı etkilemeleriyle ilgili çok çeşitli ve kapsamlı bilimsel çalışmaların yapıldığı sayıları 50'yi geçen, birçoğu bağımsız araştırma merkezi, laboratuvar ve bir o kadar da üniversite var (Nükleer Santrallerin laboratuvarları bu sayının dışında). Ayrıca her eyaletin resmî kurumlarında ve merkezdeki ilgili bakanlıklarda radyoaktiviteyle ilgili ölçü sonuçlarının toplandığı, değerlendirilip yıllık bilimsel ve teknik raporlarla, internet sitelerinde halka açıklandığı 'birimler' var. İleriye dönük kaza durumları için ayrıntılı planlar ile zaman zaman ilgili nükleer tesislerde ve çevrelerinde denemeler yapılıyor ve 'halkı koruyucu önlemler' gözden geçirilerek planlar yenileniyor. Öte yandan, sayıları birkaç binin üzerinde olan radyasyon fizikçisi, bunların İsviçre'deki meslekdaşlarıyla birlikte kurduğu ortak büyük bir derneği, yaptıkları bilimsel çalışmaların açıklandığı dergileri ve heryıl yapılan bilimsel toplantıları, bu konulardaki çalışmaların önemini yansıtıyor. Almanya'da bu konularla ilgili yüzlerce bilimsel ve teknik kitap, dergi ve araştırma raporu yayımlanıyor.

Türkiye'de bu konulardaki çalışmalar, sadece Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda (TAEK) deneyimli ama sayıları az, değerli meslekdaşlarımızca yapılıyor ve Almanya'dan izleyebildiğimiz kadarıyla, başka araş-



tırma merkezlerinde, üniversitelerde pek bir çalışma yapılmıyor. Ayrıca Türkiye’de, Almanya’dakilere oranla çok az sayıda radyasyon fizikçisi ve yayın var. Radyasyon fiziğiyle ilgili kitaplardan ise, suresini doldurmuş ve artık kalmamış 2-3 kitaptan başkası, ne yazık ki yok. Almanya’nın iki katı byklndeki Türkiye topraklarında, hava, su ve besin maddelerindeki radyoaktiviteyle ve bunlardan oluşabilecek radyasyon dozlarıyla ilgili kapsamlı bilimsel çalışmaların yapılabilmesi ve herhangi bir kaza durumuna hazırlıklı olunabilmesi için tüm Türkiyeyi kapsayan üniversitelerin, araştırma merkezlerinin, endüstrinin ve hatta ‘büyük belediyelerin’ TAEK’nın yanında yer almaları, ilgili birimleri ve laboratuvarları kurmaları önerilir. Bunlarla ilgili yasa ve yönetmeliklerin çıkarılması gereklidir.

Kaynaklar

UNSCEAR 2000 Raporları (Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun etkilerini inceleyen bilimsel alt kurulu raporları)Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors Exposed In Utero or as Young Children Dale L. Preston et.al. Oxford Journals Medicine JNCI J Natl Cancer Inst Volume 100, Issue 6Pp. 428-436, Feb.2008

Kellerer AM & Walsh L. Risk estimation for fast neutrons with regard to solid cancer. Radiat. Res. 156, 708-717, 2001

İyonlayıcı Radyasyon, TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Nisan 2006, Yeni Ufuklara Eki, Y.Atakan

Cancer incidence in Hiroshima and Nagasaki, Japan, 1958-1987.

Goodman MT, Mabuchi K, Morita M, Soda M, Ochikubo S, Fukuhara T, Ikeda T, Terasaki M. Cancer Research Senter of Hawaii, Honolulu 96813

ICRP 60 ve 90 Raporları (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu)

IAEA Raporları (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu)Almanya’daki çeşitli Kurumların İyonlayıcı Işınlarla ilgili Bilimsel Raporları (BMU-, SSK-, -GSF : W.Jacobi; A.Kellerer.; ISH-Raporları/ www.bmu.de/www.ssk.de/www.gsh.de/www.ish.de/)

Çernobil Kaynaklı Radyoaktif Serpintilerin evreye ve İnsana Etkileri, Y.Atakan, Tübitak 1994.kitabı, 190 sayfa (kitap tükenmiştir).

Radioaktivitt und Strahlenschutz, Kernenergie.de, Informationskreis Kernenergie, Martin Volkmer, 2012

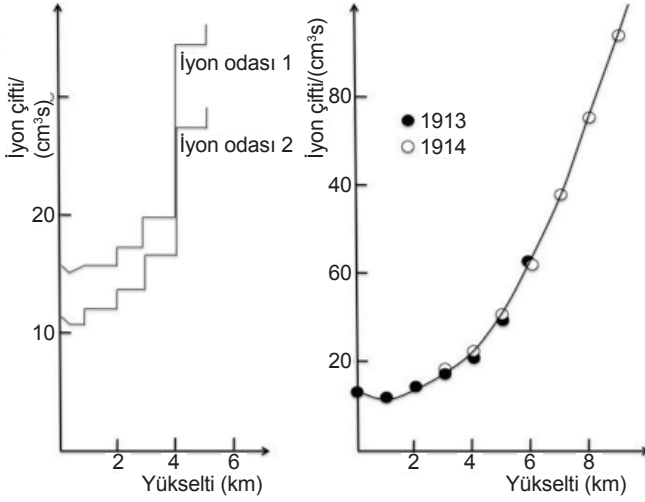
BÖLÜM 3

NERELERDEN IŞINLANIYORUZ, BİZLERİ ETKİLEYEN RADYASYON KAYNAKLARI NELER?

Kozmik Işınlardan Vücutta Oluşturduğu Radyasyon Dozu ve Sağlığa Etkisi?

Özellikle tatil ve iş gezileri nedeniyle gitgide çok kişinin uçak yolculukları yapmakta olduğunu biliyoruz. 'Kozmik Işınlardan' etkileriyle uçaklardaki insanların vücutlarında oluşan radyasyon dozları ne büyüklükte ve bu dozların sağlığa etkileri ne ölçüde olabilir?'Kozmik ışınları' ilk kez fizikçiler laboratuvar çalışmaları sırasında, elektrik yüklü cisimlerin, elektrik yüklerini azar azar yitirmelerinin nedenini araştırırken buldular. Havayı iyonlaştıran¹ ve böylelikle havanın elektriksel iletkenliğini sağlayarak, elektrik yüklü cisimlerden elektriksel yük kaçaklarına yol açan bir şey, bir etken olmalıydı? Birçok araştırmacı önceleri, yerde, toprak ve kayalarda az miktarda bulunan doğal radyoaktif maddelerden yayılan ışınların havayı iyonladığını düşündü. En sonunda Avusturyalı fizikçi Victor Hess 1912 yılında bir balona binip, elektroskopunun göstergesini gözledi ve balonla yükseldiçe, elektriksel yükün gitgide azaldığını izledi. Öyleyse göklerden, uzaydan gizli bir şey gelip havayı iyonluyor ve elektroskoptaki yükler bu nedenle gitgide azalıyor sonucuna vardı ki bu gizli etkene 'kozmetik ışınlar' dendi (Sonradan bilimsel ayrıntılarını yayınladığı araştırması ve bu buluşu nedeniyle Hess 1936'da Nobel ödülü aldı).

¹ Atomlarla etkileşme sonucunda, ışınların atomların dış yörüngesinden elektron sökülmüş, normal olarak elektriksel olarak yüksüz bir atomu, elektriksel yüklü duruma getirmesi ve böylelikle bir iyon çifti oluşması. Örneğin bir gama fotonunun havadaki bir azot atomunun dış yörüngesinden bir elektron sökmesi sonucu, serbest bir elektronla, geriye bir elektronu eksik bir azot atomu (iyonu) kalmasıyla oluşan 'iyon çifti' (Ayrıntılı bilgiler Ek1'de)



Şekil 3.1: Saniyede cm³ başına iyon çiftlerinin yükseltiyle artması ilk kez 1912'de Victor Hess'in balonla yükselirken her iki iyon odasıyla yaptığı ölçüleriyle saptanıyor



Şekil 3.2: 1936 Nobel Fizik ödüllü Victor Hess'in (1883-1964) balonu/V.Hess/ (Kaynak: Federmann Georg: 'Viktor Hess und die Entdeckung der Kosmischen Strahlung' Institut für Radiumforschung und Kernphysik Wien, im Jänner 2003)

1950'lerde fizikçiler 'kozmetik ışınlar'ın, ışık taneciklerinden (fotonlardan), elektromanyetik dalgalardan oluşmadığını, bunların çok büyük hızlardaki yoğunlukla protonlardan ve az miktarda da daha ağır parçacıklardan oluşan sürekli bir 'iyon akımı' olduğunu belirlediler. Buna rağmen, eskiden takılan 'kozmetik ışınlar' adı doğru olmasa da kaldı (Kozmetik ışınlarla ilgili ayrıntılar için bk. Ek 4). Güneş sistemimizin çok ötesinde uzayın derinliklerinden sürekli olarak dünyamıza gelmekte olan bu girici iyonların çok yüksek enerjilerini nereden aldıkları ise bugün bile bir sır. Bu yüksek enerjili kozmetik ışınların, güneş sistemimize girdiğinde, güneşin yaydığı 'Güneş Rüzgârı' denilen ve yoğunlukla elektronlardan oluşan dev akımın ürettiği manyetik alanın direncini yenmeleri gerekiyor. Ancak Güneş rüzgârının şiddeti sabit olmayıp her 11 yılda bir değişim gösteriyor. Güneş rüzgârını yenip dünyaya yaklaşmakta olan 'daha girici iyonları' bu kez dünyanın manyetik alanının saptırmasının yanı sıra, geçmeleri gereken yoğun hava tabakalarının molekülleri frenliyor (Dünyanın her cm^2 yüzeyi üstünde 1 kg hava var!).

Bu 'çok hızlı' ve dolayısıyla 'çok yüksek enerjili' protonlar, iyonlar, havada yolları boyunca çarptıkları atomlardan, sayıları çığ gibi artan mezonları ve daha birçok girici ikincil parçacıkları üretip atmosferde ve yeryüzünde bizleri etkiliyorlar ki bunların başında yerin derinliklerine kadar girebilen müonlar geliyor (Atomaltı parçacıklarla ilgili bilgiler için bk. Ek.16a).

Uçak Yolculuklarında Kozmik Işınlardan Alınan Radyasyon Dozları Ne Kadar?

Birçok iş adamı yılda 240 saatten daha çok zamanını uçaklarda geçiriyor. Pilot ve uçak personeli ise ayda 80 saat kadar uçaklarda görev yapıyor ki bu da yılda 40 gün etmekte.

Yüksek enerjili Kozmik Işınlardan insan vücudunda oluşturduğu radyasyon dozunun büyüklüğü yukarıda açıklanan nedenlerle :

- Uçuş yüksekliğine
- Uçuş süresine
- Güneşteki tepkimelere (etkinliğe)
- İzlenen uçuş yolunun coğrafi (geomanyetik) enlemine bağlı olarak değişiyor.

Deniz düzeyindeki bir yerleşim yerinde ortalama 0,3 mSv olan kozmik ışınlardan kaynaklanan radyasyon dozu², 1500 metre yükseklikte yaklaşık

² Sievert (Sv) Eşdeğer Doz Birimi olup Beta ve Gama ışınları için : 1 Sievert = 1 Gray (Enerji Dozu Birimi) = 1 Joule /kg (Vücudun kg'ı başına, girici ışınların vücuttaki molekül ve atomlara 1 Joule'luk enerji aktarımı). Yüksek enerjili Nötron ve Alfalar için bu değer daha da yüksek olabilir (Daha ayrıntılı bilgi için bk. Ek 2).

olarak iki katına ve 10.000 m yükseklikte de yılda ortalama 44 mSv "e yükseliyor ki bu da saatte 0,005 mSv (= 5 mikroSievert)'lik bir doz hızı demektir. Bu ise deniz düzeyindeki değerin 150 katına yakın. 12.000 m yükseklikte bu daha da büyüyor: 52 mSv/yıl ya da saatte 6 mikroSievert. Radyasyon doz hızı, ekvatora doğru azalıyor, kuzeye doğru artan coğrafi enlemlerle birlikte artış gösteriyor ve 60° kuzey enleminde ekvatordakinin 2-3 katı olan en yüksek değere ulaşıyor. Bunun nedeni kutuplardan ekvatora doğru Dünyanın manyetik alanının artması ve hızlı iyonlardan oluşan kozmik ışınların daha kuvvetli manyetik alanın etkisiyle daha çok saptırılarak iyonların ekvatora çok daha az ulaşmaları. Doz hızı, güney yarımkürede ise kuzeye oranla 2-3 kat daha az. Çok seyrek olmasına rağmen güneşteki tepkimelerin aşırı değerlere ulaştığı zamanlarda radyasyon dozu iyice arttığı için radyasyon fizikçileri hatta böyle zamanlarda uçuş yasağı getirilmesi gerektiğini ileri sürüyorlar. Örneğin güneşteki aktivitelelerin çok aşırı olduğu 1957 de 12.000 m yükseklikte çok aşırı bir değeri olan saatte 10 mSv ve 1989 da da saatte 0,1 mSv ölçüldüğünü burada belirtmeliyiz. İlginç olan her 11 yılda bir yinelenen güneş lekeleri etkinliği sırasında doz hızlarının, güneş rüzgârının oluşturduğu artan manyetik alanın zırlama işlevi sonucu, normalin altında olduğunun gözlenmesi.



Şekil 3.3: Uçak yolcularlarında farketmeden kozmik ışınlardan ışınlanıyoruz.

Uçak Personelinin Alabileceği Doz ve Risk?

Yılda ayrı ayrı uçuşlarla toplam 40 gün ve en çok 12.000 m yükseklikte uçan personel için yıllık ortalama doz (Bu yükseklikte 1 yıl boyunca etkili olabilecek 52 mSv'den gidilerek):

$$52 \text{ mSv} \cdot 40/365 = 5,7 \text{ mSv}$$

olabilir. Sadece kozmik ışınların etkisiyle alınan bu doz, deniz düzeyindeki yerel kaynaklar ile kozmik ışınların katkılarından oluşan toplam 2,4 mSv'lik doğal dozla karşılaştırıldığında uçak personelinin, doğal radyasyonla alınan dozun iki katından daha çoğunu almakta olduğu görülüyor. Aradaki fark büyük olmasına rağmen, bu doz, örneğin tıpta, bir bilgisayarlı tomografide röntgen ışınlarından alınan doza eşdeğer ve vücutta bir bozulmaya (hasara) yol açma olasılığı son derece az bir dozdur. Risk anne karnında büyümekte olan embriyo, ceninler için sözkonusu olabilir ve bunların özürlü doğma olasılığı var. Bu nedenle, uçak personelinin hamile olanları uçaklarda görevlendirilmiyor.

Çok Uçanların Etkilendiği Doz ve Risk?

Yılda toplam 240 saatlik (= 10 gün) ve 10.000 metrenin üstündeki yüksekliklerdeki uçuşlar için yıllık ortalama doz:

$$52 \text{ mSv} \cdot 10/365 = 1,4 \text{ mSv}$$

Bu değer, deniz düzeyindeki bir yerleşim yerindeki doğal radyasyon dozunun yarısından biraz çok ve bu nedenle çok uçarlarda, hamileler dışında, bir etki ve risk beklenmiyor. Anne karnındaki ceninlerde organ yapımı sürdüğünden ve bunların radyasyondan etkilenmeleri olasılığı büyük olduğundan hamile kadınların çok uçmamaları, özürlü doğumlara karşı bir önlem olarak öneriliyor.

Gezi Amaçlı Uçanların Alabileceği Doz ve Risk?

Yıllık toplam 50 saatlik (2 gün kadar) ve yukardaki koşullardaki uçuşlar için ortalama doz:

$$52 \text{ mSv} \cdot 2/365 = 0,3 \text{ mSv}$$

kadar. Bu değer, deniz düzeyindeki bir yerleşim yerindeki doğal radyasyon dozunun onda birinden biraz çok ve bu nedenle yılda birkaç saatlik uçak yolculukları için, hamilelerde bile, herhangi bir etki ve ek bir risk beklenmiyor. Bu doz, tek bir röntgen filmi çektilmesinde alınan doz kadardır..

Avrupa Birliği Yönetmeliklerine göre **yılda 1 mSv'lik** dozun aşılabileceği uçak personeli için, vücut dozunun 'doz ölçerleriyle' belirlenmesi ve değerlendirilip gereğinde önlemler alınması zorunlu. Uçak personeli de aynı nükleer reaktör personeli ya da röntgen aygıtlarıyla çalışan tıp doktorları gibi 'radyasyonla çalışanlar' grubuna girerek denetleniyorlar, radyasyonun vücuda etkileri konusunda eğitiliyorlar ve bu nedenle onlar için de yılda 20 mSv'lik doz sınır değeri geçerli oluyor. AB Ülkelerinde uçak personelinin aldığı dozun ilgili yönetmelikler uygulanarak ölçülmesi ve uygun bilgisayar



programlarıyla hesaplanıp değerlendirilerek yetkili kurumlara bildirilmesi zorunlu. Örneğin Almanya'da 2004 yılında 30.000 uçak personelinin aldığı doz değerlendirilerek toplam topluluk (uçak personeli) dozu³ olarak:

$$58 \text{ kişi} \cdot \text{Sievert}$$

değeri bulunmuş. Buradan uçak personeli için kişi başına yıllık ortalama doz:

$$58 \text{ kişi} \cdot \text{Sievert} / 30.000 \text{ kişi} = 1,94 \text{ mSv}$$

Almanya'da uçak personeli, nükleer santrallarda çalışanlar dâhil tüm iyonlaştırıcı ışınlarla uğraşan personel içinde, en çok doz alan grup. 2004'deki en yüksek doz değeri 5,7 mSv olmasına karşılık, bu değer yine de 20 mSv'lik üst sınır değerinin çok altında kalıyor.

Öte yandan Almanya'da Münih GSF-Enstitüsünde yapılan ve bu amaçla özel olarak geliştirilmiş EPCARD bilgisayar programıyla yapılan hesaplamalara göre **11 km yükseklikteki Avrupa içi uçuşlarda, uçuş başına bir kişinin aldığı radyasyon dozunun 0,010 mSv'in altında kaldığı**⁴, Güney Afrika ve Güney Amerika için 0,040 mSv'den daha az ve Avrupa-ABD arası uçuşlar için ise 0,050 ile 0,080 mSv arasında olduğu belirlenmiş. Sonuç olarak, uçak yolculuklarında kozmik ışınlardan alınan doz ve bundan doğabilecek risk de, sürekli olarak almakta olduğumuz 'Doğal Radyasyon dozu' ve teknolojik yaşamın getirdiği bir dizi diğer radyasyon dozlarıyla (röntgen filmi çekimi sırasında alınan doz gibi) aynı çerçevede görülüp değerlendirilmeli, ilgili yönetmelikler uygulanmalı, akla uygun olmayan aşırı önlemler alınmamalı.

Kaynaklar:

www.gsf.de/epcard ; <http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/>;

TÜBİTAK Bilim Teknik Mayıs 2006 sayısında bu konuda yayımlanan yazımız

Tütündeki Radyoaktivite, Radyasyon Dozu ve Kanseri Riski?

Her çeşit toprakta kilogram başına ortalama olarak 500 Bq düzeyinde doğal radyoaktif madde bulunuyor. En önemlileri : potasyum 40, radyum 226 ve toryum 232 radyoizotoplarıdır. Tütünde biriken önemli radyoizotoplar: Uranyum-Radyum dizisinde bulunan 22,3 yıllık yarılanma süreli radyoaktif kurşun 210 (Pb 210)'dan türeyen bismut 210 (Bi 210) ile bundan oluşan

³ Topluluktaki kişi sayısı ile, her kişinin aldığı ortalama radyasyon dozunun çarpımı. Daha ayrıntılı bilgi için Bölüm 2 ve Ek2'e bk.

⁴ Bu değer, Türkiye içi ve Avrupa'ya olan uçuşlar için de kabaca geçerlidir.

138,4 günlük yarılanma süreli polonyum 210 (Po 210) (2.Bölüm'deki **Şekil 2.3**'ün sağ alt bölümüne bk.).

Ayrıca gübrelerden de toprağa uranyum 238 ve radyum 226 ekleniyor. Tütün bitkisinin köklerinden yapraklarına ulaşan bu radyoizotoplar tütünde birikiyorlar. Ayrıca yaprak tüyleri, havadaki kurşun ve polonyumlu tanecikleri tutarak bunların içindeki radyoaktif kurşunu (Pb 210) ve radyoaktif polonyumu (Po 210) yapraklarda zenginleştiriyor.

Tütünün cinsi ve yetiştirildiği bölgeye bağlı olarak **tek bir sigara başına** 1,5 ile 15 mBq Po 210 ve 2 ile 25 mBq arasında da Pb 210 radyoaktiviteleri hesaplanmış ya da ölçülmüş (mB: mili Bequerel, bk. Ek1). **Sigara küllerinde yapılan ölçümler ise**, sigaranın cinsine göre, her gram külün ortalama olarak 1-20 mBq Po 210 ve kabaca bir o kadar da kurşun 210 (Pb 210) radyoaktivitesi bulunduğunu gösteriyor⁵. Türkiye'deki sigaralarda yapılan ölçümler, günde bir paket sigara içimi sonucu, ciğerlere çekilen Polonyum 210 aktivitesinin 100 mBq kadar yüksek olabileceğini göstermektedir ki, bu değer diğer ülkelerdekilerin epey üstünde.⁶



Şekil 3.4 Tütün bitkisi yaprakları (Çaykur"dan)

- ⁵ • MSSantos et al. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol 182- Nr.1, July 1994
• Mussalo et.al. Health Phzs. 49, 296-1985
• Batarekh and Tehrani, J.of Radioanaly..Nucl.Chem.Lett. 117-75 – 1987
• Chester et al. Environmental Science and Techn.
• A.C.Peres, G.Hiromoto VII Nucl.Saf.-Occup.Envir.Rad.Prot.
• E.A.Martell Proc.Natl.Acad.Sci USA,Vol 80 Biophysics
- ⁶ T. Karalı et.al. Appl.Rad.Isot.Vol 47 No.4 1996 -TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisinin, Haziran 2006 sayısında yayımlanan yazımızdan

Özellikle Po 210'un sigaranın yanma sıcaklığındaki çabucak uçuculuğu nedeniyle sigara dumanıyla birlikte ciğerlere çekilmesi sonucu ciğerlerde alfa radyasyon dozu, sigara içildikçe birikerek çoğalıyor.

Tek sigara başına vücudun aldığı ortalama etkin radyasyon dozu 1,2 mikro Sievert dolayında. Akciğerlerin aldığı radyasyon dozu ise bu değerin 10 katından daha çok olup tek sigara başına 14,5 mikro Sievert kadar. Günde bir paket sigara içen orta derecede tiryaki bir kişi için '**Yıllık Etkin Doz**': $20 \text{ Sigara/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 1,2 = 8.800 \text{ mikro Sievert} = 8,8 \text{ mSv}$ ve '**Yıllık Akciğer Dozu**' olarak da $20 \text{ Sigara/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 14,5 = 106 \text{ mSv}$ kadar yüksek bir değer bulunuyor.

Sigara sonucu vücutta oluşan yıllık etkin doz 8,8 mSv, deniz düzeyindeki bir yerleşim yerindeki doğal⁷ radyasyon dozunun neredeyse 4 katına yakın ($8,8/2,4 = 3,7$). Doğal radyasyon dozuna ek olarak, yapay kaynaklardan halk için izin verilen üst sınır değer ise kişi başına yılda 1 mSv.

Almanya'da akciğer kanserinin % 80-90 kadarının sigaradan ve bunun yarısının da yukarda açıklanan tütündeki radyoaktiviteden kaynaklandığı kabul ediliyor.

20 milyon sigara tiryakisinin herbirinin günde 20 adet sigara içtiği ve bunların kansere yakalanma riskinin 1 Sievert'lik doz başına % 0,85 olduğu kabul edilerek: **20 milyon kişi x 0,0085 x 0,106 = 18.000 kişinin akciğer kanserinden ölümü hesaplanıyor.**

Almanya'da her yıl 40.000 kişi akciğer kanserine yakalanmakta. Bunların % 90'ının yukarda belirtildiği gibi sigaradan kaynaklandığı kabul ediliyor : 36.000 kişi.

Bunun yarısının da nedeninin sigaradaki radyoaktif maddeler sonucu olduğu kabul edildiğinden, bulunan 18.000 kişi yukardaki sayıya tıpatıp uymaktadır.

Başka bir araştırma günde iki paket sigara içimi sonucu polonyum 210 aktivitesi nedeniyle akciğerlerde oluşabilecek radyasyon dozunun, doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozdan en azından yedi kat daha çok olabileceğini ve ciğerlerde bazı noktalarda bu dozun 10 Sv gibi çok yüksek bir değere ulaşabileceğini gösteriyor.⁸

Abd'deki Bir Değerlendirme

1930'da ABD'de erkekler arasında çok seyrek görülen akciğer kanseri (yılda 100.000 kişi başına 4 kişi), 1980'de sigara içiminin % 20 azalma-

⁷ 2,4 mSv lik ortalama doğal radyasyon dozu ayrıntıları için Bölüm 1 ve Ek 1-2'e bk.

⁸ Radford, E.P., and Hunt, V.R, Science 143 (1964)

sına rağmen, çeşitli kanser ölümlerinin en üst sırasına yükselmiş (yılıda 100.000'de 72 kişi). Bunun başlıca nedeni, geçen bu süre içinde gitgide artan oranlarda fosfatlı gübrelerin kullanılmasıyla Amerikan tütünündeki polonyum 210 miktarının, 3 kat artması. Tütün ekenlerin kullandıkları kal-siyum fosfatlı gübrelerde bulunan doğal uranyum (U 238) 'dan da yukarda belirtildiği ve **Şekil 2.3**'den (Bölüm 2) de görüldüğü gibi radyoaktif bozun-malarla bir dizi bozunma ürünü sonucu Po 210 ve Pb 206 oluşması ve bu çeşit radyoaktif maddelerin sigara dumanıyla birlikte ciğerlere ulaşmasıdır. Sigara içindeki kanser yapan kimyasal maddelerin birçoğunun sigara filtresinde tutulabilmesine karşın, bunlar tutulmıyor. Bu nedenle sigara tiryakilerinin ciğerlerindeki radyoaktif madde derişimi, evlerdeki radon derişiminden çok daha yüksek. ABD'de günde 2 paket sigara içen bir tiryaki-nin akciğerlerindeki radyoaktif maddelerin yaydıkları alfa ışınları nedeniyle yılda alacağı radyasyon dozu 13 mSv'lik aşırı bir değerde bulunmuş. Buna karşın, o bölgedeki bir kişinin, evlerin havasındaki doğal radon'dan yılda aldığı ortalama doz 2 mSv. Günde 10 tek sigara içimiyle alınan doz, kaba-ca, evlerin havasındaki radon gazının solunumundan oluşacak radyasyon dozuna eşdeğer.

Polonyum çözünür olduğundan tüm doku ve hücrelere ulaşmakta, bun-lar, sigara içenlerin kan ve idrarlarında ölçülüp kanıtlanabilmekte. Polonyum 210'un genetik hasar yaptığı, karaciğer, idrar yolları kanseri, kan kanseri ve kalp hastalıklarına neden olduğu saptanmış.

Tütündeki Radyoaktif Polonyum Meğer Önlenebilirmiş!

Doğada radyoaktif bir madde olarak ortaya çıkan polonyumun 210 numaralı radyoizotopu her tütünde var (Yukardaki yazıya bk.). Günde 1-2 paket sigara içen birinin akciğerlerine çektiği dumanla polonyumun saçtığı ışınlardan aldığı radyasyon dozu, her gün bir akciğer filmi çekirmeye eşdeğer. Sigara endüstrisi tütündeki radyoaktif polonyumu önleyecek basit yöntemler bul-masına rağmen son, elli yıl boyunca bu konuda harekete geçmemiş. Durum artık değişiyor.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre her yıl kabaca 3 milyon kişi akciğer kanserinden yaşamını yitiriyor. Ölümlerin yüzde 90'ı tütün dumanı-nın zararlı etkileri sonucu. Polonyum, dumandan elenebilirse binlerce ölüm önlenebilir. Ancak bunun için sigara üreticilerine iş düşüyor.

Atomların bazılarının çekirdekleri kararsız. Bunlar bozunurken alfa, beta ve gama ışınları salıyorlar. Bu çeşit kararsız atom çekirdekleri içeren mad-delere radyoaktif maddeler diyoruz. Her çeşit toprakta kilogram başına orta-lama 500 Becquerel (Bq) düzeyinde doğal radyoaktif madde bulunuyor. En

önemlileri potasyum 40 ve uranyum 238'den türeyen radyum 226 ve toryum 232 radyoizotopları.

Polonyum doğada kararlı bir izotop olarak bulunmuyor. Uranyum 238'in bozunma ürünlerinden türeyen polonyumun 28 izotopu var (izotop: nötron sayısı farklı atom çekirdekleri). Bunların tümü radyoaktif. Toprakta doğal olarak bulunan uranyum, fosfatlı kayalardan yapılan gübrelere çok daha fazla miktarda bulunuyor. Tütün bitkisi gübrenince, uranyum toprakta zenginleşiyor. Uranyum 238'den ardı ardına doğal bozunumla önce radon 222 (gaz), ondan da bir dizi ara ürün türüyor ve sonunda 22,3 yıl yarılanma süreli kurşun 210 oluşuyor. Kurşun 210'dan, önce bizmut 210 (Bi 210) ve bundan da 138,4 gün yarılanma süreli polonyum 210 (Po 210) oluşuyor (Bk. Bölüm 2, **Şekil 2.3**).

Topraktaki kurşun 210, kökler yoluyla yapraklara ulaşıyor. Havadaki radon gazından türeyen kurşun 210 da kuru serpinti ya da yağışlarla yapraktaki binlerce tüccüğe tutunuyor. Kurşun 210 böylece hem tütün yaprağının içinden hem de dışından sürekli polonyum 210 üretiyor. Tütündeki Po 210, sigara dumanının solunmasıyla akciğerlere ulaşıyor. Po 210, alfa ışınları yayıyor. İki proton ve iki nötrondan oluşan helyum atomunun çekirdekleri olan alfalar, akciğerlerin bronşlarında tutularak hücre yapısını bozuyor. Kinetik enerjilerini hücrelerdeki atom ve moleküllere aktararak bunlardan iyonlar oluşmasına neden olan alfalar, akciğerlerde benekler oluşturarak kansere yol açıyor.

Maden işçilerinin radon gazından oluşan düşük radyasyon dozunun etkisiyle zamanla kansere yakalanmasında olduğu gibi, tek tek sigara içmekle akciğerlerde oluşan düşük Po 210 radyasyon dozu da sigara tiryakilerinde kansere neden oluyor. Po 210'un kansere bağlı tüm ölümlerdeki payının yüzde iki kadar olduğu, sadece ABD'de her yıl binlerce ölüme yol açtığı hesaplanıyor. Bazı araştırmacılar, günde iki paket sigara içmekle vücuda alınan Po 210 radyoaktivitesi sonucu akciğerlerde oluşabilecek radyasyon dozunun, tüm doğal radyasyon kaynaklarından alınan doza oranla en az yedi kat daha çok olabileceğini ileri sürüyor.

ABD Tarım Bakanlığı'nın yaptırdığı bir araştırmada ticari süper fosfatlı gübre, saf kalsiyum fosfatlı gübreyle karşılaştırılıyor. Araştırma sonucuna göre, ticari fosfatlı gübre kalsiyumludan 13 kat daha çok radyum 226 içeriyor ve bunun sonucu olarak tütün yapraklarında yedi kat daha fazla polonyum birikiyor.

Bu bilgiler, son 40-50 yıldır yapılan araştırmalara dayanıyor ve bilim dünyasınca iyice biliniyor.

Yeni açıklanan bir araştırma, gerek bilim çevrelerince gerekse kamuoyunca bugüne dek hiç bilinmeyen bulgular içeriyor. Stanford Üniversitesi'nden Brianna Rego doktora çalışması sırasında, sigara üreticilerinin dosyalarını inceliyor ve ilgi çekici bazı bilgilere ulaşıyor.

Brianna Rego, sigara üreticilerinin son 50 yıldır bu konuda kendi araştırmacılarına ayrıntılı bilimsel araştırmalar yaptırdıklarını ve basit önlemlerle tütünden polonyumu temizlemenin yol ve yöntemlerini bulduklarını ortaya çıkarıyor. Ancak bu tür önlemlerin endüstriye ticari bir getirisi olmadığı için buluşlar ve çözümler hiçbir bilimsel dergide yayımlanmıyor ve kamuoyundan gizleniyor. Sonuçta, tütündeki Po 210 miktarı 50 yıl önce ne kadarsa, bugün de o kadar.

Ancak son 1-2 yıldır durum değişiyor. ABD’de "Aileleri Sigaradan Korumaya" yasasının Haziran 2009’da başkan Obama’nın imzasıyla yürürlüğe girmesiyle ‘uyuyan sigara endüstri devi’ uyandırılıyor. ABD Kanseri Derneği bu yasaya dayanarak sigara üreticilerinden sigaradaki zehirli maddelerle ilgili gizledikleri bilgileri açıklamalarını istiyor. Sigaradan elenmesi zor olan karbon monoksit gibi kimyasalların tersine, tek bir izotop olan Po 210’un kolayca elenebileceği özellikle vurgulanıyor.

Sigara üreticilerinin yaptırdığı araştırmalara göre Po 210’un tütünden arındırılmasıyla ilgili yöntemlerden önemlileri (birkaç yöntem birlikte de uygulanabilir):

Tütüne bazı kimyasallar eklenerek Po 210’un külde kalmasını, dumana karışmamasını sağlamak

- Uranyumu daha az olan gübreler kullanmak
- Tütün yapraklarını harmandan sonra yıkamak
- Polonyumu iyon değiştiricilerle elemek
- Tütün bitkisini genetik olarak değiştirmek, yaprakları tüysüzleştirip kayganlaştırmak ve böylece kurşun 210’un tüycüklere tutunarak Po 210 üretmesini engellemek

ABD’de yapılan bu araştırmadan çıkan sonuçlar göz önüne alınarak Türkiye’de de benzer yasa ve yönetmeliklerin çıkarılması, Türkiye’deki sigara üreticilerinin gerekli önlemleri alması toplum sağlığını korumak yönünden önemli.

Kaynak:

Brianna R., "Radioactive Smoke", Scientific American, Ocak 2011.

Gece Işıldayan Kol Saatlerinin Saçtığı Radyasyon Bileğimizi Çok mu Işınıyor?

Gece ışıldayan saatlerin akrep, yelkovan ve kadranlarındaki florasanlı maddelerin üzerine ışık düştüğünde, karanlıkta ışıldadığını herkes bilir. Gece karanlık olan yerlerde bunların görünmesi ise radyoaktif maddeli boyaların bunlara

sürülmüş olmasıyla sağlanıyor. 1960'lara kadar, radyoaktivitesi 150.000 Bq' e kadar varan **radıyım** kullanılmaktaydı. Saatin taşındığı kolun derisinde aşırı olmamakla birlikte bir miktar radyasyon dozu oluşuyordu. Artık bugün radıyım kullanılmıyor. Nedeni saati takan kişilerin alacağı dozdan çok, saatlerin yapıldığı fabrikalardaki işçilerin aldıkları yüksek doz. .

Bugün saatlere sürülen boya içinde, **trityum** (Hidrojenin 3 numaralı izotopu, H 3) kullanılıyor, trityumun yaydığı çok düşük enerjide beta ışınları ise saatin altındaki metalde ve camında tutularak deriye ulaşamadığından, bilekte herhangi bir doz oluşmuyor. Ancak uçuculuğu yüksek olan trityumdan kaynaklanan 'trityum gazı' saatin çerçevesinden sızarak deri yoluyla insan vücuduna girebilir. Ancak bu yolla vücutta oluşabilecek yıllık eşdeğer doz 0,02 mSv'den de az. Küçük olmasına rağmen bu dozu daha da azaltmak için bugün, birçok kol saatinde içi trityum gazıyla doldurulmuş ve iç yüzeyi floransanlı maddeyle sıvanmış minicik kapalı cam kapsüller saatin sayılarını oluşturuyor.



Şekil 3.5 Gece ışıldayan bir kol saati

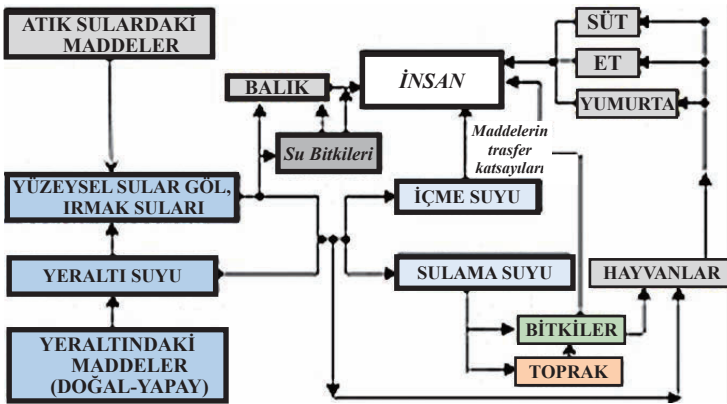
Bunun sonucu olarak vücutta oluşabilecek yıllık eşdeğer doz 0,01 mSv'den daha az. Doğal radyasyon nedeniyle oluşan yıllık doz ise, yukarda açıklandığı gibi, bunun çok üstünde olup 2,4 mSv' dir. Diğer yandan, bazı '**yarı iletken maddeler**', bir süre görünür ışık aldıklarında, geceleri de uzun bir süre ışıldadıklarından, birçok saat yapımcısı bugün trityum yerine artık yarı iletken maddeler kullanıyor.

SULARDAKİ RADYOAKTİF MADDELER VE SAĞLIĞIMIZ

Sulardaki Yabancı Maddelerin İnsana Ulaşım Yolları ve Üst Sınır Değerler

Bu yazı, sağlığımızı etkileyebilen sulardaki kimyasal ve radyoaktif maddelerin 'sulardaki etkin maddeler' olarak insana ulaşım yolları ve değerlendirilmeleriyle ilgili bilimsel çalışmalara, Türkiye genelinde ağırlık verilmesi gerektiğini vurguluyor. Ayrıca suda, birkaç 'etkin madde' birlikte bulunduğu, sınır değerlerin belirlenebilmesiyle ilgili yöntemi açıklıyor.

Yeraltı suyu, ırmak ve göl sularındaki kimyasal ve radyoaktif maddeler insana çok çeşitli yollarla ulaşıyor. **Şekil 4.1**'de görüldüğü gibi yeraltı katmanlarındaki (akifer) doğal maddelerin yanı sıra yeraltına sızan çeşitli yapay maddeler de zamanla yeraltı suyuna geçiyor. Ayrıca ırmak boyunca su, yatağındaki her çeşit maddeyi de az ya da çok birlikte taşıyor. Öte yandan atık suların ırmaklara salınması ve yeraltına sızması sonucu, sağlığımızı etkileyici çok çeşitli yabancı madde, yeraltısuyu ve yüzeysel sular yoluyla insan vücuduna bir miktar ulaşıyor.



Şekil 4.1: Sulardaki çeşitli maddelerin insana ulaşım yolları /Atakan/.

Sulardaki maddelerin doğrudan (içme suyuyla) ya da sulama suyu yoluyla toprak, bitki ve hayvanlara, onlardan da et, süt, yumurta gibi besinlerle insan vücuduna ne ölçüde aktarıldığının ortaya çıkarılıp değerlendirilmesi sağlığımız için önemli. Bu konulardaki bilimsel çalışmalar jeoloji, hidrojeoloji, evre ve su mhendislikleriyle, tarım, kimya, radyoaktivite, biyoloji, tıp, veterinerlik ve mikrobiyoloji gibi bilim dallarını kapsıyor. **şekil 4.1**, sulardaki çeşitli maddelerin insana ulaşım yollarını açıkça gösteriyor.

Yapılabilecek Bilimsel alışmalar

1. Jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar. Özellikle ırmakların ve kollarının doğduğu bölgelerde; gllerin su altındaki kaynak bölgelerinde (Sulardaki yabancı maddeler hangi yeraltı katmanlarından ve ne ölçüde kaynaklanıyor?)
2. Irmaklar boyunca, özellikle suların kullanıldığı önemli noktalarda ve halka ulaşan yeraltısularında kimyasal, mikrobiyolojik ve radyoaktif (doğal ve yapay) maddelerin sistematik (aylara, yıllara göre) lmleri
3. Sularda radon ve başka radyoizotoplar bulunuyorlarsa bunların, suların dağıtım merkezlerinde ve evlerde ölçümleri ve değerlendirilmeleri
4. Yeraltısuyundan yüzeysel sulara, içme, kullanma ve sulama sularına, toprağa, bitkilere (tahıl, sebze, meyve ve otlaklara) hayvanlara, balık, et, yumurta ve süte ilgili etkin (zararlı) maddelerin her birinin ulaşımını gösteren 'transfer katsayıları'nın ayrı ayrı belirlenebilmesi için ilgili bilim dallarında ayrıntılı araştırmalar
5. Yörede kaç kişinin hangi sulardan ne kadar içtiğinin, yenilen besinlerin cinslerinin ve miktarlarının ortaya çıkarılması, bunlardaki 'sağlık için etkin maddelerden' ne kadarının insana ulaştığıyla ilgili bilimsel alışmalar
6. İnsan vücuduna giren etkin maddelerden herbiri için ayrı ayrı doz ve sağlık riski hesap ve kestirimleri
7. Irmaklar boyunca özellikle yoğun yerleşim yerlerinde sulardaki doğal ve yapay maddelerden sağlıklarını etkilenebilecek kitlenin belirlenerek ilgili önlemlerin önerilmesi ve gerekiyorsa alınması
8. Suyu kullanan yoğun yerleşim yerlerinde epidemiyolojik çalışmaların yapılması, kitle içinde çok görülen hastalıkların sulara bağlanıp bağlanamayacağının ortaya çıkarılması.

Sulardaki Yabancı Maddelerle İğili st Sınır Değerler

Türkiye'de 'İnsani Tüketim Amaçlı 25730 sayılı yönetmelikte' yer alan maddeler için sınır değerler 'parametreler adı altında' veriliyor. Bu yönetmelikte, yabancı maddelerden bazılarının suda birarada bulunması durumunda izlenecek yolun ne olması gerektiği ise açıklanmıyor.

Örneğin suda hem arsenik ve hem de bor varsa, bunların derişimleri üst sınır değerlere çok yakın olmakla birlikte bunlar aşılıyorsa, bu su, kaba deyişimle 'temiz, içilebilir, zararsız' bir su mudur? Aslında sudaki tek bir yabancı maddeden başkası bulunmasa bile bunun sınır değerinin bir miktar azı 'zararsız!', bir miktar çoğu 'zararlıdır!' yaklaşımı doğru değil. Nedeni, yönlendirici üst sınır değerler, bir kişinin yaşamı boyunca (ortalama 70 yıl alınıyor) bu derişimdeki sudan günde 2 litre içtiği varsayılarak, ilgili maddenin bu uzun sürede vücutta oluşturacağı dozun riskine göre, hesaplanıyor.

Halbuki ilgili kişinin yaşamı boyunca aynı derişimdeki sudan her gün 2 litre içmeyebileceği, ayrıca başka yerlerde de bulunup başka derişimli sular dan da içebileceği gerçeğinin yanı sıra, aynı suyun derişiminin de bu uzun sürede derişim göstereceği açık. Bu nedenlerle üst sınırların, yönlendirici değerler olarak göz önüne alınması ve ölçümler, bunlara yakın ya da bunları geçen değerler gösterdiğinde daha ayrıntılı analizlerle sudaki başka maddelerin de belirlenmesi ve gerekiyorsa ilgili önlemlerin alınması izlenecek doğru yoldur.

Sağlığı olumsuz etkileyebilen birkaç yabancı maddenin suda bir arada bulunması, bunların derişiminin oldukça çok ve fakat sınır değerlerin aşılması durumunda 'Oransal Toplamlar Bağıntısının' Türkiye'de de yönetmeliklere alınarak uygulanması önerilir (**Bkz: Ek 9: Sulardaki yabancı maddelerden herhangi biri için sınır değer hesaplanması**). Suda başka maddeler de varsa, bunların 'aşılması gereken derişimleri', Ek 9'da verilen bağıntıdan hesaplanabilir ve bu maddelerden uygunlarının, sudan süzülmesi ya da suyun bekletilmesi gibi yollarla elenmesi denenmelidir.

Yukarda açıklananlar çerçevesinde, sulardaki yabancı maddelerin insana ulaşım yollarının (Bk. **Şekil 4.1**), bunların sağlığa etkilerinin ve alınabilecek önlemlerin Türkiye genelinde araştırılıp belirlenebilmesi, ancak ilgili bilim dallarından araştırmacıların katkısıyla oluşacak bir dizi 'Grup Çalışmalarıyla' sağlanabileceği açık. Bu ise, Sağlık Bakanlığı'nın, üniversitelerin, belediyelerin ve başta TÜBİTAK olmak üzere tüm araştırma kurumlarının ilgili bilimsel araştırmaları öngörmeleri ve desteklemeleriyle olabilir.

Kaynaklar:

Grup Çalışmasının Önemi, Y. Atakan, Cumhuriyet Bilim Teknoloji Dergisi (CBT) 13.06.2008;

İçtiğimiz Sulardaki Radyoaktivite ve Halk Sağlığı, Y. Atakan, CBT, Sayı 1112, 11.07.2008;

Kızılırmak sularıyla ilgili Tübitak, TAEEK' ya. çağırısı, Y. Atakan, CBT, 05.09.2008

İçtiğimiz Sulardaki Radyoaktivite ve Halk Sağlığı?

Çevremizdeki her maddede olduğu gibi içme sularında da çeşitli doğal radyoaktif maddeler bir miktar var. İnsana etkisi yönünden radyum 226 ve ondan türeyen radon 222 önemli olanlar. Uranyum 238 ve toryum 232'nin yanısıra, radon 222'den radyoaktif bozunmayla oluşan polonyum 210 ve kurşun 210 radyoizotopları da içme suları olarak kullanılabilen yeraltı sularında bulunan diğer radyoizotoplar. Vücudumuza alınan her zararlı olabilecek maddede olduğu gibi, içme sularında da bunlardan 'ne miktarda olduğu?' sağlığımız için önemli.

İçme sularıyla ilgili Türkiye'de çeşitli standartların ve yönetmeliklerin yanı sıra Sağlık Bakanlığının 17.02.2005 günlü ve 25730 nolu bir yönetmeliği var(Bu yönetmelikle ilgili bazı değişiklikler 07.03.2013 günlü ve 28580 nolu yönetmelikte yer alıyor). Bu standart ve yönetmelikler, sularda bulunabilecek çok çeşitli maddelerin yanı sıra radyoaktif maddelere de sınırlamalar getiriyor. Sınırlamalar sadece toplam alfa ve toplam beta ile trityum ölçümlerini kapsamakta, bunlarla ilgili üst sınırlar aşıldığında daha incelikli tek tek izotop analizleri ve gerektiğinde ilgili önlemler konusunda izlenmesi zorunlu olacak herhangi bir yol, yöntem içermiyor. Gerek İnsani Tüketim Amaçlı Önceden Dezenfekte Edilmiş İçme ve Kullanma Sularındaki (musluk, şişe ve damacana suları), gerekse önceden dezenfekte edilmemiş doğal mineralli kaynak sularındaki radyoaktivite analizleri yetkisi Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğüne 15.03.2005 günlü ve 3745 sayılı genelgeyle Türkiye Atom Enerjisi kurumuna ve DSİ İzotop laboratuvarlarına verilmiş.

Geniş bir coğrafyaya dağılmış 75 milyon nüfuslu Türk halkının çok çeşitli suları içmekte ve kullanmakta oldukları gözönüne alındığında, bu suların herbiri için bakteriyolojik ve kimyasal analizlerin yanısıra radyoaktif madde analizlerinin de yapılamayacağı düşünülebilir. Özellikle kırsal alanlara dağılmış sayıları onbinleri geçen küçük yerleşim yerlerinde hangi suların içildiğinin ve bunların içinde ne gibi maddeler bulunduğunun ortaya konulmasının kapsamlı araştırmalar gerektireceği açık. Herbir yerleşim yerinde göl, ırmak, kaynak ve kuyu sularınının bir ya da birkaçının içilip kullanıldığı gözönüne alınırsa Türkiye genelinde yapılması gereken çalışmaların büyüklüğü kestirilebilir. Ayrıca yerin derinliklerinden gelen yeraltı sularının kaynak suları, hatta şifalı sular olarak içildiği de biliniyor. Bunlar gerçekten de şifalı sular olabiliyor. Ancak bazılarının içinde belki başka maddelerin yanı sıra, yeraltındaki granit ve başka jeolojik malzemelerden kaynaklanan çok miktarda radyoaktif madde de bulunabilir. Yeraltı sularının halka ulaşıp ulaşmadığı, ulaştıysa çevredeki kaç kişiyi ne ölçüde etkilediğiyle ilgili araştırmaların yapıp yapılmadığı bilinmiyor.

Öte yandan büyük kentlerde çok çeşitli damacana ve şişe suları içiliyor.

Gerek TAEK'ya bu konuda daha önce yazdığımız yazılar ve gerekse Tübitak dergisindeki yazımızdan sonra TAEK internet sayfalarında (www.taek.gov.tr) Türkiye haritası üzerinde her kentin içme suyunda ne miktar radyoaktif madde bulunduğu 'toplam alfa ve beta değerleri' olarak ve üst sınır değerlerle karşılaştırılarak yayımlandı. Bu olumlu gelişme, daha bir dizi araştırma, analiz ve değerlendirmelerle geliştirilmelidir. TAEK'nın, web sayfalarında Türkiye haritası üzerinde, nüfusu yüzbin olan kentten 15 milyonluk İstanbul'a kadar, her kentin içme sularındaki radyoaktivite tek bir değerle gösteriliyor. İstanbul gibi dev bir kentte belki yüz çeşit su içilirken, küçük kentlerde de onlarca çeşit sular içilebileceği açıktır. Bu nedenle her kentte içilen çeşitli sular için, farklı radyoaktivite değerlerinin olması doğaldır. Ayrıca toplam alfa analiz değerleri bazı kentlerde sınır değerler dolayında olduğundan bunlar için daha ayrıntılı başka analizlerin yapılıp yapılmadığı, bu sulardan çevredekilerce ne kadar içildiği ve ilgili önlemler gerekip gerekmediği TAEK sayfalarında bulunmadığı gibi, bu suların ne cins sular olduğu da (göl, ırmak, yeraltı suyu gibi) bir listede yer almıyor. Bazıları yeraltı suyuysa, derinlik ve jeolojik malzeme önemli olduğundan bunların da böyle bir listede yer alması gerekir.

Kısacası halk içtiği suyun içinde hangi maddeden ne kadar bulunduğu ancak o suyun adının yer aldığı bir listede ya da damacana veya şişelerin üzerindeki etikette görüp öğrenebilir. Halkı doğru ve tam bilgilendirme de bu değil midir?

Bu nedenlerle önerilerimiz ve yetkililere çağrımız sırasıyla:

1. Her il Sağlık Müdürlüğü, kendi bölgesindeki köylere kadar tüm yerleşim yerlerinde o yöredeki halkın, hangi cins sulardan günde ortalama olarak ne kadar içtiğini ortaya çıkarmalı, tüm bu sulara bakteriyel ve kimyasal analizlerin yanı sıra radyoaktif maddelerle ilgili analizleri TAEK ile iş birliği içinde, yaptırmalı, sonuçları kendi internet sayfalarında çizelgelerde açıklamalı (yeni ölçümler yapıldıkça örneğin yılda birkaç kez bunları güncellemeli)
2. Radyoaktivite değerlerinin üst sınır değerleri aşması durumunda "izlenecek yol ve önlemlerin yanı sıra, yetkili ve sorumlu kurumlar" belirlenmeli, bununla ilgili Sağlık Bakanlığının yönetmeliği geliştirilmeli
3. Özellikle toplam alfa ve beta üst sınır değerlerinin aşıldığı içme sularından günde içilen su miktarına göre vücudun alabileceği 'radyasyon dozları' küçük çocuklardan başlayarak çeşitli yaş grupları ve yetişkinler için hesaplanıp sonuçlar internet sayfalarında halka açıklanmalı. Yukarıda önerdiğimiz ayrıntılı araştırma çalışmaları gerçekleştirildiğinde Türkiye genelinde kentlerden köylere kadar, radyoaktif maddelerin

içme sularında ne miktarlarda bulunduğu ve bunlardan insan vücutunda oluşabilecek radyasyon dozlarının büyüklüğü, doğal radyasyon dozlarıyla karşılaştırmalı olarak ortaya konacak ve halk doğru ve tam olarak bilgilendirilecektir. Bu, ayrıca bu konudaki spekülasyonları da önleyecektir. Almanya'daki 650 çeşit şişe suyu için bu yapılmakta ve içme suları için, sadece radyoaktivite değerleri değil aynı zamanda bu suları içen küçük çocuklardan yetişkinlere kadar vücutta oluşabilecek radyasyon dozları da ayrı ayrı hesaplanıp, sonuçlar internet sayfalarında halka açıklanıyor.

İçme Sularındaki Uranyumun Sağlığa Etkisi? Almanya'da ve Türkiye'de Durum

Almanya'daki 'Besin İzleme' örgütünün (Food Watch) geçenlerde yayımladığı 'Şişe sularındaki Uranyum' başlıklı bildirisini, TV haberlerinde, gazete ve internet sayfalarında açıklanıp tartışıldı. Bu örgütün görevlendirdiği araştırmacılar Almanya'nın tüm eyaletlerindeki ilgili devlet kurumlarından, şişe sularında ne kadar uranyum bulunduğunu, içme sularındaki uranyum derişiminin üst sınırlarını ve halk sağlığına etkilerini belirlemeye çalıştılar.

Araştırmalar, Mayıs 2005'de bazı mineral sularında yapılan ölçümlerde çok miktarda uranyum bulunmasıyla başladı. Eyaletlerin çoğu, Besin İzleme örgütüyle iş birliği içinde, su üretim yerlerinin ölçüm yaptırılmalarına ve sınır değerlere uymalarını isterken, Almanya'nın doğusundaki Sachsen Anhalt eyaleti bu konuda herhangi bir bilgi vermeyi kabul etmeyince bu örgüt, bu eyaleti dava etti. Yargı, bu eyaletin Besin İzleme örgütüne ilgili bilgileri vermesine, Çevre Bilgilendirme Yasasına dayanarak karar verdi.

Havada, toprakta ve sularda doğal olarak çok az miktarda bulunan çeşitli radyoaktif maddelerin yanı sıra uranyumla da birlikte yaşamaktayız. Uranyum, normal bir toprağın her kilogramında ortalama olarak 3 miligram var ($3\text{mg/kg} = 3\text{ mg}/10^6\text{ mg}$ ya da 3 ppm (= milyonda üç)¹. Bu, 10 tonluk bir kamyon toprağa, bir yemek kaşığı dolusu (30 gram) kadar uranyumun homojen olarak karıştırılmış olması demek. Bu miktar doğal uranyumdan kaynaklanan toprağın radyoaktivitesi ise kilogram başına ortalama olarak 33 Bq kadar² (Doğal uranyumun özgül radyoaktivitesi: 25 Bq/mg). Uranyumun toprakta bulunma miktarı genel olarak altın, gümüş ve civadan daha çok. Özellikle granitte uranyum daha çok bulunduğundan, bu ortamdaki yeraltı sularının uranyum derişimi de fazla oluyor. Uranyum da kurşun, civa ve

¹ Bu değer Dünya ortalaması

² Bq: 1 Becquerel: Saniyede 1 atom çekirdeği bozunması gösteren radyoaktif madde miktarı

plütonyum gibi ağırmetal olduğundan bunlar ve bileşikleri son derece zehirli olup vücuda normalin üstündeki miktarlarda girdiklerinde özellikle böbrek ve karaciğerde bir süre kalıp hasara neden olabiliyorlar. Uranyumun kimyasal zehirliliği, radyoaktifliğinden önce geliyor. Uranyum topraktan hava ve suya, bunlardan doğrudan doğruya da bitki ve hayvanlar yoluyla insana ulaşıyor (Uranyumla ilgili ayrıntılı bilgiler için bk. **Ek 10**).



Sekil 4.2: Şişelerdeki sular ne kadar radyoaktif?

İçme Sularındaki Uranyum İçin Sınır Değerler ?

Gerek AB ve gerekse Almanya ilgili yönetmelikleri sulardaki uranyum için herhangi bir sınır değer öngörmüyor. Başka birçok yabancı maddeler için sınır değerlerin bulunduğu Almanya'daki yönetmeliklerdeki 'içme suyu yabancı maddelerden arındırılmış' genel kuralına ve uranyumun özellikle bebeklere olumsuz etkileri olabileceği bulgusuna dayanılarak 'Besin İzleme' örgütü, içme sularındaki uranyum için bir sınır değer belirlenmesini öneriyor. Bununla ilgili olarak Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) önerdiği 'vücutun kg'ı başına günde en çok 0,6 µg' dan (mikro gram, gramın milyonda biri) gidilerek bir sınır değer bulunmaya çalışıılıyor (TDI=Tolerable Daily Intake ' Vücuda alınacak uranyum için günlük tolerans değer). 60 kg'lık bir kişi için bu 36 µg uranyumun vücuda girmesi demek. WHO, bir kişinin günde 2 litre su içtiğini ve uranyumun % 80'nin vücuda sudan alındığını (% 20'sinin sebze, meyve, tahıl, et ve balık yoluyla vücuda girdiğini) ileri sürerek, günlük yönlendirici sınır değer olarak 15 µg/litre değerini öneriyor.

ABD'nin Çevre Koruma Örgütü (EPA: Environmental Protection Agency) üst sınır değer olarak 30 µg/litre'yi öngörmekte. EPA'nın yaptığı hesaplara

göre 150.000 kişi 30 µg/litre derişimli sudan yaşam boyu içerse, bunlardan 1-2 kişinin kansere yakalanması olasıdır.

Almanya'da İçme Sularında Ölçülen Uranyum Değerleri

Almanya'da gitgide daha çok şişe suları içiliyor: 2005'de kişi başına yıllık ortalama 125 litre (1970'de ise sadece 12,5 litre). 2000-2004 yılları arasında 1.530 çeşit şişe suyunda yapılan uranyum ölçümlerinde bunların % 44'ünde uranyum derişimi, ölçü sınırı olan 0,2 µg/ litre değerinin altında kalıyor. Bu suların % 97'sinin uranyum derişimi ise WHO'nun yönlendirici sınır değerleri olan 15 µg/ litre'den daha az. 34 şişe suyunda ise 71 µg/ litre'ye varan daha yüksek değerler görölüyor.

Almanya'da bebeklerin mamalarının gitgide şişe sularıyla hazırlandığına değinen 'Besin İzleme' örgütü WHO'nun günlük sınır değerleri olan 0,6 µg'dan gidilerek 3,5 kg'lık bir bebeğin vücuduna günde 2,1 µg uranyumun girebileceğini ve bunun da 15 µg/litre'lik sudan az miktarda bile iilse sınır değerleri ulaşılabileceğini ileri sürerek, 15 µg/litre'nin de altına inilmesini ve tüm şişelerin etiketlerinde uranyum derişiminin de yazılmasını öneriyor (Eğer 71 µg/ litre'lik sudan günde 1 litre mama hazırlanmasında kullanıldıysa bu, günlük sınır değerleri olan 2,1 µg'ın 35 kat aşılması demek). İçme sularının kimyasal yollarla arındırılmasına izin verilmiyor. Sadece filtrasyonla ve bekletme (dekantasyon) gibi fiziksel yollarla uranyumun istenilen ölçüde tutulması da sağlanamadığından, uranyum ölçümleriyle yüksek derişimli suların halka ulaşmasının önüne geçilmesi istenmekte.

Öte yandan Almanya evre Dairesi (UBA: Umweltbundesamt), WHO'nun TDI değerinin yarıya indirilerek 'vücudun kg'ı başına günde en çok 0,3 µg' ve içme suyunun derişiminin de 10 µg/ litre olarak sınırlandırılmasını ileri sürüyor. Buna gerekçe olarak, insan vücudunda uranyumun, deneylerin yapıldığı fareler ve tavşanlara göre, daha çok tutulduğuyla ilgili araştırmaların bulunması gösteriliyor.

Almanya'da konunun tartişılması sürmekte ve ilgili makamlar içme sularındaki uranyum derişimi için bir üst sınır konulmasını dūřünmekteler.

Türkiye'de Durum

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında 25730 sayılı ve 17 şubat 2005 günlü yönetmelikte gerek 'içme ve kullanma sularındaki' ve gerekse 'kaynak sularındaki' uranyum ve bunun üst sınırıyla ilgili herhangi bir madde bulunmuyor. Radyoaktiviteyle ilgili olarak sadece trityum, toplam alfa ve beta ölçümleri bu

yönetmelikte yer almakta. TAEK internet sayfalarında ise, uranyumun radyolojik zehirliliği kimyasal zehirliliğinden çok daha az olması nedeniyle olsa gerek bu konuda herhangi bir ölçüm ve değerlendirmeye rastlanmıyor.

Önerimiz, daha önceki yazılarımızda belirttiğimiz gibi³ toplam alfa sınır değerlerinin aşıldığı içme sularında uranyum analizlerinin yapılması, şişe ve damacana etiketlerine uranyumun da alınması ve yukarda açıklanan WHO, AB, ABD ve Almanya'daki gelişmelerin izlenerek ilgili yönetmeliklerde değişiklik yapılmalı.

İçme Sularındaki Radonun Sağlığa Etkisi? Doz ve Risk Hesaplamaları, Alınabilecek Önlemler

Özet

Yer kabuğundaki çeşitli jeolojik yapı taşlarında bulunan uranyumun radyoaktif bozunma ürünlerinden olan radyumun alfa parçacıkları salması sonucu radon oluşuyor ve yeraltı sularına geçiyor. Özellikle yerin derinliklerindeki uranyumu zengin kristalin kaya katmanları arasındaki derin yeraltı sularında radon bol bulunabiliyor. Radonlu suların, yerleşim yerlerine içme ve kullanma suyu olarak dağıtılması yoluyla, musluk suyundan doğrudan ya da sudan havaya geçerek dolaylı yoldan, insan vücuduna ulaşıyor.

Bu yazıda, içme ve kullanma (musluk) sularındaki radon derişimleri, bunlarla ilgili doz hesapları, yönlendirici sınır değerler ve risk hesaplarıyla ilgili yöntemler açıklanıyor.

Özellikle bol radonlu kaynak sularının halk kitlelerinde oluşturacağı “yüksek radyasyon dozu riski” nedeniyle, bu çeşit suların yerleşim yerlerinde halka ulaşmaması için gerekli önlemlerin alınması öneriliyor.

Radon, yer kabuğunu oluşturan çeşitli jeolojik yapı taşlarındaki uranyumdan yeraltı sularına geçiyor. Özellikle yerin derinliklerindeki uranyumu zengin kristalin kaya katmanları arasındaki derin yeraltı sularında radon bol bulunabiliyor. Radonlu suların, yerleşim yerlerine içme ve kullanma suyu olarak dağıtılması yoluyla, musluk suyundan doğrudan ya da sudan havaya geçerek dolaylı yoldan, insan vücuduna ulaşıyor.

Vücuda solunan hava ve içilen suyla giren radon, çabucak kana karışıp vücudun tüm hücrelerine yayılıyor. Radon, hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşın, atom çekirdeklerinin yaydığı (2 proton ve 2 nötrondan oluşan) alfa ışınları (tanecikleri) yoluyla ve ürettiği ağır metallerle vücudu etkiliyor.

³ Bk. yukardaki ‘İçtiğimiz sulardaki radyoaktivite ve halk sağlığı’ yazısı

Çok uçucu olan radon, bu nedenle, göl ve ırmaklar gibi yüzeysel sular-da az bulunuyor. Köy, çiftlik ve bahçelerdeki kuyulardan, oralardaki evlerin musluklarına, kuyuların derinliklerine göre az ya da çok radon, suyla birlikte, giriyor. Ayrıca ırmak ve göl suları da bazı yerlerde evlere verilebiliyor ya da o yöredeki halk bunları doğrudan kullanabiliyor. Yüzeysel suların evlere su borularıyla dağıtıldığı yerlerdeki içme sularındaki radon radyoaktivitesi genellikle 1 Bq/l'den daha az.

Musluk suyundan havaya ulaşan radonun solunması sonucu ise, ABD'de her yıl 170 kadar kişinin kansere yakalanabileceği, bunun % 89'unun akciğer kanseri, % 11'nin de radonlu suyun içilmesiyle mide kanseri olacağı hesaplanıyor.

Çizelge 4.1'de AB ülkelerinde yeraltı sularındaki radon radyoaktivitesinin değişim aralıklarıyla UNSCEAR ölçütleri (referans) ve bu suların musluk suları olarak kullanıma oranları kabaca (Parantez içindekiler) gösteriliyor. 1 Bequerel (Bq) = saniyede 1 adet atom çekirdeği bozunması.

Çizelge 4.1: Sulardaki radon derişimi değişim aralıkları, UNSCEAR ölçütleri ve bu suların musluk suları olarak kullanım yüzdeleri (parantez içinde)

| | Bq/litre (= kBq/ m3) | |
|---|------------------------|---|
| | Değişim Aralığı | UNSCEAR ölçütleri (soldakiler) kullanım yüzdeleri (parantez içinde) |
| Yüzeysel sularda ve Sediment kaya akiferlerde | 1-50 | 1.....(%60) |
| Toprakta kazılmış 5-25 m derinliğindeki geniş (bostan) kuyularda | 100-300 | 10.....(%30) |
| 150 m derinliğe varan, kristalin kayalar içindeki (dar çaplı) kuyularda | 100-50.000 | 100.....(%10) |

İçme suları bu gibi yeraltı sularından kaynaklanıyorsa, musluk suyundaki radon radyoaktivitesi, kaynağın radon derişimine ve evlere ulaşmadan önceki arıtma durumuna bağlı.. Su, önceden örneğin karbonlu filtrelerden geçirilmişse sudaki radon azalıyor. Filtre ayrıca urayum ve radyumlu parçacıkları da tutarak, bunlardan suda radyoaktif bozunmayla yeni radon çekirdeklerin oluşması önlenmiş oluyor. Öte yandan büyük depo ya da havuzlarda su bir süre bekletildikten sonra yerleşim yerine pompalanıyorsa, bu sürede radonun büyük bölümü uçacağından ve ayrıca evlere ulaşana kadar da radyoaktivitesi azalacağından, musluk suyunda daha az radon bulunacak.

Musluk suları evlerde kullanılırken (temizlik, duş, çamaşır yıkama ve yemek pişirme gibi), sudaki radon havaya karışıyor. Yapılan bilimsel çalışmalar, havaya geçen miktarın, sudakinin onbinde biri kadar olduğunu gösteriyor. Örneğin sudaki derişimi 1000 Bq/litre ise, havaya geçeni 0,1 Bq/litre ($0,1 \text{ kBq/ m}^3 = 100 \text{ Bq/m}^3$).

İçme suları damacana ve şişelerden sağlanıyorsa, bunlar doldurulup boşaltılırken uçuculuğu nedeniyle, radonun damacana ve şişe sularında pek bulunmayacağı açık.

Çizelge 4. 2: İçme Sularındaki Radon Radyoaktivitesi Sınır Değerleri

| YÖNLENDİRİCİ SINIR DEĞERLER (YS) | | |
|--|--|---|
| ABD-Çevre Korunma Kurumu (EPA: Enviromental Protection Agency) | 11,1 Bq/litre (=300pCi/l) Evlere ulaşan içme sularında (MCL: Max. Contaminant Level) | Evlerde veya su dağıtım yerlerinde radonu azaltıcı önlemler alınıyorsa: YS: 150 Bq/l (=4000pCi/litre) |
| AB Yönetmeliği (2001), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) doz limitine dayanarak | 100 Bq/l – 1000 Bq/litre (GL: Guidance Level) | Ölçüm değeri, bu değerler arasındaysa durum değerlendirilip önlemlerin gerekip gerekmediği belirleniyor |
| Sulardaki Bq/l sınır değerlerin dayandığı temeller: Dünya Sağlık Örgütü belirlemesi (WHO): | 0,1 mSv/yıl Açıklama: İçme suları yoluyla halktan herhangi bir kişinin bir yılda alacağı toplam etkin doz bu üst sınırı geçmemeli | Bu değer, halk için tüm yollarla yılda alınabilecek etkin doz üst sınır değeri olan 1 mSv'in %10'u. Bu limit, yılda 60 litre su içildiğini öngörüyor. |
| EPA belirlemesi: | 0,04 mSv/yıl (Açıklama yukardaki gibi) | Bu doz limiti, yılda her gün 2 litre su içildiğini öngörüyor. |

Vücutta Oluşan Etkin Radon Dozlarının Hesaplanması:

Radonun vücuda etkisi = Radon derişimi (Bq/m³) x Etki Süresi (h/yıl)

$$= (\text{Bq} \times \text{h/m}^3) / \text{yıl}$$

h:saat

Radonun Vücuda Etkisinden Oluşan Dozun Hesaplanması İçin 2 Örnek:

Örnek 1: Evlerdeki havada ortalama radon derişimi 40 Bq/m³ ve radonun bozunma ürünleriyle olan denge katsayısı için kapalı yerlerdeki havada 0,40 ve insanların kapalı yerlerde bulunma süresi olarak da yılın % 80'i ve solunumla ilgili doz katsayısı olarak da aşağıdaki değer alındığında:

40 Bq/m³ × 0,4 × 7.000 h/yıl × 9 nSv × (10⁻⁶ mSv/1 nSv)/Bq h/m³ = 1,0 mSv/yıl
bulunur.

Örnek 2: Sudaki 10 kBq/m^3 derişimindeki radonun onbinde bir miktarı (10^{-4}) sular evlerde kullanılırken havaya karışıp solunumla vücuda girdiğinde oluşacak etkin ortalama doz, D:

$$D = 10^4 \text{ Bq/m}^3 \times 10^{-4} \times 7.000 \text{ h} \times 0,4 \times 9 \text{ nSv} \times (10^{-6} \text{ mSv/1 nSv})/\text{Bq h/m}^3 \\ = 0,0252 \text{ mSv/yıl}$$

Not: Radonun, radyoaktif bozunma ürünleriyle olan denge katsayısı için kapalı yerlerdeki havada % 40, açık yerlerde ise % 60 alınıyor. Radon'un sudan havaya geçme oranı ise: 10^{-4}

Çizelge 4.3: Radon'dan vücutta oluşan ortalama yıllık etkin dozlar (UNSCEAR).

| Vücutta oluşan ortalama 'etkin radon dozları' | | |
|---|---|---|
| Havadaki radonun solunumuyla | Kapalı yerlerde yılda (%80): 1 mSv/yıl (ortalama: 40 Bq/m ³) | Açık yerlerde yılda (%20) 0,1 mSv/yıl (10 Bq/m ³) |
| Musluk sularından havaya karışan radonun solunumuyla (solunum yolu) | 0,025 mSv/yıl (*) (Sudaki 10 kBq/ m ³ × 10 ⁻⁴) Doz katsayısı: 9 nSv/Bq | Musluk suyundan radonun havaya geçiş oranı 1/10.000 (banyo, çamaşır yıkama vb.) |
| Musluk sularının içilmesiyle (sindirim yolu) | 0,002 mSv/yıl (10 Bq/ l × 60 l/a) Doz katsayısı: 3,5 nSv/Bq | |
| Kandaki radon dozu | 0,05 mSv/yıl | |
| Kandaki toron dozu | 0,10 mSv/yıl | Tüm dozların toplamı: 1,30 mSv/yıl |

(*) 0,025 mSv/yıl, AB sınır değeri olan 0,1 mSv/yıl'ın çok altındadır.

Buradan görüldüğü gibi, içme suyunun içilmesi sonucu vücutta sindirim yoluyla alınan doz, içme suyundan kapalı yerlerde havaya karışan radonun vücutta oluşturduğu solunum yoluyla alınan dozdan çok daha az (sadece % 8'i). Bunun ilk nedeni, radon'un sudan havaya geçme oranının düşüklüğü (10^{-4} faktörü), ikincisi ise içilen su miktarının azlığı (yılda sadece 60 litre).

Almanya Radyasyondan Korunma Kurulu (SSK) içme suyundaki radon derişiminin 100 Bq/l olması durumunda halkın tüm yaş grupları için yıllık, kişi başına düşen ortalama dozun 0,4 mSv olabileceğini, bunun % 88'inin sudan havaya geçen radonun solunumu, % 12'nin de suyun içilmesi sonucu oluşabileceğini hesaplıyor (sırasıyla : 0,35 mSv ve 0,05 mSv).

Kaynak sularının doğrudan içme suları olarak kullanılması durumunda insanda oluşabilecek dozun hesaplanması:

Ankara Beypazarı veya Nevşehir Kozaklı içmeleri gibi radon derişimi 3000 Bq/l kadar yüksek olan kaynak suları, evlere musluk suları olarak doğrudan bağlanacak olursa:

Kaynak sularının evlerde kullanılması durumunda, bir miktar radonun evlerin havasına karışması sonucu solunum yoluyla alınacak doz:

Kapalı yerlerde (% 80): $3.000 \text{ kBq/m}^3 \times 10^{-4} \times 0,4 \times 7.000 \text{ h} \times 9 \text{ nSv/Bq h saat/ m}^3 = 7,5 \text{ mSv}$

Çizelge 4.3'teki 0,025 mSv'lik değer in 300 katına çıkıyor: (= 7,5/0,025)

Kaynak sularından günde 2 litre (l) içilmesi yoluyla alınacak doz:

$3.000 \text{ kBq/ m}^3 \times 730 \text{ l /yıl} \times 10^{-3} \text{ m}^3/ \text{l} \times 3,5 \text{ nSv/ Bq} = 7,3 \text{ mSv}$

Çizelge 4.3'deki 0,002 mSv'lik değer in 3.650 katına çıkıyor: (= 7,3 /0,002)

İçme Sularındaki Radonla İlgili Kanser Riskinin Hesaplanması

İçme suyundaki 10 Bq/l'in solunum yoluyla oluşturduğu 0,025 mSv doz, (bu içme suyunun çevredeki yerleşim yerlerinde kaç kişi tarafından kullanıldığına bağlı olarak) çok az da olsa bir risk oluşturur ve bu risk doğal radyasyonun oluşturabileceği riskin ancak % 1'i kadardır (=0,025/2,4). Ayrıca 0,025 mSv'lik doz, AB ve EPA yönlendirici doz sınırları olan 0,1 mSv ve 0,04 mSv değerlerinin çok altındadır.

Bu durum kaynak sularının evlere pompalanmasında ise değişiyor ve doz yukarıda hesaplandığı gibi toplam 15 mSv'e yükselebiliyor. Bu değer ise hem AB ve hem de EPA yönlendirici doz sınırları olan 0,1 mSv ve 0,04 mSv'in çok üstündedir.

15 mSv'lik etkin dozdan ve ortalama % 5'lik kanser riski katsayısından gidilerek örneğin çevredeki 10.000 kişinin evi bu kaynak suyuyla besleniyorsa kanser riski şöyle hesaplanabilir:

$$0,015 \text{ Sv} \times 10 \text{ 000 kişi} \times 0,05 \text{ /Sv} = 8 \text{ kişi/yıl}$$

Bu, 10.000 kişinin herbiri, her yıl bu dozu aldığı anda bunlardan 8'inin kanserden ölebileceği anlamındadır.

Öte yandan Almanya'da herhangi bir nedenle, kendiliğinden ortaya çıkan akciğer kanseri olasılığı ortalama olarak % 4' dür, ya da her 10.000 kişiden 400'ü akciğer kanserinden ölebiliyor.

İçme Sularındaki Radonun Sağliğa Etkileri Nasıl Azaltılabilir?

Özellikle yeraltı sularının, yerleşim yerlerine dağıtıldığı, pompalandığı merkezlerde sudaki radon derişimi, sistematik ölçümlerle belirlenmeli. Sulardaki radonun 100-1000 Bq/ litre arasında olması durumunda, suları kullananların buldukları yapılarıdaki durum incelenerek (binaların havalandırması gibi) hava ve su yoluyla alınabilecek radyasyon dozları hesaplanmalı ve gerekiyorsa bunları azaltıcı önlemlerin binalarda ya da su dağıtım merkezinde alınması gerekir. 1000 Bq/litre radon değeri aşılyorsa daha kapsamlı sınırlayıcı önlemler gerekebilir.

Damacana ya da şişelerle evlere, işyerlerine dağıtılıp içilen kaynak sularında, bu suların doldurması ve boşaltılması sırasında radon havaya karışacağından ek bir radyasyon dozu beklenmiyor. Ancak yerin epey derinliklerinden gelen kaynak sularında diğer radyonüklitlerden örneğin uranyum ve radyum miktarlarının ölçülmesi, içilen günlük miktara göre yönlendirici sınır değerler olan 0,1 mSv ve 0,04 mSv'in altında kalınıp kalınmadığının belirlenip, gerekiyorsa ilgili önlemlerin alınması önerilir.



Yönlendirici Sınır Değerlerin (YS) Hesaplanma Örneği

1. AB Yönetmeliği WHO belirlemesine göre: maksimum 0,1 mSv/yıl'dan gidilerek ve yılda ortalama olarak 60 litre(l) su içildiği varsayılarak:

- a. $YS_{\text{Sindirim yoluWHO}}(\text{Bq/l}) = 0,1 \text{ mSv} / 60 \text{ l} \times 3,5 \text{ nSv/Bq}$
 $= 0,1 \times 10^{-6} \text{ nSv} / 210 \text{ nSv/Bq} = 476 \text{ Bq/l}$
- b. $YS_{\text{Solunum yoluWHO}}(\text{Bq/l}) = 0,1 \text{ mSv} / (0,4 \times 10^{-4} \times 7.000 \text{ h/yıl} \times 9 \text{ nSv/Bq} \times \text{h} / \text{m}^3 \times 10^3 \text{ litre/m}^3)$
 $= 40 \text{ kBq} / \text{m}^3 = 40 \text{ Bq/l}$

Radon, sindirim ve solunum yollarıyla vücudu birlikte etkilediğinde, yılda 0,1 mSv'lik doz sınırının aşılması için:

$$YS_{\text{Heriki yolWHO}} = 476 \times 40 / (476 + 40) = 40 \text{ Bq/l}$$

2. EPA belirlemesine göre maksimum 0,04 mSv/yıl'dan gidilerek ve yılda ortalama olarak 730 litre su içildiği varsayılarak:

- a. $YS_{\text{Sindirim yoluEPA}}(\text{Bq/l}) = 0,04 / 730 \times 3,5 \text{ nSv/Bq} = 16 \text{ Bq/l}$
- b. $YS_{\text{Solunum yoluEPA}}(\text{Bq/l}) = 0,04 \text{ mSv} / 0,4 \times 10^{-4} \times 7.000 \text{ h/yıl} \times 9 \text{ nSv/Bq} \times \text{h} / \text{m}^3 \times (10^{-6} \text{ mSv} / 1 \text{ nSv}) = 15.870 \text{ Bq} / \text{m}^3$
 $\approx 16 \text{ kBq} / \text{m}^3 = 16 \text{ Bq/l}$

Radon, sindirim ve solunum yollarıyla vücudu birlikte etkilediğinde, yılda 0,04 mSv'lik doz sınırının aşılması için:

$$YS_{\text{Heriki yolEPA}} = 16 \times 16 / (16 + 16) = 8 \text{ Bq/l}$$

Yönlendirici Sınır değeri her bir yol için 8 Bq/l olmalı.

Kaynaklar

- EU 2001-Raporu: 'Radon in Drinking Water'(20.12.2001)
- ICRP Yayınları Nr.61, 65 (Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu)
- USCEAR 2000 Yayını (Radyasyonun Etkilerini inceleyen Uluslararası Bilim Kurulu)
- EPA (USA Environmental Protection Agency) radon önerileri 1991-1996 Almanya SSK ve BMU Kurumları yayınları
- Radionuclide concentrations in food and environment (book edited by M-Pöschl and Leo M.L.Nollet, Taylor & Francis, 2007)
- TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
- Vesterbacka Pia, stuk-A213, Helsinki 2005 (internete bkz)
- R.William Field, Radon Occurrence and Health Risk
- M.M.Sac, M.N.Kumru İzmir ili içme ve kullanma sularında Radon 222 ve Ra 226 (1994 Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler)

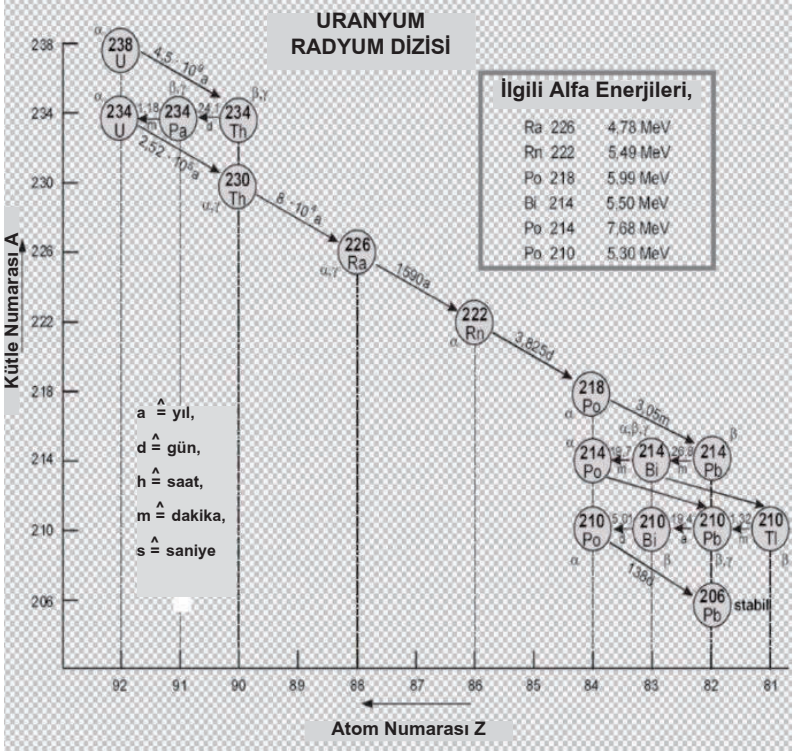
Bol Radonlu İçmeler ve Halk Sağlığı?

Bol radonlu sulara, gölet ve kaplıcalara girenlerin derilerinden radon kan dolaşımına giriyor. Radonlu suların içilmesiyle ise, radon mide-bağırsak derisi yoluyla kan dolaşımına girmekte...Halk sağlığıyla ilgili kurumlara ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na bir çağrı (Cumhuriyet Bilim Teknik, 09.11.2007).

Radon nasıl bir madde ve vücuda nasıl etkili oluyor? Radyoaktif bir madde olan radon, yer kabuğunda bulunan uranyum ve toryum radyoaktif madde dizilerinin bir elemanı. Radon yeraltından ya gaz ya da suda çözünmüş olarak yeryüzüne çıkıyor. 3,8 günlük yarılanma süreli radon (Rn 222) bozunarak kısa yarılanma süreli (radyoaktif bozunmayla yarıya inene kadar geçen süre) polonyum 218, kurşun 214, bizmut 214 ve polonyum 214 gibi ağır metalleri üretiyor (Bölüm 2, Şek.2.3'e bk.). Radyoaktif bir asal gaz olan radon, hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşın, 2 proton ve 2 nötrondan oluşan alfa ışınları yoluyla ve ürettiği radyoizotopların ağır metaller olmaları sonucu vücudu etkiliyor. Bu nedenle radondan türeyen ağır metallerin vücuttaki etkileri, radon'unkinden daha çok.

Radon izotopları içinde en yoğun olan Rn 222'nin 3,8 günlük fiziksel yarılanma süresine karşın, biyolojik yarılanma süresi (vücuda giren miktarın vücuttan yarısının atılana kadar geçen süre) oldukça kısa olup sadece 30 dakika kadar.

Radondan türeyen ağır metal tanecikleri özellikle akciğerlere yerleşip yaydıkları alfa ışınları ve diğer ışınlarla uzun süre vücutta oluşturdukları 'radyasyon dozuyla' etkili oluyorlar (Şekil 4.3'de sağ alttaki alfa yayan ağır metallerin yarılanma sürelerine ve çerçeve içindeki oldukça yüksek alfa enerjilerine bk.).



Şekil 4.3: Uranyum-Radyum dizisinde polonyumdan oluşan ağır metaller (Sağ alt köşeye bkz.)

'Radyasyon Dozu' aslında iyonlaştırıcı radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsü. Radyasyon dozu arttıkça vücutta kanser gibi hastalıkların ortaya çıkma olasılığının arttığı da biliniyor. Bu nedenle vücudun aldığı radyasyon dozunun bilinmesi ve gerekiyorsa aşırı radyasyon dozunu önleyici önlemlerle dozu sınırlamak gerekiyor (örneğin bol radonlu sularda uzun süre kalınmaması gibi).

Türkiye'deki Bol Radonlu İçmelerin Radyoaktiviteleri

Radon kaplıcalarıyla ilgili yaptığımız ve TÜBİTAK Bilim Teknik dergisinin Mayıs 2007 sayısında ayrıntılılarıyla yayımlanan çalışmamızda yer alan Türkiye'deki bazı içmeler ve bunların sularındaki radon derişimleri, litrede Becquerel (Bq/l) olarak aşağıdaki çizelgede bulunuyor (1 Bq = saniyede 1 adet atom çekirdeği bozunması):



Türkiye'deki içmelerin radon derişimleri ' litrede Becquerel' olarak:

Ankara Beypazarı Dutlu Vezir İçmesi: 3171

Erzurum Hasankale (Pasinler) maden suyu: 2921

Nevşehir Kozaklı Kozoğlu Hamamı: 3167

Nevşehir Kozaklı Uyuz Hamamı: 2299

Kırşehir Çiçekdağ Mahmutlu Büyük Hamam: 737

Nevşehir Kozaklı Belediye Hamamı: 615

Balıkesir Susurluk Kepekler Hamamı: 406

Kuşadası Güzelçamlı İçmecesı: 3

Kuşadası Kemerli Kaynak 146

Kuşadası açık kaynak: 281

Kuşadası Sümerbank kaynağı: 88

Tüm bu değerler ölçümlerin yapılmış olduğu günler için geçerli olup, sistematik olarak zamanla değişimleri ve hata oranları henüz incelenememiş.

Avrupa'daki radon uygulamalarının yapıldığı kaplıcalarda, radon derişimleri, genellikle litrede 666 ile 3.000 Bq arasında değişiyor. Ancak buralarda insanlar kontrollü olarak günde 20 dakika kadar kalabiliyorlar. Türkiye'de 'içmeler' adındaki suların, içme suları olarak kullanılmadığı, yalnızca geleneksel kaplıca iyileştirmelerinde kullanıldıkları sanılıyor. Ancak bu iyileştirme programlarının, hastaların ve personelin fazla radyasyon dozu almalarını önleyecek önlemleri içerip içermediği bilinmiyor ve bunların araştırılması gerekiyor.

Öneriler ve Bir Çağrı

Yukarıda sıralanan 'içmelerdeki', henüz sistematik ölçümlerle sınanamamış, bazı radon derişimleri çok yüksek. İçme sularındaki Rn 222 üst sınır değeri 22 Bq/litre olduğundan bu 'içmeler' adındaki suların her ne kadar kaplıca suları olarak kullanıldığı belirtilmiş ise de, gerçekten çevredeki halk tarafından soğutulduktan sonra (radon miktarı bir miktar azalsa da), maden suları gibi içilip içilmediğini ve içilmemesi için herhangi bir önlem alınıp alınmadığının da araştırılması yararlı olur.

Bu amaçla, halk sağlığıyla ilgili kurumların içmelerdeki durumu ortaya koyan araştırmaları başlatmaları, bu çeşit içmeler çevresinde yaşayan halkın sağlığının korunması için çok yararlı olacaktır. Örneğin bu suların toplandığı göletlerde çocuklar iyi havalarda gün boyu yüzüyorlar, oynuyorlar mı? Bu sular ne amaçla, ne süreyle kullanılıyor, ya da içiliyor mu?

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan da, Türkiye'deki tüm kaplıcaları ve içmeleri içeren, başta radon olmak üzere bir radyoaktivite ölçüm ve değer-

lendirme programını başlatıp ayrıntılı bilimsel ve teknik çalışmalara onayak olması ve gerekiyorsa halkı ve çalışanları koruyucu ilgili onlemleri aldırması beklenir. Üniversitelerin ilgili bölümlerinin ve diğer araştırma kurumlarının da çevrelerindeki kaplıcalarla ve imelerle ilgili olarak, bu çalışmalara katılması ve durumun bilimsel olarak derinlemesine incelenmesi ayrıca onerilir.

Radon Kaplıcalarında Alınan Radyasyon Dozları ve Kanseri Riski?

Radyoaktif maddelerden özellikle radonun bol bulunduğu sularla ve radonlu buharla yapılan uygulamaları içeren kaplıcalarda eklem, boyun, bel ve omurga ağrıları, deri hastalıkları, nefes darlığı, kas çekilmesi gibi daha birçok hastalığın iyileştirilmesine, ağrıların dindirilmesine çalışıldığı eskiden beri biliniyor.

Hastalıkların radonlu sular ve radonlu buharla iyileştirilmesi alışmaları, Avrupa'da ilk kez 1904'de ve daha sonraki yıllarda yapılan fizik ve tıp dallarındaki araştırmaların sonuçlarının Almanyadaki Bad Kreuznach kentinde açıklanmasıyla başlıyor.

1940 yılında Avusturyadaki Bad Gastein/Bckstein'de, altın aramak için açılan bir maden ocağında, altın yerine yeraltındaki havada yoğun miktarda radon bulunuyor. İkinci Dünya Savaşından sonra 1957'de romatizmanın radonlu su ve radonlu buharla iyileştirilmesi konusu tekrar gündeme geliyor. Daha sonra, çoğu biyofizikiden oluşan bir uzman grubunun radonun kullanımıyla ilgili yaptığı toplantı sonuçları 'Radyoaktif izotopların hastalıkların iyileştirilmesinde kullanımı' başlığıyla Bad Kreuznach Protokolü olarak 1987'de açıklanıyor.

Radon kaplıcalarında, radonlu suyla doldurulmuş havuzlarda hastalara, genellikle herbiri 20 dakika süreyle 2-4 hafta arasındabir kr programı uygulanıyor. Böylelikle deriden radon vcudaya işlerken, hastalar, kapalı kaplıca havasındaki yüksek nemli ve radonlu buharı da solunumla akciğerlerine çekiyorlar. Bazı kaplıcalarda da hastanın vücudu radonlu buhar püskürtülerek yıkanmakta. Bunun sonucunda hem deriden ve hem de nefes yoluyla akciğerlerden radon kana giriyor. Bu uygulamalarla vücuttaki ağrıların gitgide azaldığı ve ilaçlara gerek kalmadığı ileri sürülmekte. Umulan bu olumlu etkiler nedeniyle, radonun vücutta 'ek bir radyasyon dozu' oluşturması ise kabullenilmekte. Benzer durum röntgen filmi çekiminde ya da başka radyasyon uygulamalarında da böyle (Kobalt 60 işinlamalarında olduğu gibi).

Bu yazıda, radonlu su ve radonlu buharın kullanıldığı kaplıcalarda alınabilecek bu 'ek radyasyon dozu', sürekli olarak almakta olduğumuz "doğal

radasyon dozuyla' karşılaştırılıyor. Bu ek dozun oluşturabileceği kanser riski özellikle Almanya'da yürütülen çalışmaların ışığında sunuluyor.

Radon Nasıl Bir Madde? Özellikleri ve Vücuttaki Etkisi⁴

Radon yeryaltından ya gaz ya da suda çözülmüş olarak yeryüzüne çıkıyor. Şekilde görüldüğü gibi radonun en çok bulunan izotopu olan radon 222, 'Uranyum Dizisinde', radyoaktif uranyum 238 izotopunun bozunumundan türeyen ürünlerden biri olan radyum 226'nın alfa ışını salması sonucu oluşuyor. Alfalar 2 proton ve 2 nötrondan oluştuklarından bir adet alfa ışını salan Ra 226'dan kütle numarası 4 birim daha az olan radon 222 ortaya çıkıyor. 3,8 günlük yarılanma süresi olan radyoaktif Rn 222 bozunarak kısa yarılanma süreli Po 218, Pb 214, Bi 214 ve Po 214 gibi ağır metalleri üretiyor (şekile bk.)

Radyoaktif bir asal gaz olan radon hücrelerdeki maddelerle kimyasal olarak etkileşmemesine karşılık, yaydığı alfa ışınları ve ürettiği ağır metallerle vücudu etkiliyor. Bu nedenle radondan türeyen ağır metallerin vücuttaki etkileri radonunkinden daha çok. Ağır metaller daha çok akciğerlerde yerleşiyorlar. 'Radyoaktif Denge' denilen durumda, radon miktarıyla, ondan türeyen ağır metallerin miktarları ya da derişimleri aynı oluyor. Kapalı yerlerdeki radonlu havada bu ağır metaller hep var ve bunlar ya serbest dolaşmakta ya da havadaki aerosol gibi tanecikere tutunarak yüzeylere yapışıyor. Gerek bu nedenle gerekse havalandırma sonucu, radonlu havanın bulunduğu yerlerdeki ağır metallerin derişimi radyoaktif denge durumundakinden daha az.

Belirli bir radon derişimi havada belirli bir süre kalan bir insan, orada kaldığı süre ya da saat (st) boyunca alfalarla ışınlanacağından '**ışınlanma dozu**' nun: **Bq/m³ x saat** olacağı açık.



Radyoaktivite birimi olan Bequerel (Bq), saniyede 1 parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı ya da bu miktarın radyoaktivitesi (Bk. Ek 1-2)

Radyoaktif bozunma sırasında ortaya çıkan alfalar yüksek enerjilerini hücrelere aktararak molekül ve atomlarda değişimlere neden oluyorlar. Radonlu buhar, solunum yoluyla akciğerlere ulaştığında radon ve radondan türeyen ağır metallerin yaydığı yüksek enerjili alfalar vücudu içten ışınıyorlar.

⁴ Bu yazı boyunca kullanılan radyoaktivite, radyasyon, doz birim ve kavramlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler için Ek 1 ve 2'ye bk.

Radon Kaplıcalarındaki Uygulamalar Hastalara Yararlı mı?

Radon, iyileştirme amacıyla vücuda üç yolla giriyor: deri, akciğerler ve mide-barsak derisi yollarıyla. Kaplıcaların havuz sularındaki radon deri yoluyla kan dolaşımına giriyor. Ayrıca radon gazı (kuru) ve radon buharı uygulamalarıyla da radon hem deri ve hem de akciğerler yollarıyla kan dolaşımına ulaşıyor.

Radonlu suların hastalara içirilmesiyle, radon mide-barsak derisi yoluyla kan dolaşımına girmekte ise de bu yol daha az uygulanıyor.

Binalardaki havada radon derişiminin üst sınırı olarak genellikle 100 Bq/m³ kabul edilirken, örneğin Avusturyadaki Gastein bölgesindeki maden ocaklarındaki havada radon derişimi 740.000 Bq/m³ kadar çok yüksek bir değer gösteriyor. Benzer özellikler gösteren maden ocakları Almanyanın Sachsen eyaletinde, Karaormanlarda, Çekoslovakya'da, ABD'de ve daha birçok ülkede var.

Avrupadaki kaplıcalarda, 37°C kadar olan su sıcaklığıyla derideki kan dolaşımı uyarılarak vücuda deri yoluyla radonun işlemesi kolaylaştırılıyor. 34-41°C arasında radonlu buharın uygulandığı kaplıcalarda da radon yine deri yoluyla vücuda girmekte, solunum yoluyla alınan miktar ise çok az. En etkin radon uygulamaları ise, su sıcaklığının 37-42 °C arasında ve havanın neme doymuş olduğu kaplıcalarda solunum ve deri yoluyla radonun vücuda kolayca işlemesiyle sağlanıyor. Kaplıca sularındaki radon derişimi çoğunlukla litrede 700 ile 1600 Bq arasında. Radon gazı uygulamalarında radon derişimi en azından 37.000 Bq/m³ kadar.

Yukarda belirttiği gibi özellikle el, ayak ve omurga eklemlerindeki sertleşmenin ve sürekli romatizma ağrılarının (Bechterew hastalığı) giderilmesi, ayrıca kaslardaki sertleşme ve ağrılarının dindirilmesi, deri hastalıklarının giderilmesi, gözlerdeki yanmanın önlenmesi gibi daha birçok hastalığa radon banyo uygulamalarının iyi geldiği ileri sürülmekte.

Son zamanlarda radonun bu gibi hastalıkların iyileştirilmesinde etkili olduğu, nesnel klinik çalışmalarla da kanıtlanmakta. Buna bir örnek: Almanyadaki Radon Kaplıcası Schlemma'da yapılan ve radonun etkinliğini saptamayı amaçlayan bir kontrol çalışmasında boyun ve omurga ağrıları çeken 46 kişi, 4 hafta içinde herbiri 20 dakika süren 9 banyo alıyorlar (3.000 Bq/litre'lik radon derişimindeki ve 37 °C' deki su sıcaklığında). Aynı bir hasta grubuna (kontrol grubu) aynı sıcaklıkta, aynı sürelerde radonsuz su (çeşme suyu) uygulanıyor. 4 haftalık uygulama sonrası her iki gruptaki hastalarda belirgin bir iyileşme görülmezken, hastalar evlerine döndükten 2 ile 4 ay sonra radonlu suyla uygulama gören gruptakilerin ağrılarının eskiye oranla azaldığı hastalarca bildiriliyor.

Radon Vücutta Nasıl Etkili Oluyor?

Bu çeşit uygulamalar, hücre onarım ve yenileme mekanizmasını harekete geçirmeyi amaçlıyor. Radyoaktif bir asal gaz olan radon, deri ve akciğerlerden vücuda fiziksel difüzyonla girdikten sonra kan dolaşımıyla çabucak vücuda yayılıyor. Radon ve ondan türeyen ağır metal taneciklerinden salınan alfalar bir dizi etkileşme sonucu hücrelerde değişikliklere neden oluyorlar. Bunun sonucunda birçok hastanın iyileşme yolunda olduğu ya da kendini daha iyi hissettiği ileri sürülüyor.

Radyasyon Dozu Vücutta Nasıl Oluşuyor?

'Radyasyon Dozu' aslında iyonlaştırıcı radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsü. Radon kaplıcalarında vücudun aldığı radyasyon dozuna en büyük katkı, hücrelerde iyonizasyon yoluyla yoğun etkileşmeye neden olan alfalardan kaynaklanıyor. Helyum atomunun çekirdeklerinden başka bir şey olmayan alfalar 2 proton ve 2 nötrondan oluşuyor. Bunların hücrelere aktardığı enerji her mikrometre derinlik başına ortalama 150 keV¹ olup, bu değer enerjik elektronlar için olan 0,2 keV değeriyle karşılaştırıldığında, alfaların hücreye 750 kat daha çok enerji aktardıkları görülüyor. Ancak alfalar dokularda çok az yol alabildiklerinden hücrelerin çoğu bunlardan etkilenmiyor (1eV = 1 elektron Volt, radyasyon enerjisi birimi olup 1 elektronun 1 Voltluk potansiyel farkı altında kazanacağı çok küçük bir enerji miktarı:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule} ; 1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV} ; 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}.$$

Diğer yandan bir alfa taneciği 5 µm (mikro metre) büyüklüğündeki (çok yakınındaki) bir hücreyi geçerken hücrede 750 keV' luk, hücre için büyük bir enerji depoluyor. Bu, 25.000 adet iyonlaştırma demek (atom düzeyi için oldukça büyük). Bunun ise bir alfanın gidebileceği ve 35 µm' kadarlık yoldaki ardısıra gelen hücre tabakalarında büyük bir biyolojik etki yaratması beklenir (Bk. Ek 2).

Radondan türeyen kısa yarılanma süreli ağır metallerin sonucusu olan Po 214'den, yarılanma süresi 22,3 yıl olan ve beta ışınları yayan Pb 210 oluşmakta. Ancak bunun miktarı ve dolayısıyla etkisi, vücutta zaten bulunan ve beta yayan K 40'ın yanında çok küçük kalıyor.

Genellikle, radon kaplıcalarında 10 kez banyo yapıldığında alınabilecek radyasyon dozları hesaplanarak ortalama değerler elde edilmeye çalışılıyor.



Deri ve Kana Geçen Radon Miktarı Ne Kadar?

Bir radon kaplıcasında deri yoluyla vücuda giren radon miktarı, nefesle akciğerlerden atılan havanın analiziyle belirlenebiliyor¹.

Örneğin litrede 415 Bq'lik radon derişimli bir termal suda 20 dakikalık bir banyo sırasında nefesle dışarı atılan havada ilk 5 ile 8 dakikalık sürede radon derişiminin gitgide artmakta olduğunu, 8 ile 20 dakika arasında ise 2,5 Bq/litre'lik kabaca sabit bir derişim oluştuğu saptanıyor². Banyodan sonraki sürede nefesteki radon derişiminin epey azalarak 50 dakika sonunda nefesle atılan havada radonun pek kalmadığı izleniyor.

Dakikada 5 litrelik nefes alış veriş (ya da solunum debisi) 380 Bq'ın dışarı atılmasına karşılık gelmekte ki bunun da 250 Bq'ı 20 dakikalık banyo süresinde vücuttan atılmakta. Doğal yollarla vücuttan ayrıca atılan radon miktarının, yukarıdaki toplamın % 10'u kadar olduğu kestirilmekte. Buradan $380 + 38 = 418$ Bq bulunur ki bu da sudan vücuda giren radon miktarına eşit olmalı.

Tek bir radon atomunun kanda ortalama olarak 5 dakika kaldığından gidilerek (bu süre, banyo süresiyle karıştırılmamalı), 6 litrelik kan hacmi için, banyo süresince kandaki ortalama radon derişiminin kabaca 17 Bq/litre olacağı bulunur.

Bu yaklaşık değer, radonun bir miktarının ilgili dokularda depolanması nedeniyle azalır ki yapılan ölçümler de bunu doğruluyor³. Banyo süresince radonun sudaki ve kandaki derişimi arasında lineer eğimli bir bağıntı varsayılarak, difüzyonla deriye işlediği ve böylece deride ortalama 216 Bq/litre'lik bir derişim oluştuğu kabul ediliyor. Ayrıca radondan türeyen kısa yarılanma süreli radyoizotopların da deride kaldığı kabul edildiğinde, herbir radon atom çekirdeğinin bozunumundan toplam olarak 19,2 MeV'luk bir enerjinin deride soğurulduğu ya da bunun radyasyon dozunu oluşturduğu hesaplanıyor.

Radondan türeyen ağır metal tanecikleri ise özellikle akciğerlere yerleşip yaydıkları alfa parçaları ve diğer ışınlarla uzun süre vücuda etkili oluyorlar (Şekil 4.3'ün sağ altındaki alfa yayan ağır metallerin yarılanma sürelerine ve çerçeve içindeki alfa enerjilerine bk.). Radon izotopları içinde en yoğun olan Rn 222'nin 3,8 günlük fiziksel yarılanma süresine karşılık, biyolojik yarılanma süresi (vücuda giren miktarın vücuttan yarısının atılana kadar geçen süre) oldukça kısa olup sadece 30 dakika kadar.

⁵ Janitzky (Krebs 1949, Dieterische Verlag, Wiesbaden) und Grunewald et al. (1995)'in ortaya koydukları yöntemle

⁶ Hofmann et al. (1999) Strahlenbelastung bei der Radontherapie; in Seminarband XXV "Umweltbelastung Radon" Kapitel Information Umwelt (1999); GSF.

⁷ Philipsborn et al. 2000 First Measurements of Radon Transfer Water-Skin-Blood-Air. 2000, Verlag TÜV Rheinland, Köln, Band I, 354-363

Radon'un Vücutta Oluşturduğu Radyasyon Dozu Ne Kadar?

Derideki bu derişim sonucu, 20 dakikalık bir banyo süresince, derinin ortalama olarak 0.8 μGy ' lik bir enerji dozu aldığı hesaplanıyor (Gray: Enerji dozu; 1 Gray = 1 Joule /1 kg, gama ve betalar için Bk. Ek 2)

20 dakikalık banyo süresince kandaki radon derişimi 17 Bq/litre ve banyodan sonraki 20 dakikada ise ortalama değer 8 Bq/litre kabul edildiğinde, kan hücrelerinin alacağı ortalama enerji dozu 0,1 μGy kadar.

415 Bq/litre derişimli banyo suyundan derinin dışyüzeyine tutunan radonun bozunma ürünlerinden (ağır metallerden) oluşan enerji dozunun, alfa spekrometrik ölçümlere göre 50 μGy olacağı hesaplanıyor.

Banyo suyundaki radon derişimi 1.600 Bq/litre olduğunda ve böyle bir banyoya ardısıra 10 kez girildiğinde, enerji dozunun en büyük bölümünü (2 mGy kadar) üstderi alırken, artakalan tüm deride ortalama soğurma sadece 30 μGy olup, kan hücrelerinin aldığı doz ise 4 μGy kadar.

Diğer yandan alfaların biyolojik etkinliğini gözönüne almak gerekiyor. Dokuda fazla yol alamadan soğrulan alfalar örneğin derinin üst yüzeyindeki hücrelere enerjilerinin tümünü aktarıp, bu hücrelerin içlerinde etkili olurlarken aynı enerjideki gamalar pek etkili olmadan bu hücreleri geçip gidiyorlar ve vücudun derinlerindeki dokulara enerjilerini gitgide azalarak aktarıyorlar. Bu nedenle üst derinin aldığı örneğin 1 mGy'lik alfa enerji dozu, alfaların iyonizasyon yoğunluğunun bir ölçüsü olan kalite katsayısı 20 ile çarpılarak deri için 20 mSv'lik 'Eşdeğer Doz' ya da 'Organ Dozu' bulunuyor (Organ Dozu aslında iyonlaştırıcı ışınların bu organı etkileme derecesinin bir ölçüsü). Diğer yandan organların/dokuların radyasyona duyarlığı farklı olduğundan, tüm vücudun etkilendiği dozu hesaplarken her bir organın 'Ağırlık Katsayısı'nı da gözönüne almak gerekiyor ki bu deri için 0,01 olduğundan 20 mSv'lik deri Eşdeğer Dozunun tüm Vücut Dozuna katkısı 0,2 mSv' lik Etkin Doz demek oluyor (Çizelge 1'in üst satırındaki değerlere bk.). Burada Ağırlık Katsayısının anlamı ise örneğin derinin 1 Sv'lik eşdeğer doz almasıyla, tüm vücut ışınlanmasında vücudun 0,01 Sv 'lik doz alması sonucu her iki durumda da beklenen kanser riskinin kabaca aynı olması. Buradan 'Etkin Dozun', tüm organizmanın etkilenmesinin bir ölçüsü olduğu görülüyor. 1.600 Bq/l derişimindeki radonlu suda 10 kez banyo yapılması durumunda organlarda biriken ağır metallerden ilgili organların alabileceği enerji dozlarının ise 1 ile 6 μGy arasında olabileceği hesaplanıyor.

Çizelge 3: Radon kaplıcalarında hastaların akciğerlerinin ve derilerinin aldığı Eşdeğer ve Etkin Dozlar (Bk. Ek 2) araştırmacıların yayımladığı Organ Doz değerlerinden gidilerek hesaplanmış olup, çizelgedeki radon kaplıcalarını ve oralardaki radon uygulama program ve uygulama sürelerini kapsıyor).⁸

| Radon uygulama Yöntemi | Eşdeğer Doz (mSv) | | Etkin Doz (mSv) | Araştırmayı Yapanlar / Kaynaklar |
|--|-------------------|---------|-----------------|---|
| | Akciğerler | Deri | | |
| Radon Kaplıcası/ Banyosu (Havuz Suyu Uygulaması /Kürü) 10 x 20 dakika <i>Gastein Yeraltı Termal Kaplıcasında (Avusturya)</i> (Suda: 662 Bq/litre Rn 222) | 0,05 | 20 | 0,2 | Hofmann, 1999 |
| 10 x 20 dakika <i>Bad Schlemmer</i> <i>Termal-Kaplıcası / Almanya</i> 1550 (1300-1850) Bq/litre Rn 222 suda çözülmüş) | 0,10 | 50 | 0,5 | Matthias, 2004; Hofmann, 1999; (süren araştırma) |
| Radon Solunum Uygulaması (Kürü) 12 x 1 saat <i>Gastein Yeraltı Termal Kaplıcasında</i> (44 kBq/m ³ Rn 222 Kaplıcadaki havada) | 10 - | 10 - | 1,5 1,8 | Hofmann, 1997; Bu yazıdaki araştırma sonuçları Brandmaier, 2001 |

⁸ A.Kaul, Radon als Heilmittel (Vorabdruck, Taslak 2004)

Çizelge 4: Kaplıcalarda personelin yılda aldığı Etkin Doz değerleri/Bk. Ek 2/

| Radon uygulama yöntemi | Etkin Doz/yıl (mSv) | Araştırmayı yapanlar |
|---|---------------------|---|
| Kaplıca/Banyo Uygulaması (kürü) | | |
| Sibyl kaplıcası Almanya 800 ± 380 Bq/m ³ Rn 222 kaplıcadaki havada | En çok 2,5 | Haninger et al., 1998 |
| Kaplıca havuzlu salonunda yılda 2000 saat kalındığı varsayılarak | 0,25 | Just et al., 2001; von Philipsborn, 2004 |
| Kaplıca havuzlu salonundaki 450 Bq/m ³ Rn 222 kons. havada, yılda 400 saat kalındığı varsayılarak | | |



Radyasyon Dozunu Azaltıcı Korunma Önlemleri Neler?

Radon kaplıcalarında, Radon 222 ve ondan türeyen özellikle kısa yarılanma süreli radyoizotopların yaydıkları alfa parçacıklarının, vücutta iyileştirme uygulamaları sırasında radyasyon dozları oluşturdukları ve bunlarla ilgili değerler yukarıda açıklandı.

Radyasyon riski hem hasta ve hem de kaplıcalarda görevli personel için hesaplanıp radyasyon dozunu azaltıcı korunma önlemleri alınmalı. Bu önlemler çok çeşitli olabiliyor:

- Hastayı korumakla ilgili olarak, doktorun, hastanın alabileceği dozu ve riski hesaplayarak, bunun hastaya yarar mı yoksa zarar mı getireceğini tartması ve radon uygulamasına buna göre karar vermesi
- Personeli korumakla ilgili olarak, yetkili radyasyon fizikçisinin, radyasyondan korunma yöntemlerini uygulaması gerekiyor ki bu da radyasyondan korunma önlemlerinin optimize edilmesi ve dozun kabul edilebilir bir değerle sınırlandırılması demek (ICRP 1991)
- Kaplıcalarda ortaya çıkan radon derişimleri, hastalar ve personel için geçerli olmakla birlikte personel her hasta için çok daha kısa süre radonlu su ve buharlarla temasta olmalı ve özellikle yüksek radon derişimli kaplıcalarda, birçok hasta için görev yapan personeli koruyucu önlemler alınmalı.

Etkin Dozun, Doğal Radyasyon Dozuyla Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi ve Kansere Riski?

Bir hastanın vücudunun etkilenebileceği etkin dozun büyüklüğü, ilgili radon kaplıcasındaki uygulama yöntemiyle su ve havadaki radon derişimine bağlı olduğu yukarıda açıklandı .

Su banyosu uygulamasında (küründe) Etkin Doz bu örneklerde 0,2 ile 0,5 mSv arasında kalırken, solunum yoluyla yapılan uygulamada bu 2 mSv kadar. Yılda en çok bir kez olabilecek radon uygulamasında alınabilecek etkin dozların, doğal kaynaklardan alınmakta olan yıllık ortalama 2,4 mSv'lik dozun epey altında kaldığı görülüyor⁹. Diğer yandan 'Doğal Radyasyon Dozu' dünyanın çeşitli yörelerinde genellikle yılda 1 ile 10 mSv arasında değişimler göstermekte olup bazı bölgelerde 10 mSv'in de çok üstünde dozlar izlenebiliyor. Buradan yukarıdaki radon kaplıcalarında alınan 'etkin doz' ile 'doğal radyasyon dozu' toplamının, doğal radyasyon dozunun değişim aralığında kaldığı sonucu çıkıyor. Evrim biyolojisi yönünden çok düşük değerlerdeki doğal radyasyon dozuna karşı hücrelerde uyum sağlama mekanizmasının bulunduğu ve canlıların çevrelerindeki yaşam koşullarına uyduğu kabul ediliyor. Bu kabul, akciğerlerdeki kanser riski için de geçerli ve riskin çok düşük olduğunu aşağıdaki hesaplama da gösteriyor.

Akciğerlerin aldığı radyasyon dozu nedeniyle akciğer kanserine yakalanıp bunun ölüme sonuçlanmasıyla ilgili olarak ICRP(1991)¹⁰ bilimsel raporunda 85×10^{-4} /Sv değeri veriliyor. '**Risk katsayısı**' denilen bu değerin anlamı, örneğin 10.000 kişiden herbirinin akciğerleri 1 Sv'lik bir Eşdeğer Doz aldıklarında, bunlardan 'ortalama olarak 85'inde akciğer kanserinden ölüm görülebilir' kestirimi yapılıyor.

Kaplıcalarda radon solunum uygulaması gören hastalar için de yukarıdaki Risk Katsayısı kullanılarak bir risk hesabı yapılabilir:

Solunum uygulaması gören hastaların akciğerlerinin aldığı 10 mSv'e karşılık (Bk. Çizelge 1) orantıyla 10×10^{-3} Sv x 85×10^{-4} /Sv = 0,00009 ya da kabaca % 0,01 bulunur. Bunun anlamı her 10 000 kişiye yukarıdaki koşullarda radon solunumu uygulanması durumunda ortalama 1 kişinin akciğer kanserinden ölebileceği. Bu değer, Almanya'da kendiliğinden, ya da birdenbire ortaya çıkan akciğer kanseri ve sonrasındaki ölüm olasılığı yanında çok küçük kalıyor (Kadınlarda akciğer kanser riski % 1,6, erkeklerde % 6,8). Kadın ve erkekler için ortalama değer olarak % 4 alındığında, Almanya'da her 10 000 kişiden ortalama olarak 400'ünün herhangi bir nedenle akciğer

⁹ UNSCEAR, 2000; Kaul, 2003 Natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition; in Handbuch Diagnostische Radiologie Strahlungsphysik Springer Verlag Berlin, 305-312

¹⁰ Uluslararası Radyolojik Korunma Kurulu Bilimsel Raporu.

kanserine yakalanıp öleceği sonucu çıkıyor. Buradan radon solunum uygulaması ek riski olarak: $0,0001 : 0,04 = 1/400$ bulunur ki bu da her 400 akciğer kanserinden ölüme karşılık, radon solunum uygulaması sonucu ortalama olarak 1 kişinin ölebileceği anlamına geliyor. Bu örnekteki, 400 kişiden hangisinin radon solunum uygulaması sonucu kansere yakalanıp ölebileceğini kanıtlamak ise olanaksız.



Akciğerler ve başka organlar için belirlenen bu çeşit '**risk katsayıları**', Japonya'da 1945 yılında atılan atom bombalarından kurtulanlar üzerinde sürekli olarak yapılan epidemiyolojik çalışmalara dayanıyor. Japonya'da ortaya çıkan çok yüksek dozlardan gidilerek, başka yerlerdeki çok düşük dozlar için bulunan bu risk katsayıları çok kaba kestirimler olup, elde tutarlı başka bir seçenek olmadığından istatistiksel bir hesaplama aracı olarak kullanılıyor (Ayrıntılı açıklamalar için bkz: Bölüm 2 ve Ek 11).

Türkiye'de Avrupa'dakilere Benzer Radon Kaplıcaları Var mı?

Türkiyedeki Sağlık Bakanlığının izniyle çalışan 80 kadar kaplıcada Avrupadaki gibi radonlu su, radonlu gaz (kürü) ve buharla bir uygulama yapılmıyor ve bu konuda derinlemesine araştırmalar da bulunmuyor¹¹. Gerek radon değişimleri gerekse uygulama yöntemleriyle, hasta ve personelin alabilecekleri radyasyon dozlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler de (sınırlı bir tez çalışması dışında)¹² ne yazık ki yok. Ayrıca Türkiyedeki kaplıcalarla ilgili tanıtım yazılarında, bir radon uygulaması yapıldığı da zaten belirtilmiyor. Sadece bazı kaplıcaların sularında radon bulunduğu ve 'Bünyesinde Radon (gençleştirilen gaz) bulundurmasından dolayı hücreleri yenilemekte, hormonları aktive etmektedir' deniyor¹³.

Türkiye'de adı 'Radon Termal Banyosu' olan bir kaplıca Kuşadası Davutlar'da var. Ancak bu kaplıcanın suyunda litrede 2 Bq radon bulunduğu¹⁴ internet sayfasında veriliyor. Bu değer, birçok içme suyunun radon değişim düzeyindeki kadar az olduğundan bu kaplıcaya radon kaplıcası denemeyeceği açık. Nitekim İzmir İli içme ve kullanma sularındaki 0,3 ile 6 Bq/litre arasındaki Radon 222 değerleri bu kaplıcanın suyundakinden daha yüksek¹⁵.

¹¹ Prof. M. Z. Karagülle, özel yazışma

¹² N. Çelebi, Doktora Tezinin (1995) bir bölümü, özel yazışma

¹³ Kuşadası Davutlar Radon Termal Banyosu internet sayfasından

¹⁴ Sudan alınan örneğin bir laboratuvara yollanması ve geçen sürede, sudaki radonun azalması sonucu 2 Bq/litre gerçek değeri göstermiyor (Tesisiten Sn.H.Demirhan ile olan tel. görüşmesi)

¹⁵ M. M. Saç, M. N. Kumru Ege Univ. Nükl. Bilim Enst. İzmir

Türkiyedeki bazı kaplıcaların sularında ölçülen¹⁶ radon 222 derişim değerleri, **herbiri Bq/litre olarak:**



Kaplıcalar:

Kayseri Bayramhacı: 380

Muğla Köyceğiz Sultaniye: 335

Çanakkale Kestanbol: 240

Afyon Sandıklı: 160

(Ölçüm yapılan birkaç başka kaplıcadaki radon değerleri litrede 100 Bq' den daha da azdır)

Yukardaki tüm değerler ölçümlerin yapılmış olduğu günler için geçerli olup, zamanla değişimleri ve hata oranları henüz incelenememiş.

Avrupadaki radon uygulamalarının yapıldığı kaplıcalarda, radon derişimleri genellikle litrede 666 ile 3000 Bq arasında değişiyor. Almanyadaki Kaplıcalar Yönetmeliği, Radon Kaplıcaları için en az radon derişimleri olarak kaplıca suyunda 666 Bq/litre, kaplıca havasında da 37 000 Bq/m³ değerlerini öngörüyor. Ancak bu düzeydeki oldukça yüksek derişimleri radonun vücuda etkisi beklendiğinden Türkiye'de daha düşük radon değerleri gösteren kaplıcalardan hiçbirini 'Avrupa'daki radon kaplıcalarının' özelliğini taşıyor. Türkiyedeki yeni Kaplıcalar Yönetmeliği (R.G 9.12.2004/25665) böyle bir radon sınır değerini artık öngörmüyor. Ancak, böyle bir sınırın olmaması, düşük radon derişimli kaplıcaları, radon kaplıcası sınıfına sokmakta ve az radonlu içme sularıyla bile sanki radon uygulaması yapılabilir sonucu çıkarılabiliyor. Yukardaki 'içmeler' adındaki sular ise, içme suları olarak kullanılmıyor, yalnızca geleneksel kaplıca tedavilerinde kullanılıyorlar¹⁷. Ancak bu iyileştirme programlarının, hastaların ve personelin fazla radyasyon dozu almalarını önleyecek önlemleri içerip içermediğinin araştırılması gerekiyor.

¹⁶ Dr. N. Çelebi'nin katkısıyla Türkiye Maden Suları kitaplarından alınan değerler ve Developing Measurement Techniques for Uranium, Radium and Radon in Environmental Samples. Ph.D.Thesis. I.U. Science and Engineering Faculty, Physics Department, 1995./ İşaretli olan dışındakiler için referans : İ.Ü. Tıp Fakültesi, Hidroklimatoloji Kürsüsü Türkiye Maden Suları 12/1971, Kağıt Basım İşleri A.ř., İstanbul (5 ciltlik kitap)

¹⁷ Prof. M. Z. Karagülle, özel yazışma

Bazı kaplıcalardaki radyoaktivite değerleri (N.Çelebi-Dip Notuna bkz):

| Kaplıca | Toplam Alpha derişimi (pCi/litre) | Toplam Beta derişimi (pCi/litre) | Ra-226 (pCi/litre) | Rn-222 (pCi/litre) |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| Afyon Sandıklı Çelikli Hamam | 97,58 ±3.43 | 52,18± 3,05 | 12,65 | 4331 |
| Konya ılıgın kaplıcası | 30,59± 2,45 | 15,21± 2,63 | 6,21 | 2210 |
| Kayseri bayramhacı kaplıcası | 17,27± 2,72 | 24,02± 3,80 | 3,16 | 10243 |
| Rize-Çamlıhemşin, Ayder Kaplıcası | 1,71± 0,51 | 9,82± 2,15 | 0,20 | 2146 |
| Siirt –Hista Kaplıcası | 491,08 ±18,76 | 112,50± 5,77 | 63,46 | 1471,0 |
| İzmir-Balçova Agamemnon | 5,75± 1,24 | 17,38 ±1,14 | | 68 |
| İzmir Dikili Nebiler İlıcası | 10,27± 1,31 | 10,77± 1,45 | | 1377 |
| Muğla köyçeğiz sultanıye | 170,48± 14,62 | 148,12± 12,70 | 53,52 | 9052 |
| Tunceli-Mazgirt, Bağıın Kaplıcası | 75,42± 0,42 | 51,35± 5,88 | 6,63 | 41 |
| Çanakkale Kestanbol Kaplıcası (Çelebi) | 19,38 Bq/L | 25,92 Bq/L | 3,06 Bq/L | 243.3 Bq/L |

Öneriler

Yukarda hesaplanan çok küçük kanser riski değerlerine rağmen, koruyucu bir önlem olarak, yüksek radyoaktifiteli bir radon kaplıcasında ve uzun süreli uygulamalarda, ölçüm ve hesapların yapılip yetkili doktor ve radyasyon fizikçilerinin belirlemelerine göre hastalara radon uygulamasının yapılip yapılmamasına (ya da hangi yöntem ve dozun uygulanacağına) karar verilmesi gerekir.

Diğer yandan yukarda sıralanan 'İçmelerdeki' radon derişim değerleri çok yüksek. İçme sularındaki Rn 222 üstsınır değeri 22 Bq/litre olduğundan bu 'İçmeler' adındaki sular hernekadar kaplıca suları olarak kullanıldığı belirtilmiş ise de, gerçekten çevredeki halk tarafından soğutulduktan sonra



(radon miktarı bir miktar azalsa da), maden suları gibi içilip içilmediğini ve içilmemesi için herhangi bir önlem alınıp alınmadığının da araştırılması yararlı olur.

Türkiyedeki 80 kadar kaplıcadaki su ve kapalı yerlerin havasında radon ölçümlerinin yapılması, bunlardan radon değerleri yüksek olanlarda sistematik ölçümlerin (örneğin aylık) yapılarak hastalara uygulanan programların ve buralarda çalışan personelin çalışma koşullarının gözden geçirilerek, gerekiyorsa yukarıda açıklanan önlemlerin alınması önerilir. Bu amaçla, Türkiye Atom Enerjisi Kurumundan, Türkiyedeki tüm kaplıcaları ve içmeleri içeren, başta radon olmak üzere bir radyoaktivite ölçüm ve değerlendirme programını başlatıp ayrıntılı bilimsel ve teknik çalışmalara önyak olması ve gerekiyorsa halkı ve çalışanları koruyucu ilgili önlemleri aldırması beklenir. Üniversitelerin ilgili Bölümlerinin ve diğer Araştırma Kurumlarının da çevrelerindeki kaplıcalarla ilgili olarak, bu çalışmalara katılması ve durumun bilimsel olarak derinlemesine incelenmesi ayrıca önerilir.

Kaynaklar:

Kaynaklar için dip notlarına bk. bk. , ayrıca:

TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisi, Radon Kaplıcaları, Mayıs 2007, Atakan, Y.

ANA BÖLÜM II

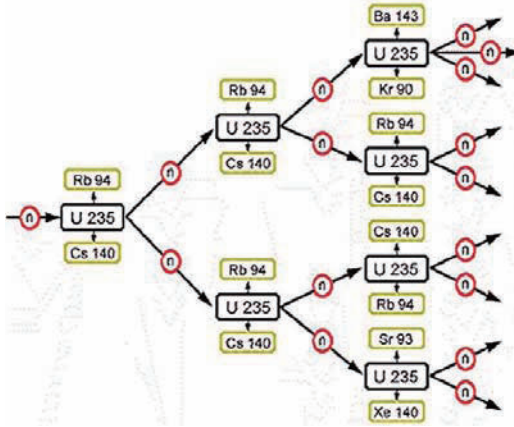
NÜKLEER SANTRALLAR



BÖLÜM 5

NÜKLEER GÜÇ SANTRALI (NGS) ÇALIŞIRKEN ORTAYA ÇIKAN RADYOAKTİF MADDELER

Zenginleştirilmiş uranyum 235 izotopunun kullanıldığı reaktörlerde, yavaş nötronlarla bombardımanla bölünme (filyon) sonucu olarak ortaya, biri daha ağır (Sezyum 137, Iyot 131 gibi) diğeri daha hafif (Rb 94, Br 87 gibi) bir dizi radyoizotoptan (**bölünme ürünleri**) girici iyonlaştırıcı ışınlar yayınlanıyor. Sayıları 200'e varan yüksek aktivitedeki 'bölünme ürünleri' 35 kadar elementin radyoizotopları olarak ortaya çıkıyor.



Şek.5.1: U 235 çekirdekleri nötronların etkisiyle bölünerek farklı atom çekirdekleri üretiyorlar (Filyon ya da bölünme olayı)

Bir nükleer santralda, 'normal işletme' sırasında, ortaya çıkan çok çeşitli radyoaktif maddelerin (radyoizotopların) neredeyse tümü, yakıt elemanlarında, reaktörde ve bunları içine alan kalın çelik duvarlı silindirden ('Reaktör kabında') kalıyor. Reaktörü soğutan suya difüzyon ve sızıntıyla çok az miktarda geçen radyoizotoplar, bu suyla, ana ve yardımcı sistemlerdeki pompa, boru, vana ve depolara dağılıyorlar ve bunların içinde bulunduğu yapıların iç yüzeylerine ve havasına sızabiliyorlar.

Doğal uranyumda U 235 radyoizotopunun oranı az olduğundan (% 0,7), NGS'da gerekli enerjinin ortaya çıkarılabilmesi için % 3,5'a kadar zenginleştirilmiş U 235 kullanılıyor. Reaktörlerdeki uranyumun arta kalanı ise (% 96,5) nötronlarla bölünmeyen U 238'den oluşuyor. Reaktörde kullanıldıktan sonra, çok yüksek radyoaktivitesinin bozunmayla kendiliğinden azalması için uzun bir süre nükleer santraldaki 'dinlenme havuzlarında' bekletilen yakıt elemanları çubuklarındaki 'yanmış uranyum'da ise, kabaca % 95 U 238, % 0,8 U 235, % 0,9 Pu, % 3,2 Bölünme Ürünleri ve % 0,1 kadar da reaktörde oluşan Aktinidler (ekirdeklerindeki proton sayıları 89 ile 109 arasında olan 'yapay elementler') bulunuyor. 200 kadar 'bölünme ürünleri'nin % 20'si asal gaz.

Öte yandan reaktörde atom çekirdeğinin bölünmesi (fasyon) sırasında yayınlanan nötronların, yakınlarındaki metal malzeme içinde çok az miktarda bulunan kobalt, nikel ve mangan gibi iz (eser) elementleri bombardıman etmesi sonucu bunların atom çekirdeklerinde tepkimelerle (aktivasyonla) başka radyoizotoplar ortaya çıkıyor. Ayrıca elik boruların iç çeperlerinden zamanla aşınma sonucu soğutma suyuna karışan çok az miktardaki bu cins iz elementler, suyun reaktörde dolaşımı sırasında yine nötronların etkisiyle radyoizotoplara dönüşüyorlar. Aktivasyon ya da korozyon ürünleri denilen bu cins radyoizotoplara örnekler: kobalt 60, nikel 59 ve mangan 54. Reaktörün yakınındaki havada bulunan bazı elementlerden de yine nötron bombardımanıyla (aktivasyonla) argon 41 gibi radyoizotoplar da oluşuyor.

Korozyon ürünleri de, bölünme ürünleri gibi, sızıntılarla çeşitli sistemlere ve santral içindeki havaya az da olsa bir miktar karışıyorlar. Bunlar da bölünme ürünleri gibi yoğun radyasyon kaynakları. Özellikle vana, armatur ve boru dirseklerinde biriken korozyon ürünleri içindeki radyoaktif maddelerin saldığı girici gama ışınlarından insanda oluşan radyasyon dozlarının yüksek olması sonucu, santralin yıllık bakım ve onarım çalışmalarında, personelin çalışma sürelerinin kısaltılması, ek zırhlama yapılması ya da uzaktan kontrollü robotların kullanılması gerekebiliyor.

Reaktör kabını, soğutma suyu ana pompalarını, buhar üreticilerini güvenlik sistemleriyle birlikte içine alan beton ve elik kılıflı 'Güvenlik Küresindeki'¹ havanın basıncı, normal hava basıncının biraz altında tutularak, hava akımı dışardan içeriye doğru yönlendiriliyor ve böylelikle herhangi bir sızıntının dışarıya ulaşması önleniyor.


U 238 nötronlarla bombardıman edildiğinde bölünmüyor, ancak bundan bir miktar U 239 oluşuyor. Beta salan U 239 ise önce Np 239 'a sonra o da

¹ Güvenlik küresi, silindiri', Güvenlik Kalkanı, Kılıfı, Binası da deniyor (Containment): Tüm reaktörü, soğutma sistemleri, ana pompaları ve buhar üreticileriyle ve diğer güvenlik sistemleriyle birlikte içine alan '1 m betondan ve 2 cm' kadar çelikten duvarlı, 50 m kadar çaplı, santraldaki ana yapı.

beta salarak Pu 239'a dönüşüyor. Pu 239 ise U 235 gibi nötronların bombardımanıya bölünebiliyor.²

Reaktörlerdeki çok çeşitli teknik ve yönetim önlemleriyle, çalışanların etkilenebileceği radyasyon dozları azaltılarak sınırlanıyor (zırlama, reaktör çalışırken bazı yerlere girmeme, radyasyondan korunma yol ve yöntemlerine kesinlikle uyulması gibi). Reaktör devre ve binalarındaki hava ve sular, önce ilgili aygıtlarla radyoaktif maddelerden büyük oranda arındırılarak ancak ölçümler yapıldıktan sonra kontrollü bir şekilde izin verilen sınır değerlerin çok altında kalınarak çevreye salınıyor. **Böylece çevrede yaşayan halkın etkilenebileceği radyasyon dozu azaltılarak iyice düşürülüyor (Almanya'da sınır değer: hava ve su için ayrı ayrı olmak üzere 0,03 mSv/yıl).**

Sınır Değer Nasıl Belirleniyor?

Nükleer bir santraldan işletme sırasında çevreye yıl boyunca, arındırılarak, kontrollü ölçümler yapıldıktan sonra salınan baca gazları ve atık sular içindeki son derece az radyoaktif maddelerin, çevredeki toprak ve sulara ulaşan miktarları yıı ayrı önce hesaplanıyor. Sonra bu çok az miktardaki radyoaktif maddelerin topraktan ve havadan ne oranda, çevrede yetişen besinlere geçtiği, yenilip içilmesi ve havanın solunması yollarıyla, insan vücuduna ne oranda girdiği ve bunlardan insanda ne büyüklükte dozlar oluştuğu hesaplarla belirleniyor. Bu yapılırken baca gazlarının en çok etkileyebileceği rüzgâr ve akarsu yönünde, santrale çok yakın bir yerleşim yeri seçiliyor. Baca gazları ve atık su yollarından herbiri için, bir kişinin vücudunda oluşabilecek radyasyon dozunun 0,0  Sv'lik sınır değerinin altında kalınması gerekiyor. Ya da başka bir deyimle: 'Santraldan çevreye verilecek atıklardaki radyoaktivite miktarı, yapılan ölçüm ve hesaplamalara göre o değerde olmalı ki, bu sınır değerler aşılmamasın.

Örneğin 2004 yılında Almanya'daki 20 kadar Nükleer Santralin herbirinin baca gazları yoluyla, (izin verilen radyoaktivite sınır değerleri altında kalınarak) çevresine saldığı çeşitli radyoizotopların o yörede yaşayanların vücutlarında oluşturabileceği doz ortalama olarak 0,005 mSv olarak hesaplanmıştır. Bu doz değeri, yukardaki sınır değerinin % 2'sinden de küçüktür. Çevredeki akarsulara verilen aktiviteleri çok düşük düzeydeki radyoaktif maddeler yoluyla 2004 yılında o yörede yaşayan halk için hesaplanan doz değeri ise: 0,0007 mSv olup, bu da sınır değerinin % 0,3 ' den de küçüktür (Ayrıntılar aşağıdaki bölümde).

² Reaktörlerde çok az miktarda oluşan ve diğer Pu izotoplarıyla birlikte bulunan Pu 239'dan nükleer bomba yapılabileceği medyada sık sık yer almakta. Ancak bu çok zor ve verimi düşük bir iş (Daha fazla bilgi için TÜbitak Bilim ve Teknik Dergisi Ağustos 2004 Ekindeki Prof.Dr.Vural Altın'ın açıklamalarına bakılabilir).

Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Radyoaktivitenin Sınırlanması / Almanya'daki Otomatik Ölçüm Sistemleri ve Çevrede Yaşayanlarda Oluşan Dozlar

Bu yazıda, Almanya'daki 1300 MW_e'lik³ (basıncılı sulu) bir nükleer santral örneğiyle, santraldaki havalandırma ve gaz sistemlerinden bacaya bağlanan ana kanallarındaki santral bacasındaki radyoaktivite ölçüm sistemleri açıklanıyor. Ayrıca atık suyla ilgili ölçümler ve önlemler ana hatlarıyla veriliyor. Öte yandan Almanya'da son 30-40 yıldır çalışan ve bu süre boyunca yeni tekniklerle sürekli geliştirilen yüksek düzeydeki güvenlik sistemleri ve aygıtlarıyla ve alınan çeşitli önlemler sonucu hiçbir önemli kaza geçirmemiş 20 kadar nükleer santralin, çevreye saldıkları radyoaktivite miktarları 2006 yılı örneğiyle gözden geçiriliyor. Bunlardan, en kötümser varsayımlara göre seçilen yakın çevredeki yerlerde yaşadığı düşünölen kişilerin vücutlarında oluşabilecek 'radyasyon dozları', sınır değerlerle karşılaştırılarak her bir nükleer santral için yazının sonundaki grafiklerde 'üst değerler olarak' gösteriliyor.

Santral Dışına Salınacak Radyoaktivitenin Sınırlanması

Nükleer santral içindeki çeşitli sistem devrelerinde ve binaların havasındaki radyoizotoplar, bir dizi aktif karbon filtreleriyle, arındırma ve yıkama teknikleriyle tutulup santralin yan binalarındaki ilgili yardımcı sistemlerin içinde depolanıyor. Ayrıca bir dizi 'U-borulu geciktirme sistemiyle', özellikle kısa yarılanma süreli asal gazların bu sistemde bir süre bekletildikten sonra kendiliğinden radyoaktivite özelliğini yitirmeleri sağlanıyor. Atık hava, santralin yüksek bacasından (100-150 m) havaya, atık sular da atık su deposu borusundan yakındaki ırmağa, ancak içindeki radyoaktif madde düzeyi arındırma sistemleriyle iyice düşüröldükten sonra, radyoaktivite ölçüm sistemleriyle sürekli kontrol edilerek salınıyor. Üst sınır değerlere ulaşılmadan önce olabilecek radyoaktivite artışları monitorların ön alarm uyarılarıyla belirlendiğinde, santral dışına verilen hava ya da su otomatikman kesiliyor. Bunlar santral içindeki arıtma ya da bekletme sistemlerinden geçirildikten, ancak radyoaktiviteleri düşüröldükten sonra dışarıya kontrollü olarak veriliyor.

Nükleer Santraldan Çevreye Hangi Radyoizotoplar Salınıyor?

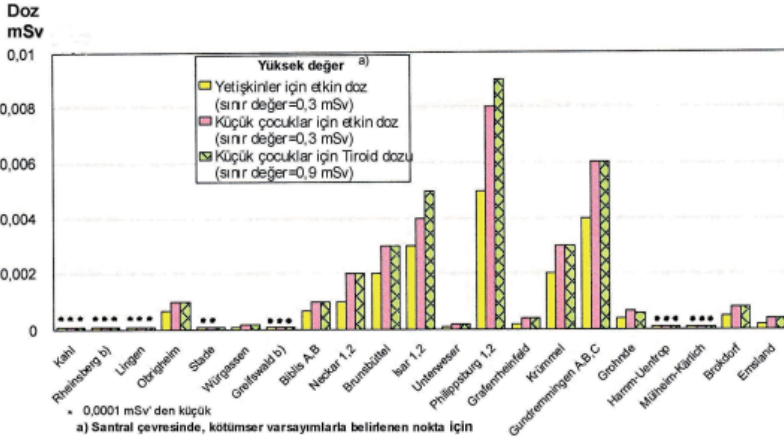
Nükleer santralin normal işletilmesi sırasında santraldaki sistemlerde ortaya çıkan radyoaktif maddelerin son derece az bir bölümü bacadan havaya ve atık su borusundan da yakındaki ırmağa salınıyor.

³ Altındaki 'e' reaktörün ısısal değil,elektriksel gücünü belirtiyor.

Baca Yoluyla Çevreye Salınan Radyoaktif Maddeler

- 1 Radyoaktif asal gazlar, özellikle Kr 85 ve Xe 133; trityum(H 3), karbon 14 (C 14)
- 2 Radyoaktif aerosollar (havadaki çok küçük taneciklere tutunan örneğin Co 60, Mn 54)
- 3 Radyoaktif iyot (I 131)

Santralin yüksek bacasından kontrollü olarak salınan 'atık hava'daki bu çeşit radyoizotoplar çevredeki havaya karışıp, hava akımlarıyla seyreliyor. Bunların toprağa ne miktarda dağılıp serpilecekleri, bacadan atılan miktara, bacanın yüksekliğine, santraldan uzaklığa, hava şartlarına ve serpentinin kuru ya da yaş olma durumuna göre değişebiliyor. Toprakta en çok biriken miktar, etkin rüzgâr yönünde santraldan 1-2 km uzaklıkta olup radyoizotopların insanda oluşturabilecekleri radyasyon dozunun da buralarda en çok olacağı hesaplanıyor. Ancak en kötümser varsayımlarla seçilen ve genellikle kimsenin yaşamadığı buradaki radyasyon dozunun bile, ilgili yönetmeliğe göre izin verilen sınır değerinin altında kalması gerekiyor ve Almanya'daki son 40 yıllık deneyimlere göre de bu böyledir (Bk. **Şekil 5.2** ve 5.3/ Bu bölümdeki şekiller Kaynak 4'ten).

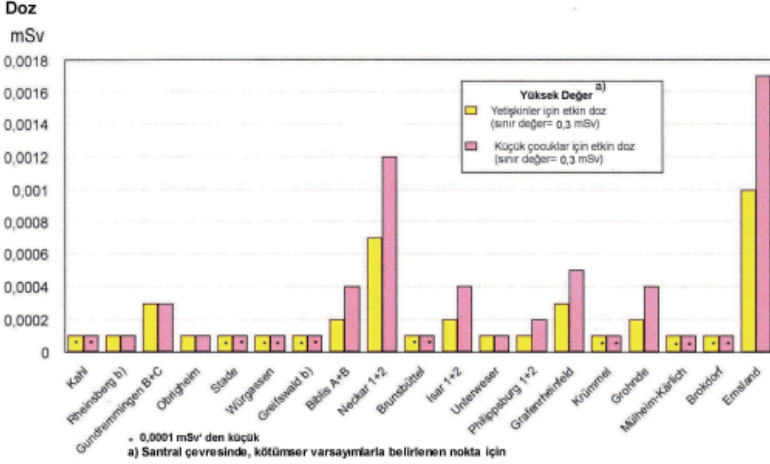


Şekil 5.2

Atık Su Borusu (Kanalı) Yoluyla Çevreye Salınan Radyoaktif Maddeler

Sudaki trityum (H 3) ile başka radyoizotoplar örneğin: Co 60, Mn 54, Zn 65, Cs 137 ve Sr 90 santral yakınındaki ırmağa salınıyor. Ancak buna, atık su depolama yerinde sudan örnek alınıp ölçüm yapıldıktan sonra radyoaktivitesi sınır değerlerin altındaysa izin veriliyor.

İrmaklara, oldukça arıtılmış sularla salınan radyoizotopların cins ve miktarları, reaktörün cinsine, gücüne ve yıl boyunca işletilme tarzı ve süresine bağlı olarak değişiyor.



şek.5.3

Sınır Değerler

Bir nükleer santraldan çevreye baca gazları ve sular yoluyla hangi radyoizotoptan (ya da radyoizotop grubundan) en çok ne miktarda salınabileceğini yetkili devlet kurumu belirliyor ve santralin çalışması süresince denetliyor. Yeni bir nükleer santral işletmeye açılmadan önce yetkili kurum, sınır değerleri, benzer santrallardaki uzun süreli deneyimleri gözönüne alarak hesaplayıp belirliyor. Bunlara 'izin verilen sınır değerler' deniyor. Nükleer santralin normal işletilmesi sırasında, bir radyoizotop cinsi ya da izotop grubu için, çevreye saldığı radyoaktivite miktarı, deneyimlere göre genellikle bu sınır değerlerin yüzde birkaçı kadar az düzeyde kalıyor (Çizelge'ye bk.). Yetkili devlet kurumu, çevreye bir yıl boyunca salınan gerçek radyoaktif madde miktarlarından giderek (bunlar bacadan ve atık su deposundan alınan örneklerin laboratuvarında daha ayrıntılı ölçümleriyle belirleniyor), nükleer santral çevresinde yaşayanların o yıl içinde alabilecekleri radyasyon dozlarının 'üst değerini' hesaplıyor. Herbir nükleer santral için (yılda Becquerel olarak)⁴ öngörülen 'izin verilen sınır değerler'den başka, bir de ilgili radyasyondan korunma yönetmelięine⁵ göre çevredeki halktan herhangi bir kişinin yılda en çok alabileceği 'radyasyon dozu üst sınırı' gözönüne alınıyor. Almanya'da ilgili yönetmeliğe göre bu sınır değer atık hava veya atık sular yollarından

⁴ Becquerel (Bq): Saniyede 1 adet atom çekirdeği bozunması

⁵ Strahlenschutzverordnung §47 (2001) Almanya Radyasyondan Korunma Yönetmeliği

herbiri için yılda 0,3 mSv (miliSievert)⁶. Bunun anlamı, nükleer santraldan çevreye ulaşan radyoizotopların etkin rüzgâr yönünde, 1-2 km uzağındaki ‘radyoaktivitenin göreceli olarak en yoğun olduğu hesaplanan bölgede’ sürekli olarak yaşadığı ve orada yetişen yiyeceklerle beslendiği varsayılan bir kişinin atık hava veya atık su yoluyla etkilenecek yılda alabileceği radyasyon dozu 0,3 mSv’in altında kalmalı (Aslında orada kimse yaşamıyor, çünkü nükleer santral kurulmadan önce yer ona göre seçiliyor). Bu 0,3 mSv’lik sınıır değer, Almanya’da doğadan alınan yıllık 2,1 mSv’lik ortalama radyasyon dozunun sadece normal değişim aralığı kadar az: $2,1 \pm 0,3$ mSv.

Çizelge 5.1 : Basınçlı sulu 1360 MWe ,lik bir santraldan 1 yıl boyunca çevreye salınan radyoizotopların izin verilen sınır değerleriyle, gerçekte salınan miktarları (örnek)

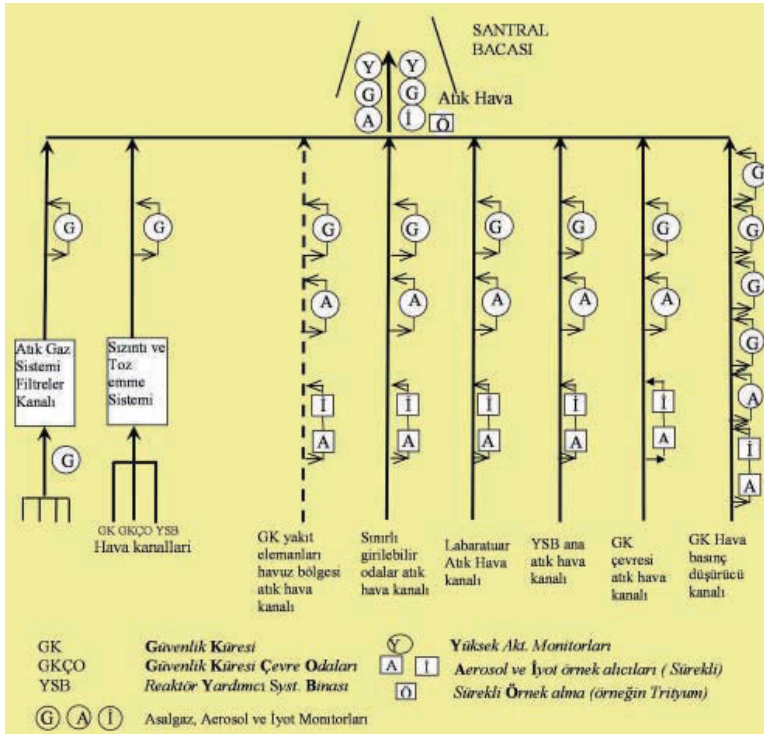
| RADYOİZOTOP GRUBU | SINIR DEĞER (Bq/Yıl) | ÇEVREYE SALINAN GERÇEK MİKTAR (Bq/Yıl) | SINIR DEĞERİN YÜZDESİ OLARAK SALINAN MİKTAR |
|--|----------------------|--|---|
| Bacadan “atık havayla” salınma: | | | |
| Radyoaktif gazlar (I-131 dışında) | 1.10^{15} | $1,09.10^{12}$ Örneğin: Xe-133: $1,62.10^{11}$ Ar-41: $1,07.10^{11}$ Kr-85m: $4,5.10^9$ Xe-133m: $3,2.10^9$ | 0,10 |
| Radyoaktif Aerosollar (I-131 dışında) | 1.10^{10} | $4,75.10^4$ Örneğin: Co-58: $1,33.10^4$ Co-60: $3,42.10^4$ | 0,0005 |
| İyot-131 | 6.10^9 | < ölçüm sınırı | < ölçüm sınırı |
| “Atık sularla” salınma: | | | |
| Tritiyum | $3,5.10^{13}$ | $1,34.10^{13}$ | 38 |
| Başka Radyoizotoplar | $5,55.10^{10}$ | < ölçüm sınırı | < ölçüm sınırı |

Atık Gaz ve Atık Hava Kanallarında Radyoaktivite Ölçümleri

Şekil 5.4'de gösterilen bacaya giden atık gaz boru ve atık hava kanallarındaki ölçüm sistemleriyle (monitörlerle) bunlardaki radyoaktivite düzeyi sürekli kontrol edilerek bacadan çevreye salınacak radyoaktif madde miktarı önceden izlenerek bacaya ulaşması sınırlandırılıyor. Böylelikle, belirli bir sistemde zaman zaman olabilecek bir miktar yüksek radyoaktivitenin ilgili

⁶ Sievert (Sv): Vücutta soğurulan 1 Joule/kg'lık radyasyon enerjisi olup hücrelere aktarıldığında bozulmalara neden olabilir. Bu nedenle üst sınırlar bunun binde biri düzeyinde (mSv) /Bkz: Ek 2/

sistem devrelerinde filtreleme ve başka tekniklerle tekrar temizlenmesi ya da bir süre depolarda bekletilmesi sağlanıyor. Örneğin sistem devrelerinde ve depolarında bekletme, geciktirme yoluyla kısa yarılanma süreli radyoizotopların azaltılması, özel yıkama sistemiyle radyoizotopların gazdan sonra geçmesi gibi teknikler bunlar. Radyoaktivite, ancak iyice azaltıldıktan sonra vanalar açılıp bacaya atık gaz ve atık havanın akışına izin veriliyor. **Şekil 5.4**, reaktör binaları içindeki gaz devrelerinden ve havalandırma kanallarından bacaya ulaşan boru sistemlerindeki, herbiri uygun (saatlik, günlük ve haftalık gibi) ön alarm değerine ayarlanmış radyasyon ölçüm aletleri (monitörleri) de gösteriliyor. Herbir boru ya da kanaldaki radyoaktiviteyi sürekli ölçen genellikle asal gaz, aerosol ve iyot monitörleri bulunuyor. Ayrıca bu kanallarda sürekli hava örneği toplayan 'örnek alıcıları' da bulunmaktadır. Bunlardan sağlanan örnekler laboratuvarda ölçülüp değerlendirilmekte.

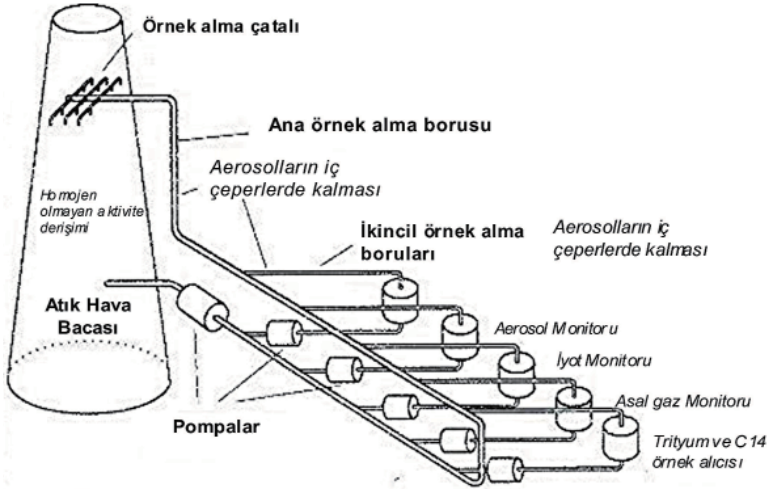


Şek.5.4: 1300MWe'lık bir nükleer santralin atık hava ve gaz kanallarıyla bacasındaki duyarlı radyoaktivite ölçüm ve alarm sistemleriyle çevrenin korunması (basitleştirilmiş) /Atakan/

Santral Bacasından Salınan Atık Havadaki Radyoaktivite Ölçümleri

Santralin bacasından salınan havadaki radyoaktivite, iki adet asal gaz monitörüyle, birer adet de aerosol ve iyot monitörleriyle sürekli kontrol ediliyor (Bk. **Şekil 5.4**). Bunlardan başka, kaza durumları için planlanmış, aşırı ölçüde yüksek düzeydeki radyoaktiviteyi ölçüp uyarıcı iki monitor da bacada bulunuyor⁷. Radyoaktivite bu monitorların önceden ayarlanmış uygun (saatlik, günlük ve haftalık gibi) 'alarm değerlerine' ulaştığında bacadan çevreye salınma otomatikman kesiliyor.

Bacadaki bu ölçüm sistemlerinin işlevleri, santral bacasından çevreye yıl boyunca salınan radyoizotop miktarlarının toplamını hesaplamak olmayıp, atık havadaki radyoaktif maddelerin anlık değişimlerini ve artımlarını 'ön alarmlarla' izleyerek gerekli önlemleri zamanında almak ve böylece kısa süre için de olsa çevreye bir miktar fazla radyoaktivite salınmasını önlemek. Yıl boyunca bacadan çevreye radyoizotopların cinslerine göre, toplam ne miktarda radyoaktivite salındığı (bilançosu) ise, **Şekil 5.5**'te gösterilen bacadaki 'sürekli örnek alıcıdan' sağlanan örneklerin laboratuvarında analizleriyle, ilgili radyoizotopların ayrıntılı ölçümleriyle ve ayrıca bacadan her saatte salınan hava hacmiyle (m^3/h) birlikte değerlendirilip hesaplanıyor.



Şekil 5.5: Nükleer santralin baca gazlarındaki radyoaktif maddelerin ölçümü ve örnek almak için bacaya yerleştirilen çatal düzenek

⁷ Bu veriler Almanya'daki 1300 MWe 'lik bir nükleer santral içindir.

Bacaya yerleştirilen çatal şeklindeki emme borulu incelikli bir düzenekle ve boru devreleriyle ('by-pass sistemiyle') atık hava, monitorlara ve örnek alma noktalarına pompayla sürekli iletiliyor (Buna isokinetik örnek alma deniyor ki bu, bacadan atılan gazlardaki radyoaktivitenin gerçeğe yakın bir örneğini yansıtıyor). Radyoizotopların bir miktarı boruların ve ölçüm aletlerinin iç çeperlerinde kaldığından ölçüm sonuçları 'boru katsayısı' denilen en çok 3'le çarpılıp borulardaki ve aletlerdeki kayıplar hesaba katılıyor.

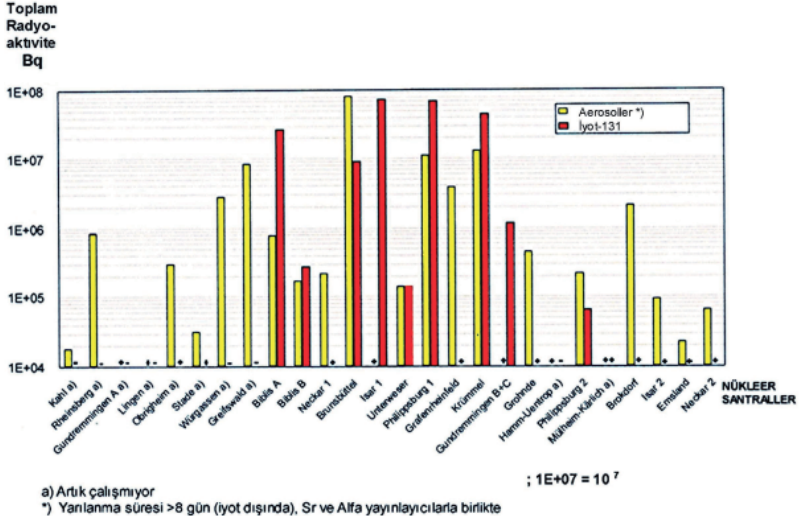
Santraldan Yakınındaki Irmağa Salınan Atık Sulardaki Ölçümler

Daha önce, radyoizotoplardan büyük ölçüde arındırılmış atık sular, büyük su depolarında toplanıyor, çevredeki sulara verilmeden önce toplam radyoaktivite miktarı ve her bir radyoizotopun radyoaktivitesi ölçümlerle belirleniyor. Buna 'karar verme ölçümü' deniyor. Atık sular çevredeki sulara salınırken radyoaktivite aletleriyle ayrıca sürekli olarak ölçülüp, kontrol edildikleri gibi belirli zaman aralıklarıyla da laboratuvar da radyoizotopları ölçmek için örnekler de alınıyor. Örneklerin laboratuvar da ölçülen radyoaktiviteleriyle, santral yakınındaki ırmağa salınan su miktarları yıl boyunca gözönüne alınarak ırmağa hangi radyoizotoptan toplam ne miktar verildiği hesaplanıyor.

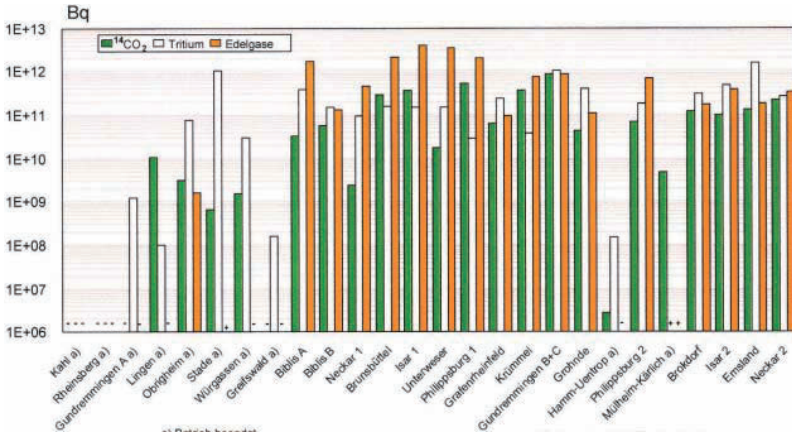
Almanya'daki Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Yıllık Radyoaktivite Miktarları

Şekil 5.6 'da Almanya'daki tüm nükleer santrallardan 2006 yılında santralların bacalarından atık hava yoluyla çevreye salınan aerosol ve iyot 131 radyoaktivite miktarları (Bq/yıl) gösteriliyor. Santralların tümünde havadaki taneciklere tutunan radyoizotoplardan kaynaklanan aerosol radyoaktivitesi ve iyot 131 radyoaktivitesi 10^8 Bq'den daha az. Nükleer santrallardan salınan bu radyoaktivitelerdeki farklılıklar, santralların güçleri, işletilme süreleri ve bacalarından salınan miktarlardaki farklılıklar nedeniyle oluyor. Örneğin santrallardan biri 2006'da 10 ay çalışırken diğeri 8 ay çalışmış, birinin bacasından saatte 200.000 m³ hava salınırken, diğeri saatte 150.000 m³ hava salınmış olabiliyor.

Şekil 5.7 'de aynı santralların bacalarından 2006'da salınan ¹⁴CO₂, tritium ve asal gaz değerleri yer alıyor. Tüm değerler 5×10^{12} Bq'in altında kalıyor.



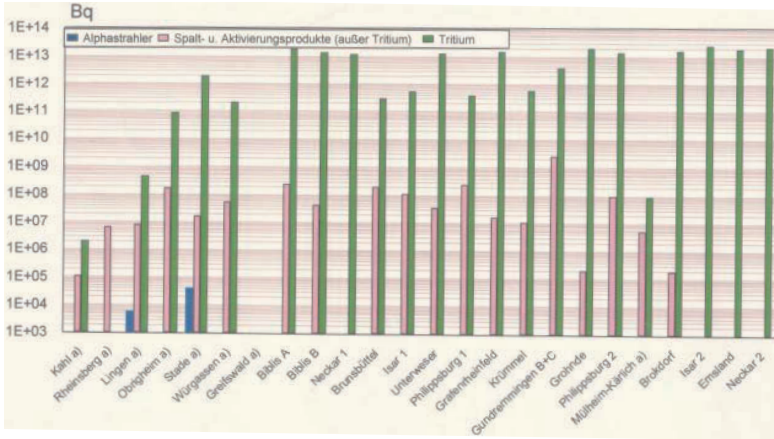
Şekil 5.6



Şekil 5.7

Şekil 5.8'de aynı santralların atık sularıyla yakınlarındaki ırmaklara 2006'da salınan radyoaktif maddelerden alfa yayanların (şekilde mavi), bölünme (şekilde kırmızı) ve korozyon (şekilde yeşil) ürünlerinin ve trityumun radyoaktiviteleri gösteriliyor.

Tüm değerlerin 5×10^{13} Bq'in altında kaldığı görülüyor.



Şekil 5.8: Şeklin açıklaması yukarıdadır

Almanya'daki Nükleer Santrallerin Çevredeki İnsanlarda Oluşturduğu Radyasyon Dozları Hesaplarının Ayrıntıları

Almanya'daki tüm nükleer santrallerin herbirinin yakın çevresinde, ilgili santralin atık hava ve atık suyundaki radyoaktif maddelerin etkisinin göreceli olarak en yoğun olduğu bir yerde 'sürekli olarak yaşadığı ve orada yetişen yiyeceklerle beslendiği varsayılan bir kişinin vücudunda oluşabilecek radyasyon dozları 'üst değerler olarak' Şekil 5.2 ve 5.3'de gösteriliyor. Şekillerden görüldüğü gibi doz hesapları hem yetişkinler ve hem de 1-2 yaşlarındaki çocuklar için yapılıyor.

Şekil 5.2'deki yetişkinler için en büyük değer Philipsburg nükleer santrali için olup 0,005 mSv'lik etkin doz, sınır değer olan 0,3 mSv'in sadece % 2'si kadar. Küçük çocuklar için ise aynı santral için hesaplanan etkin doz 0,008 mSv sınır değerinin % 3'ü kadar.

Şekil 5.3'de Almanya'daki nükleer santrallerden atık sularla ırmaklara salınan radyoaktif maddeler yoluyla insan vücudunda oluşabilecek radyasyon dozları yukarıdaki gibi yaklaşımlarla hesaplanmıştır. Özellikle kötümser varsayımlarla santralin su soğutma kulelerinden atılan suların yakınlarında ırmaktan tutulan balıkların yendiği ve ırmak kıyısında insanların yılda 1000 saat kadar kaldığı ve bunlara göre çevrede çeşitli ortamlarda ölçülen radyoaktif madde değerleri hesaplarda kullanılmıştır.

Özet ve Sonuçlar

Nükleer Santral Baca Gazları Radyoaktivite Ölçüm Sistemlerinin İşlevleri özetle:

- Sürekli olarak bacadan salınan atık havadaki radyoaktivite düzeyini kontrol etmek
- Saatlik, günlük sınır değerlere ulaşıldığında alarmlarla radyoaktivitedeki ani yükselişi görebilmek
- Bacadan salınan radyoaktivite akışını/debisini izlemek (Bq/saat)
- Alarm değerlerine ulaşıldığında ilgili yönetmeliğin öngördüğü önlemlere hemen başlamak

Amaç: İlgili yasa, yönetmelik ve standartlara göre bacadan çevreye salınan radyoaktif madde miktarlarını en düşük düzeye indirmek (KTA 1503.1 Standardına göre)

'Nükleer Santral Atık Su Depo ve Borularındaki Radyoaktivite Ölçüm Sistemleri'nin işlevleri de yukarıdakilere benzer olup Almanya'da bununla ilgili olarak KTA 1504 standardı kullanılıyor.

2006'da Almanya'daki 20 kadar nükleer santraldan son 30-40 yıldır edinilen deneyimlere göre **Şekil 5.4**'tekine benzer çok sayıda radyoaktivite ölçüm sistemlerinin kullanımı ve bunların ön alarmları yardımıyla çevreye çok az miktarda radyoaktivite 'kontrollü olarak' salınıyor. Salınan radyoaktif maddelerden çevredeki halkta oluşan radyasyon dozlarının, doğal radyasyon dozunun çok altında kaldığı ve böylelikle çevredeki halkın korunduğu da **Şekil 5.2** ve **5.3**'teki doz değerlerinin düşüklüğünden görülüyor.

Ayrıca yukarıda açıklandığı gibi radyasyon dozları, sınır değer olan 0,3 mSv'in sadece % 1-% 3'ü kadar olup, Almanya'da 2006'dan daha önceki yıllarda da bu çok düşük doz değerlerinde pek önemli bir değişim gözlenmiyor.

Radyoaktif maddelerin nükleer santral içi boru ve kanallarındaki, çıkış yerlerindeki (santral bacasında ve atık su kanalındaki) yukarıda açıklanan ölçüm ve kontroller, bu yazının kapsamına girmeyen, nükleer santral çevresindeki çeşitli ortamlarda (hava, su, toprak ve yiyeceklerde) yapılan radyoaktivite ölçüm ve değerlendirmeleriyle ayrıca desteklenip, denetleniyor. Bugüne kadar Almanya'da elde edilen ölçüm sonuçları, nükleer santraller çevrelerindeki çeşitli ortamlarda belirgin bir radyoaktivite artışı olduğunu doğrulamaktan uzak.

Türkiye'de Planlanan Nükleer Santralin Ölçütleri ve Radyasyon Ölçüm Sistemleriyle İlgili Bazı Öneriler

Yapımı planlanan Türkiye'nin ilk nükleer santrali için TAEK'in internet sayfasında Nükleer Santral kurup işletecek şirketlerin karşılaması gereken 'Ölçütlerde', Nükleer Güvenlik için şöyle yazılıyor (2006): 'Nükleer güç santrali

güncel ve kanıtlanmış teknolojik yenilikleri kapsamalıdır. Başta Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) normları olmak üzere uluslararası normlara uygun olmalıdır. Santralin “ciddi kaza” sınıfına giren kazalara karşı da radyolojik sonuçları hafifletecek önlemleri alacak şekilde tasarlanmış olması değerlendirilmede dikkate alınacaktır’.

Öngörülen bu ‘Genel Ölçütler’ çerçevesinde, radyoaktivite ölçüm ve alarm sistemlerinde, bunların teknik özelliklerinde, kalitelerinde ve adetlerinde büyük farklılıklar⁸ olduğundan, Almanya’da bu konuda son 40 yıldır kazanılan deneyimlerin ve KTA normlarının (özellikle KTA 1503.1 ve KTA 1504) gözönüne alınması önerilir. Bu ayrıntılı ölçütlere göre nükleer santral yapımını üstlenecek şirketlerin teknik raporlarındaki ölçüm sistemleriyle ilgili bölümleri TAEK’nın zaten inceleyip değerlendireceği ve ileride de denetleteceği beklenir. Ancak, özellikle bacadan salınan havadaki kısa ve uzun yarılanma süreli, düşük derişimli aerosollarla, doğal radon ve toronun ayır-dedilmesini sağlayabilecek ölçüde duyarlı, uygun alet sistemlerinin seçilmesinin yanı sıra, incelikli ölçüm ve değerlendirme yöntemlerinin de iyi bilinmesi gerekir. Ayrıca ölçümler için gerekli havayı monitörlere ileten bacadaki ‘atık hava by-pass sistemi’ başlıbaşına bir uzmanlık dalı (Bk. Şek.5.5). Bu nedenlerle, nükleer santraldaki tüm radyoaktivite ölçüm sistemleriyle ilgili değerlendirme ve denetimleri yapabilmeleri amacıyla bilgi ve deneyimlerini arttırabilmeleri için benzer nükleer santrallarda ve modern alet yapan firmalarda uzman eleman yetiştirilmesi gerektiği açıktır.

Kaynaklar

- /1/ Atakan,Y., Stack Gas Radioactivity Monitoring in a Nuclear Power Plant in FRG, Nuclear Safety,USA, Vol.29, No.2 p.167, April-June 1988
- /2/ IAEA Safety Guide No.WS-G-2.3 Regulatory control of radioactive discharges to the environment, 2000
- /3/ Safety Guide Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants No. NS-G-1.13, 2005
- /4/ Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 2006, Bundesministerium Umwelt und reaktorsicherheit
- /5/ Emmissionüberwachung bei KKW, BfS-Almanya

⁸ Yazarın gerek Almanya’daki ve gerekse ABD’deki nükleer santrallerdeki deneyimlerine göre, Almanya’daki radyoaktivite ölçüm sistemlerinin adedi ABD’dekilerden çok daha fazla ve Almanya’dakiler çok daha duyarlı.

Nükleer Santral Çevresindeki Çocukların Kanseri Riski? Almanya ve Başka Ülkelerde Yapılan Kapsamlı Bilimsel Araştırmaların Sonuçları

Almanya Radyasyondan Korunma Kurumunun (BfS)⁹ Mainz Tıp Fakültesi'ndeki bir bilim kuruluna 2003'den beri yaptırdığı kapsamlı bir araştırmanın Aralık 2007'de yayımlanan sonuç raporunda¹⁰, 'yerleşim yerlerinden nükleer santrale olan uzaklık azaldıkça, kanserli çocuk sayısının arttığı yeralması' gerek kamuoyunda ve gerekse ilgili bilim çevrelerinde büyük yankı buldu. Bu konuda resmî kurumların ve araştırmacıların açıklamaları uzun süre sürdü ve tartışıldı.

Buna karşın, Almanya'da 40 yıldır, çevreye çok az miktarda radyoaktif madde saldığı, hava, su ve besinlerde yapılagelmekte olan sistematik ölçüm ve değerlendirmelerle kanıtlanan ve önemli bir sorun yaşanmadan çalیشان 20 kadar nükleer santralin kanserli çocuk sayısındaki artımın nedeni olamayacağına ise, Mainz'de bu çalışmayı yapan araştırmacılar dahil, yetkili kurumlar ve diğer bilimsel kurullar birleşti. Almanya Çevre Bakanlığı'nın durumun açıklığa kavuşturulması isteği üzerine BfS, Essen Üniversitesi'ndeki bir bilim kurulunu, bu araştırmayı incelemesi ve bir denetleme raporu vermesi için görevlendirdi¹¹.

Nükleer Yerleşkeler Çevrelerindeki Kanseri Araştırmalarının Tarihçesi

Yıllardır, nükleer santrallerin normal işletilmesi sırasında çevrede yerleşik çocuklarda kanser riskini artırıp artırmadığıyla ilgili araştırmalar yapıldı tartışılıyor. Nükleer santrallerin bulunmadığı yerlerde de, özellikle 5 yaş altındaki çocuklarda rastgele kansere yakalanma olasılığının (riskinin) yetişkinlere oranla 2-3 kat daha çok olduğu biliniyor. Özellikle endüstri ülkelerinde küçük çocuklarda görülen kanserlerden en sık rastlanana kan kanseri olup bunun nereden kaynaklandığı ise henüz bilinmiyor.

1987-1989 yılları arasında İngiltere'de yapılan bilimsel araştırmalar nükleer yerleşkelerin 15 km'ye kadar varan çevrelerinde küçük çocuklardaki kan kanserinin daha çok görüldüğünü gösterince, Almanya Çocuk Kanser-

⁹ BfS: Bundesamt für Strahlenschutz (Radyasyondan Korunma Kurumu)

¹⁰ KiKK Studie, Deutsche Kinderkrebsregister, Universität Mainz, 2003-2007 (Epidemiolojik araştırma)

¹¹ Epidemiologische Qualitätsprüfung der KiKK-Studien im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS)

ri Kayıtları Kurumu (DKKR) bu çalışmaya benzer bir araştırmaya başlıyor. 1980 ile 1990 arasındaki yılları kapsayan ve DKKR arşivindeki kayıtlara dayanan bu araştırma sonunda nükleer yerleşkelerin 15 km çevresindeki 15 yaşın altındaki çocuklarda kanser artımıyla ilgili herhangi bir bulgu elde edilemiyor¹². Almanya'nın kuzeyindeki Krmmel nükleer santralı çevresinde 2001-2004 arasında yapılan araştırmalar ise, kansere yakalanan çocukların çoğaldığını gösteriyor. Ancak DKKR'in araştırmaları, kansere çevredeki nükleer santralların neden olamayacağıyla sonuçlanıyor.

Bu konuda başka bir çalışma da bulunuyor: İngiltere, Fransa, Almanya, İspanya, ABD ve Kanada'daki 136 nükleer yerleşkeyle ilgili 17 bilimsel araştırmayı değerlendiren Amerikalı P.Baker ve arkadaşları, 5 yaş altındaki çocukların kanserden ölüm oranının, santrallara olan uzaklığa bağlı olarak % 5 ile % 24 arasında değiştiğini istatistik olarak belirlemelerine rağmen, bu sonucu nükleer santrallara bağlayabilecek bulguları elde edemediklerini aıkılıyorlar.

Fransa'da yapılan yeni bir bilimsel araştırmada ise nükleer santrallar çevresinde yaşayan 5 yaşından kk çocuklarda kanser riskinin artımıyla ilgili bir sonuç ıkmamıřtır¹³. Almanya'daki istatistik bulguların tersine kanser riskinde, santrala yaklaştığıya bir artım, uzaklaştığıya da bir azalma gözlenmemiştir.

Almanya'da Bu Konudaki Son Araştırmanın Amacı, Bulgular ve Değerlendirmeler

Amaç, nükleer santralların 15 km'ye kadar yakın çevrelerinde yaşayan 5 yaşından kk çocuklarda, daha uzaklarda yaşayan akranlarıyla karşılaştırılarak, buralardaki kanserli oranının belirlenmesi. Kanserin nedeninin araştırılması ise amaçlara girmiyor.

Araştırma 5 yaşından kk 1592 kanserli ve 4735 hastalıksız çocuğu kapsıyor. Hastalıksız ocuklar, diğerlerinin akranları arasından rastgele seçilip, kontrol için araştırmaya ekleniyorlar. Veri tabanını, Mainz'daki 'Almanya kanser kayıtları' oluşturuyor. Araştırmalar ve istatistik analizler, 1980 ile 2003 yılları arasında 16 yerleşkedeki 22 nükleer santralın evre-

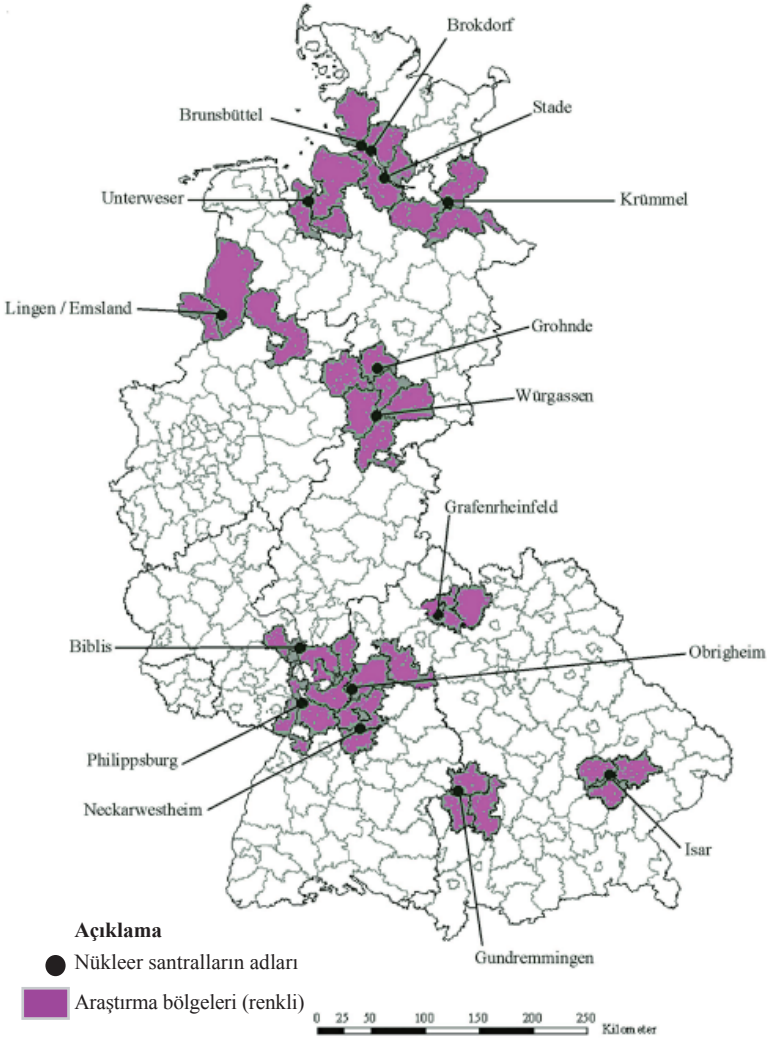
¹² Michaelis J. Keller B, HaafG and Kaatsch P 1992 Incidence of childhood malignancies in the vicinity of West German nuclear power plants *Cancer Causes Control* 3 255-64

¹³ Childhood leukaemia incidence below the age of 5 years near French nuclear power plants D Laurier, D Hmon and J Clavel 2008 *J. Radiol. Prot.* 28 401-403 doi: 10.1088/0952-4746/28/3/N01

sinde bulunan 41 yerleşim yerinde ve herbir santrale 0-5, 5-10 ve 10-15 km uzaklıktaki dairesel alanları kapsıyor (Bk. Şek.5.9). 1980 ile 2003 arasında tüm Almanya'da 5 yaşının altında toplam 5893 kankanserli çocuk olduğu, 16 santral yerleşkesinin 5 km yarıçaplı bölgelerinde ise aynı sürede toplam 37 çocuğun kan kanserine yakalandığı belirleniyor. İstatistik ortalama 17 olduğundan bu, 20 çocuğun daha kankanserine yakalandığını gösteriyor. Bu da 16 yerleşkenin herhangi birinin 5 km'lik çevresinde ortalama olarak yılda yaklaşık bir çocuğun daha kankanserine yakalandığı demek oluyor (20 kanserli çocuk/24 yılda = 0,83 çocuk/yılda). Araştırmacılar raporlarında, kullanılan veri tabanının iyi bir istatistik analiz için yetersiz olduğunu vurgulayarak, bu sonuçların güvenilirliğinin az olduğunu belirtiyorlar.

Araştırma raporunda, ilk 5 km'lik bölgede, santrale yaklaştıkça kanserli çocuk sayısının istatistiksel olarak belirgin (signifikant) derecede arttığı, daha dıştaki bölgelerde de sonuçlar tam belirgin olmasa da aynı eğilimin görüldüğü açıklanıyor. Ancak bunun nedeninin, çevredeki insanlarda son derece düşük radyasyon dozları oluşturan nükleer santraller olamayacağı da vurgulanıyor. Araştırmada bulunan 20 kan kanserli çocuk sayısının 1980-2003 yıllarını kapsayan 24 yılda ortaya çıkması için, nükleer santrallerin çevrelerindeki çocuklarda 1.000 ile 10.000 kat arasında daha çok radyasyon dozu oluşturması gerektiği gerçeği, gerek araştırmayı yapanlar ve gerekse denetleyen araştırmacılarca ve diğer uzmanlarca belirtiliyor. Bu nedenlerle Almanya Radyasyon Korunma Kurulu (SSK), bu araştırmada elde edilen sonucun nükleer santrallerden kaynaklanan radyasyonun etkisine bağlanamayacağını ve nükleer santrallerle ilgili herhangi bir önleme gerek olmadığı gibi, çevrede oturan çocuklu ailelerin de uzak yerlere taşınmalarına gerek olmadığını açıklıyor¹⁴. Araştırmada bir dizi yöntem yanlışının ve eksikliklerin bulunduğu SSK raporunda vurgulanıyor: örneğin kanserin ortaya çıkması için geçmesi gereken 2 ile 5 yıl arasındaki kuluçka (latent) süresinin gözönüne alınmamış olmasının yanı sıra, küçük çocukların çocuk yuvalarına ve büyük annelerinin yanlarına yollanabilecekleri gerçeğiyle, kanserin ortaya çıktığı günkü evin, nükleer yerleşkeye uzaklığının pek 'tutarlı bir ölçüt' olamayacağı da yapılan eleştiriler arasında.

¹⁴ Bewertung der KiKK Studie durch die Strahlenschutzkommission (SSK), 09.10.2008



Şekil 5.9: Almanya'daki nükleer santralların çevresindeki araştırmaların yapıldığı bölgeler (renkli bölgeler)

Doğal Radyasyon Dozuyla Karşılaştırma ve Sonuç

'Nükleer santrallar çevrede çok az radyasyon dozu oluşturuyor olsalar bile, doğal radyasyon dozunu aşan en küçük bir dozun vücuda etkisi bilinemedi-

ğinden kanser yapabilir, bu nedenle nükleer santraller kapatılmalıdır' savı, nükleer karşıtlarca, tüm dünyada sık sık ileri sürülüyor. Bu savın doğru olup olmadığı ise bilimin, gözlem (ölçü), karşılaştırma ve sonuç çıkarma yönteminde yatıyor. Bu nedenle vücudumuzda sürekli olarak oluşan doğal radyasyon dozunu ve bundaki değişimi 'ölçüt' olarak ele alıp karşılaştırma yapmak tek çıkar yol.

Doğal radyasyonla içiçe yaşadığımızı, vücudumuza her saniye 15.000 adet iyonlaştırıcı ışınların girip çıktığını, vücudumuzun 9.000 Bq kadar doğal radyoaktivitesi bulunduğunu, bebek daha anne karnındayken ve emzirme sırasında annenin, bebeği vücudundaki bu maddelerden yayınlanan radyasyonlarla ışınladığını, yediğimiz yiyeceklerden içtiğimiz süte kadar her çeşit besinde bir miktar doğal radyoaktif madde olduğunu, oturduğumuz evin tabanından gelen radyoaktif radon gazını soluduğumuzu, duvarlarındaki maddelerden ve çevremizdeki topraktan ışınlandığımızı biliyoruz. Tüm bu doğal ışınlamalara rağmen hücrelerimiz gerekli koruyucu önlemleri aldıklarından sağlığımız bozulmuyor.

Almanya'da bir kişinin vücudunda bir yıl boyunca oluşan ortalama doğal radyasyon dozu 2 mSv kadar (çeşitli bölgelerde 1 ile 6 mSv arasında değişiyor). Aynı yörede ise bu değer $\pm\%$ 20 kadar (\pm 0,4 mSv) bir değişim gösteriyor. Almanya'daki bir nükleer santralin çevredeki küçük çocuklarda oluşturabileceği doz ise en çok 0,008 mSv' olup¹⁵, 2 mSv'lik ortalama doğal radyasyon dozunun sadece bidedördü ($=0,008/2=0,004$) kadar az. Eğer nükleer santrallardan yayılan çok az miktardaki radyoaktivite çevredeki çocuklarda kanser riskini artırıyorsa, ondan çok daha büyük doz oluşturan doğal radyoaktivite (özellikle evlerdeki radon gazı) bu riski katlanarak artırmalıdır. Evini hergün havalandırmayan bir kişinin, evin havasına karışmış radon gazını soluyarak vücudunda yılda 1 mSv'e varan doğal radyasyon dozu oluşmaktadır ki bu da nükleer santralin katkısına oranla 50 ile 125 kat daha çoktur. Buradan, 'doğal radyasyon dozunu aşan en küçük bir katkı bile önemlidir ve önlenmelidir' savının, doğal radyasyonun vücudumuzda oluşturduğu dozun ve bundaki büyük değişimin yanında, bir anlamı kalmadığı görülüyor.

Almanya'da nükleer santrallerin bulunmadığı bazı bölgelerde de ortalamının üstünde kanser hastalıklarının ortaya çıktığını, bunların etkenlerinin bulunmadığını, rastlantılara bağlandığını araştırmayı yapanlar da yazılarında belirtiyorlar.

¹⁵ Bk. Bölüm 5, **Şekil 5.2**, Philipsburg nükleer santrali değeri; 1mSv: İyonlayıcı ışınların vücutta oluşturduğu eşdeğer doz birimi olan 1 Sievert'in binde biri; 1 Bq (Becquerel): Saniyede bir bozunma gösteren radyoaktif maddenin radyoaktivitesi (Bk. Ek 1-2)

Kansere neden olan çok çeşitli madde bulunduğu ve kanser etkeninin yalnız iyonlaştırıcı ışınlar olmadığı, başka etkenlerin de araştırılması gerektiği ise biliniyor ve ilgili araştırmalar tüm bilim dünyasında sürüyor.

Kömürlü Elektrik Santralleri Çevrede, Nükleer Santrallardan Daha mı Çok Radyasyon Dozu Oluşturuyor?

Taşkömürü ve linyit kömürü gibi yakıtların bileşiminde, **uranyum 238 ve toryum 232'den türeyen, radyum 226, polonyum 210, kurşun 210 ve ayrıca potasyum 40 gibi doğal radyoaktif maddeler, kömürün cinsine göre, az miktarlarda bulunuyor** (bunlar nükleer santrallardan salınan baca gazlarında bulunmuyor). Kömür, santralda yüksek sıcaklıkta yanarken, bunlar baca gazları ve kurumla birlikte havaya ve yakın çevreye ulaşıyorlar. rüzgâr ve yağış durumu gibi hava koşullarına ve ayrıca santralin tam güçle, kesintisiz çalışıp çalışmamasına göre, bu çeşit doğal radyoaktif maddeler de santral çevresindeki havada zaman zaman az ya da çok bulunmakta ve etkin rüzgâr yönündeki yörelerdeki toprakta ise gitgide zenginleşiyorlar. Buralarda yetişen sebze, meyva, tahılın; ya da çevredeki hayvanların etlerinin, yumurtalarının yenmesi, sütlerin içilmesi yollarıyla da bu çeşit radyoaktif maddeler insana ulaşabiliyor

Buradan, kömürlü santrallerin çevreye saldıkları çeşitli kimyasal maddelerin yanı sıra, ağır metallere dönüşen radyoaktif maddeleri de çevreye saldıkları da görülüyor. Fosil yakıtlı santrallardan çevreye salınan bu çeşit radyoaktif maddeler, nükleer santrallardan salınan radyoaktif maddelerin cins ve miktarlarıyla karşılaştırıldığında ne derece önemlidir ve bunlar çevredeki halkın sağlığı için zararlı olabilir mi?

Önce şunu belirtmek gerekir ki nükleer santrallardan çevreye salınan radyoaktif maddeler içinde radyum, polonyum ve kurşun gibi "ağır elementler" bulunmuyor. Nükleer enerjinin ortaya çıkışı sırasında, santraldaki yakıt elemanları içindeki uranyum 235'in ikiye bölünmesi sonucu iyot 131, kripton 87 ve ksenon 133 gibi bir dizi "orta ağırlıkta" radyoaktif madde oluşuyor. Ayrıca nükleer santral atıkları içinde korozyon ürünleri denilen krom 51, kobalt 60, manganyum 54 gibi radyoaktif maddeler de bulunuyor. Bunlar ya nükleer santralin yakıt eleman çubuklarında ya da santraldeki kapalı devreler içinde kalıyor (Soğutma suyu ve atık gaz arıtma sistemleri devrelerinde tutulmaları gibi) ve bu nedenle santralin normal çalışması sırasında, art arda sürdürülen arıtma ve filtreleme işlemleri sonrası, bacadan ancak çok az miktarda hafif ve orta ağırlıkta (kütleli) radyoaktif maddeler havaya ulaşıyor ve yetkili kurumlarca izin verilen sınırlı değerlerin altında kalıyor. Almanya'da yapılan ölçüm, hesaplama ve karşılaştırmalar, kömürle çalışan santrallerin havaya saldıkları radyoaktif maddeler sonucu, nükleer santrallara oranla, santrallerin normal çalışması sırasında,

etkin rüzgâr yönündeki yerleşim bölgelerinde, daha yüksek radyasyon dozları oluşturabileceğini gösteriyor



Şekil 5.10 Kömürlü bir elektrik santralının bacasından çıkan dumanda, kurum taneciklerinde ağır metallerin yanı sıra, polonyum 210, kurşun 210 ve potasyum 40 gibi doğal radyoaktif maddeler de bulunuyor

Almanya’da Yapılan Bir Bilimsel Çalışmanın Sonuçları

Taşkömürlü ve linyit yakıtlı santrallerle, nükleer santrallerden baca gazlarıyla çevreye salınan radyoaktif maddelerin cins ve miktarlarıyla, bunların çevrede oluşturabileceği radyasyon dozları ayrıntılı ölçüm ve hesaplamalarla etkin rüzgâr yönündeki yerleşim yerleri için belirlenip karşılaştırılıyor. Seçilen yerleşim yerlerindeki insanların orada yıl boyunca oturdukları ve tüm yiyeceklerini o çevreden sağladıkları varsayılıyor. Ayrıca ölçümlerin yapıldığı santrallerin tümünde çok katlı elektrostatik toz ya da parçacık filtreleri bulunuyor. Bu nedenle bu gibi filtrelerin bulunmadığı santrallerden daha çok radyoaktif madde yayılacağı ve çevrede daha yüksek dozların oluşacağı açık. Nükleer santral olarak ‘Basınçlı Sulu bir Nükleer Santral’ seçiliyor. Sonuçlarını karşılaştırabilmek için ‘1GW x Yıl’lık üretilen enerji başına santrallerin bacalarından salınan radyoaktif maddeler ve çevrede oluşabilecek dozlar hesaplanıyor.

Sonuçlar özetle şöyle:

- Baca gazlarındaki kurum taneciklerindeki doğal radyoaktif maddelerinin özgül radyoaktivitesi, yanmamış kömürdekine oranla zenginleşiyor. Bu zenginleşme, kömürün yanma sıcaklığına, kömürün ve radyoizotopun cinsine göre 10 ile 200 kat arasında değişim gösteriyor.

- Taşkmrl bir santral çevresi için bulunan etkin radyasyon dozu 7 μSv (mikroSievert) 'e karşılık Nükleer Santral için 1 μSv (Her ikisi için de '1GW x Yıl' üretilen enerji başına)
- Linyit kömürlü santraldan çevrede oluşabilecek radyasyon dozu, taşkmrlden 5 kat kadar daha az
- Kaynamalı Sulu Nükleer santraldan çevrede oluşabilecek radyasyon dozu, basıncılı suyla çalışandan 4 kat kadar daha çok
- Taş kömürlü santrallar için bulunan yukardaki 7 μSv 'e karşın, çevredeki doğal radyoaktif maddeler yoluyla oluşabilecek doz hesaplandığında bunun 2 μSv olduğu saptanıyor
- Kömürlü santrallardan salınan radyoaktif maddelerden yayılan ışınlar vcoda yoğun olarak enerji aktaran alfa ışınlarından oluşurken, nükleer santrallardan yayılanlar vücutta daha az tutulan ve bu nedenle daha az etkili olan beta ve gama ışınlarından oluşuyor.
- Kömürlü santrallardan yayılan doğal ve ağır radyoaktif maddeler özellikle insanın kemiklerine yerleşip uzun süre etkili olabilirken, nükleer santrallardan yayılan orta ağırlıktakiler içinde önemli olan iyot, tiroid bezine yerleşiyor ve bir süre sonra vücuttan atılıyor.

Akla şu soru gelebilir: Taşkmrl bir santralin çevresinde, nükleer santralinkine oranla 7 kat daha fazla radyasyon dozu oluşabildiğine göre, kömürlü santrallar çevresi, nükleer santrallardan daha tehlikeli değil midir ve buna göre bir önem alınması gerekmez mi ?

Aradaki bu büyük farka karşılık, gerek kömürlü ve gerekse nükleer yakıtlı santralların her ikisinde de, normal işletme sırasında çevreye yayılan radyoaktif madde miktarı ve bunun insanda oluşturabileceği radyasyon dozu miktarı sürekli olarak etkilenmekte olduğumuz ortalama 'doğal radyasyon' dozuyla karşılaştırıldığında son derece az. Örneğin santrallar 1 GW (Gigawatt= 1Milyar Watt) gücünde 1 yıl çalışıyorlarsa taşkmrl santral için olan yukardaki 7 μSv 'lik değer, 2400 μSv 'lik ortalama yıllık doğal radyasyon dozunun sadece binde cdr ($7/2400 = 0,003$). Nükleer santral için ise daha da küçük bir değer olan onbinde dört ($1/2400 = 0,0004$) bulunur. Bu sonuçlardan, filtre sistemleri geliştirilmiş her iki cins santraldan da baca gazları yoluyla çevrede oturanlara ulaşan radyoaktif maddelerin, doğal radyasyonun sürekli olarak insan vücudunda oluşturduğu radyasyon dozuna önemli bir katkıda bulunmadığı görülüyor ve ek bir risk beklenmiyor.

ÇERNOBİL KAZASI VE SONUÇLARI

Almanya ve Türkiye'deki Doz ve Risk Değerlendirmeleriyle Çernobil Radyoaktivitesinin Sağlığımıza Etkisinin Belirlenmesi

26 Nisan 1986'daki Çernobil kazasından bugüne kadar geçen zaman içinde birçok ülkede ve UAEA¹, UNSCEAR², TAEK³ gibi bilimsel araştırma ve inceleme kuruluşlarında sayısız çalışma, araştırma ve yayın yapıldı. Bilindiği gibi kazanın her yıldönümünde, birçok yerde çeşitli etkinlikler, toplantılar düzenleniyor ve bunlar medyada da yer alıyor. Doğu Karadeniz Bölgesinde 'Çernobil nedeniyle kanserlilerin çoğaldığı' gibi haber ve yorumlar da zaman zaman medyada yer almakta, bununla ilgili tartışmalar yüzlerce internet sayfasını doldurmakta. Çok kez birbirine karşıt düşüncedeki uzmanların (ya da kendini uzman görenlerin) arasında kalan, üstelik radyoaktivite, Becquerel, radyasyon dozu, milisievert gibi terim ve birimlere de yabancı olanlar, kime, neye inanacaklarını haklı olarak bilememekteler. Bilimsel ve teknik raporlar ise çok kimsenin pek anlayamayacağı birçok yazı, grafik, çizelge, formül ve sayılarla kaplı.

1986'dan bugüne kadar geçen uzun süreye rağmen Çernobilin sağlığımıza etkisi neden hâlâ tartışılıyor? Bu uzun sürede yapılan yoğun bilimsel çalışmaların sonuçları neden herkese kolayca anlatılamıyor?

Bu yazıda, Almanya ve Türkiye'de Çernobil sonrası yapılan çalışmalar gözden geçirilerek, bu konuda özellikle UNSCEAR'ın süregelen bilimsel araştırmalarının ve Almanya'da kazanılan deneyimlerin ışığında bu çok tartışılan konuya bir miktar açıklık getirilmeye çalışılıyor⁴.

¹ UAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu

² UNSCEAR: Birleşmiş Milletlerin Atomik Radyasyonun Etkilerini İnceleyen Bilimsel Alt Kurulu

³ TAEK: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, www.taek.gov.tr (Bk. Çernobil Dosyası 1 ve 7)

⁴ Tübitak Bilim Teknik Dergisi Nisan 2006 Eki ve Aralık 2005 Prof.Dr.Yeter Göksu'nun 'Anılarla Çernobil' yazıları

Doğal Radyasyon ve Vücutta Oluşturduğu Dozlar

Çernobil'in sağlığımıza etkisini değerlendirebilmek için, her şey den önce, vücudumuzda ve çevremizde bulunan, doğal radyoaktif maddelerle, bunların vücudumuzda oluşturduğu radyasyon dozlarını ve bunlardaki değişimleri gözden geçirmek, bu 'taban radyasyon dozuna' Çernobil'in katkısını belirlemek gerekiyor. Doğal radyasyonlar ve bunların insana etkileri Bölüm 2' de ayrıntılarıyla açıkladı. **Bölüm 2'deki Şekil 2.3**, doğal radyoaktif maddelerin nasıl ortaya çıktığını gösteriyor. Vücutta oluşan doğal radyasyon dozunun belirli bir yöredeki insanlar için bile kişiden kişiye büyük değişim göstereceği, sabit bir değerde olamayacağı açık. Vücutta oluşabilecek radyasyon dozlarıyla ilgili dünya ortalamaları Bölüm 2-Çizelge 2.1'de bulunuyor. Bu bilgilerin ışığında, Çernobil kazasının Türkiye'deki etkileri aşağıda açıklanıp değerlendiriliyor.

1986-Çernobil Kazası Nasıl Oldu?

26 Nisan 1986'daki Çernobil Nükleer Santral kazası, reaktör çalışırken yapılan bir deneme sırasında işletme personelinin yaptığı büyük yanlıştan kaynaklanmış, reaktöre soğutma suyu basan ana pompalar durdurulurken, kontrol çubukları da yukarı çekilerek reaktör kritik üstü duruma sokulmuştur. Kesinlikle uyulması gereken güvenlik uyarıları (sinyalleri) ekip tarafından etkisiz duruma sokulmuş ve kaza ardı sıra iki patlamayla başlamış, kontrolsüz haldeki zincirleme nükleer tepkimeler sonucu bir anda çok büyük bir enerji ortaya çıkarak reaktördeki su buharlaşmış ve reaktör silindiri tepesinden patlamış ve binayı da çatıdan delmiştir. Bu sırada reaktörün gücünün bin kat arttığı sanılmaktadır. Yüksek sıcaklık nedeniyle reaktörün yakıt elemanları erimiş ve bunların içindeki nükleer maddenin bulunduğu çubuklar yarılarak çok miktarda çeşitli radyoaktif madde santral içine, çevreye ve havaya salınmıştır.



Şekil 6.1 Çernobil santralına kalın duvar örülmesi (kapsüllemesi)

Çernobil'den Salınan Radyoaktif Maddelerin Hava Akımlarıyla Taşınması

Çernobil'den salınan ve atmosferde 1-2 km yükselen radyoaktif maddeler, hava akımlarıyla önce Finlandiya'ya ve daha sonraki günlerde de Avrupa'daki birçok ülkeye ve Mayıs'ın ilk haftasında da Türkiye'ye ulaşmıştır. Çernobilden salınan toplam radyoaktivitenin 10^{19} Bq olduğunu o zamanki Sovyetler Birliği yetkilileri açıklamıştır. rüzgârların yönlerine ve yağışların miktar ve sıklığına göre çeşitli bölgelerde toprağa ulaşan radyoaktif maddelerin miktarında bu nedenle büyük farklılık görülmüştür. Bunlardan hava, toprak, bitki ve hayvan yollarıyla insanı etkileyen en önemli radyoizotoplar 8 günlük ve 30 yıllık yarılanma süreleriyle sırasıyla iyot 131 ve sezyum 137) olmuştur.

Yere inen Çernobil radyoaktivitesi sonucu çevrede ve epey uzaklarda yaşayan insanlarda ek bir radyasyon dozu oluşmuştur. Yerleşim yerinin yağışlarla etkilenme durumuna göre doz değerleri çeşitli ülke ve bölgelerde büyük farklılık göstermiştir.

Çernobil Santral Bölgesinde ve Avrupa'da Halkın Aldığı Radyasyon Dozları

Çernobil santral bölgesinde, kazanın ortaya çıkardığı yıkımları onarmak için uzun süre çalışmış olan 240.000 kişinin 100 mSv, çevreden boşaltılan 116.000 kişinin 30 mSv ve radyoaktif maddelerle bulaşmış çevrede oturmayı sürdürmüş olan kişilerin de ilk 10 yılda 10 mSv **toplam doz aldıkları** saptanmıştır. Bunlar kişi başı ortalama dozlar olup maksimum değerler 10 kat daha fazla olabilir. Avrupa ülkelerinde 1986 yılı için en fazla doz kişi başına 0,1 mSv olup bu değer daha sonraki yıllarda çok azalıyor. Yaşamboyu dozunun ise, 1986'daki dozun 2 ile 5 katı arasında olabileceği kestiriliyor. Bu ise, doğal radyasyonla sadece bir yılda alınan ortalama 2,4 mSv'lik dozun çok altındadır ve bu nedenle 'genel toplum' için radyolojik etkisi belirgin değil.⁵

Bugün toprakta Çernobil kaynaklı sadece sezyum (Cs 137) gitgide azalan miktarlarda var, diğer radyoizotoplar radyoaktif bozunmayla önemlerini yitirdiler. Almanya geneli için bir kişinin vücudunda oluşabilecek ortalama doz **2004 yılında 0,01 mSv** olarak hesaplanıyor.

Almanya'da bir kişinin vücudunda 1986 da oluşan doz, yetişkinler için 0,05 ile 1,1 mSv arasında ve küçük çocuklar için de 0,1 – 1,5 mSv olarak hesaplanmıştır (**1986'daki ortalama değer : 0,07 mSv**). **Tüm yaşam süresinde yetişkinlerin etkilenebileceği ek Çernobil dozu kuzey Almanya'da**

⁵ UNSCEAR 2000 Bilimsel Raporuna göre.



0,5 mSv, güney Almanya'da (güney Bavyara'da) ise 6 mSv kadardır. Küçük çocuklar için Bavyara'da en çok 10 mSv'lik bir yaşam boyu dozu oluşabileceği hesaplanıyor.

Türkiye'de Trakya ve Doğu Karadeniz bölgelerinde yaşayan insanların **1986** yılında etkilendiği radyasyon dozu kişi başına 0,6 mSv ve Türkiye'nin diğer bölgelerinde ise **0,5 mSv** olarak hesaplanmıştır (TAEK verileri). Buradan, Türkiye ile Almanya genelinde 1986 yılı ortalama değerleri karşılaştırılırsa, Türkiyedeki Çernobil dozunun Almanya'dakinden 7 kat daha büyük olduğu bulunur : $0,5 \text{ mSv} / 0,07 \text{ mSv} = 7,14$.

0,5 mSv'lik Türkiye değeri Almanya değerine oranla 7 kat büyük olmasına rağmen, bu değer sürekli olarak alınan doğal radyasyon dozunun % 20'si (= 0,5 mSv/2,4 mSv) ve özellikle röntgen ışınlanmalarının da eklendiği yapay kaynaklardan alınan dozla birlikte oluşan dozun % 13'ü (= 0,5 mSv/4mSv) kadardır (bu değerler sadece 1986 yılı için geçerlidir).

Ancak bu ortalama değerler, 1986'da aşırı radyoaktivitenin saptandığı bazı bölge ve yörelerdeki belirli gruplar için geçerli değil. Örneğin Almanya'da çeşitli yörelerde belirli insan gruplarının Çernobil'den ne ölçüde ışınlandığını ortaya koyan, sayıları 50'yi geçen araştırma kurum ve laboratuvarlarının yaptığı çok sayıda bilimsel çalışmalarda, özellikle Güney Bavyera'nın bazı yörelerinde, ortalama değerlerin çok üstünde dozlar belirlendi. Türkiye'de bu konuda TAEK'da çalışmalar yapıldığı biliniyor ve ayrıntılı bilimsel teknik raporlar TAEK internet sayfalarında sonradan hesaplanarak (2006) açıklandı.

Bölüm 2- Çizelge 2.1'deki 2,4 mSv'lik yıllık ortalama 'toplam etkin doğal doz değeri', bunu oluşturan katkılarla karşılaştırılırsa,unun yarısı olan 1,2 mSv'in, solunum yoluyla vücuda giren radon gazının vücutta oluşturduğu dozdan kaynaklandığı görülür. Yerel⁶ gama ışınları ve kozmik ışınlarla dıştan ışınlanma sonucu vücutta oluşan dozların toplamdaki payları sırasıyla % 20 ve % 17 kadar. Sindirim yoluyla alınan besinlerdeki radyoaktif maddelerden vücutta oluşan toplam dozdaki payı ise daha az : % 12 kadar.

Çernobil radyoaktivitesi sonucu alınan 'ek radyasyon dozu' değerlendirilmesinde taban değerleri oluşturan Doğal Radyasyon Dozu için yukardaki açıklamalardan çıkarılabilecek sonuç, herbir bölge için o bölgeye özgü Doğal Radyasyon Dozlarının bir dizi ölçüm ve hesaplamalarla belirlenmesi, elde edilen değerlerin değişim aralıklarıyla birlikte gözönüne alınmasını gerektiriyor. Böylelikle o yörede insan vücudunda oluşan Doğal Radyasyon dozuna Çernobil radyoaktivitesinin ne miktarda ek bir katkıda bulunduğu ve bu 'ek dozun' sağlık riskinin ne olabileceği anlaşılabilir.

⁶ Toprak yüzeyinde ve evlerin yapısında bulunan doğal radyoaktif maddelerin saldırdığı radyasyonlarla vücudun doğrudan ışınlanması

Almanya'da yıllık ortalama doğal radyasyon etkin dozu 2 mSv kadar olup, değişim aralığı büyük: 1 ile 6 mSv.ölüm 2, Çizelge 2.1'de bu doza ilgili kaynakların katkıları parantez içinde gösteriliyor.

Yukardaki ortalama değerler Almanya'nın çeşitli bölgelerinde yapılan ölçüm ve hesaplamalara dayanıyor ve 17 yaşından büyükler için geçerli. Bunun dışında 1 yaşından küçük bebeklerden başlayarak, 1-2; 2-7; 7-12; 12-17 yaş grupları ve her bölge için de bir dizi ölçüm ve doz hesap sonuçları bilimsel raporlarda var (Almanya'da 11.000 noktada radyasyon dozhızı ölçümü yapılıyor ve 2.500 yerden de toprak örneği alınarak radyokimyasal analizler yapıp çıkan sonuçlar sürekli yayımlanıyor).

Almanya'dakilere benzer, Çernobilin katkısına taban oluşturacak '**doğal radyasyon dozlarıyla**' ilgili ayrıntılı **ölçüm ve hesaplamalar** Türkiye'deki çeşitli bölge ve yaş grupları için ilgili bilimsel yayınlarda ve TAEK internet sayfalarındaki 7 bölümlük Çernobil Dosyasında da bulunamadığından, bu konuda burada ayrıntılı bilgi verilemiyor.

Çernobil Radyoaktivitesiyle İlgili Ayrıntılı Çalışmalar

Çernobil kazasından hemen sonra birçok ülkede çok çeşitli ortamda, örneğin: toprakta, yağışlarda, sularda, besin maddelerinde ve insanda ayrıntılı ölçümler yapıldı (radyasyon dozhızı ve radyoaktivite, 'tüm vucutta oluşan radyoaktivite miktarı ya da yükü' ölçümleri gibi). Çernobilden gelen radyoaktif maddelerin içinde insanı etkileyebilen en önemlileri önce iyot 131 (süt yoluyla bebeklerin etkilenmesi), sezyum 134 ve sezyum 137 idi. Ölçüm sonuçları ilgili diğer tüm etkenlerle birlikte gözönüne alınarak doz ve risk hesaplamaları yapıldı. Bu hesaplar sonucu çeşitli bölgelerdeki vücut dışından ve içinden alınan radyasyon dozları belirlendi.

Almanya'da Hesaplanan Dozlar

1986'daki Batı Almanya'da, Radyasyondan Korunma Kurumu (SSK) ve Radyasyondan Korunma Dairesi (BfS) Federal kurumlarının yanı sıra, her eyaletin yetkili dairelerinin yanı sıra gerek üniversitelerde ve gerekse örneğin Münih'teki özel araştırma merkezi olan (GSF) gibi toplamı 50'ye varan, Radyasyon Fizikinin çeşitli dallarında ölçüm ve araştırmalar yapan enstitü, laboratuvar ve çok sayıda deneyimli personel bulunuyordu. Radyasyonun, hem ışınlanan vücuttaki somatik hem de sonraki kuşaklardaki genetik etkileri araştırılıyor, radyasyon hasarı gören organların, örneğin omurliliğin değiştirilmesi ya da transplantasyonu ile ilgili bilgi ve deneyimler kazanılıyordu.

Çernobil kazasından hemen sonra yukarda adı geçen tüm kurum, enstitü ve laboratuvarlarda zaten yapılmakta olan ölçüm ve değerlendirmeler yoğunlaştı, bunlarla ilgili günlük, aylık ve yıllık bilimsel, teknik raporlar yayımlanmaya başlandı. Radyoaktivitenin yüksek olduğu çocuk parkı gibi yerlere girişler yasaklandı, bir dizi besin maddelerindeki radyoaktivite sınır değerleri açıklandı, halkın büyük bir bölümü TV ve gazetelerde yayınlanan bu bilgilere göre radyoaktivitesi oldukça yüksek av eti, mantar gibi yiyecekleri satın almadı, çocuklarına radyoiyotu yüksek olan sütleri içirmedi.

Doğal Radyasyonla ilgili olarak açıklandığı gibi, Almanya'da çeşitli büyük kent ve bölgelerde insanların yaş gruplarına göre Çernobil sonrası yapılan sistematik ölçüm ve değerlendirmeler gözönüne alınarak, buralarda yaşayan halkın, kazadan sonraki ilk yıl ve sonraki 50 yılda alabilecekleri dozlar ayrıntılı olarak hesaplanıp yayımlandı⁷. Bunlardan Almanya ortalamaları aşağıdaki Çizelge 6.1'de bulunuyor:

| Batı Almanya | Etkin Doz (mSv) Kaza sonrası ilk yıl için: (26.04.1986/30.04.1987) | Kazadan Sonraki 50 Yılda alınacak Toplam Etkin Doz (mSv) (1 Mayıs 1987'den sonrası için) |
|---|--|---|
| Tuna ırmağının kuzeyindeki halk için: | 0,2 | 0,6 |
| Tuna ırmağının güneyindeki halk için: | 0,6 | 1,9 |

Çizelge 6.1: Çernobil kazasından sonraki ilk ve sonraki yıllarda Almanya halkı için hesaplanan ortalama radyasyon dozları

Çizelgedeki ortalama değerler, kazanın olduğu tarihteki küçük çocuklar (10 yaşının altında) için hesaplanmış olup bunlar yetişkinler için olan değerlerden pek az sapma gösteriyor. Aşırı yemek, yiyip içenlerle Çernobil radyoaktivitesinin daha yüksek olduğu yerlerde bulunan bazı kişiler için bu ortalama doz değerlerinin 2-3 katı beklenebiliyor. 50 yılda alınacak toplam Çernobil dozu, 50 yıldan sonraki yıllarda Çernobilin katkısı yok denecek kadar az olacağından, tüm yaşam boyu için de geçerli sayılıyor.

Türkiye'deki Çalışmalar ve Hesaplanan Dozlar

Başka birçok ülke gibi Türkiye de Çernobil kazasına hazırlıksız yakalandı. TAEK Araştırma Merkezleri ve laboratuvarlarında görevli az sayıdaki

⁷ SSK Band 7, 1987 ve SSK 20 Jahre nach Tschernobyl, www.ssk.de ve www.gsf.de

radyasyon fizikçisi, araştırmacısı, radyasyon alet sistemleriyle, o zamanki Batı Almanyanın üç katı büyüklüğündeki Türkiye topraklarına yayılmış olan Çernobil radyoaktivitesinin bölgesel ve sistematik olması gereken ölçümlerinin ve doz değerlendirmelerinin ancak sınırlı miktarda yapılabildiği biliniyor (TAEK'nin internet sayfasında yayımlanan Çernobil Dosyasındaki TBMM Araştırmasıyla ilgili yazılarda da bu konuya değiniliyor). Genel Toplum ve Kritik Grup ayrımı yapılarak 'yetişkinler' ve 'bebekler' için açıklanan değerlerden önemlileri aşağıdaki çizelgede bulunuyor

Ancak, kazadan 20 yıl sonra 'en son bilimsel veriler ışığında' yapıldığı belirtilen ve Marmara, Doğu Karadeniz, Batı Karadeniz ve Diğer Bölgeler ayrımıyla, Çernobil dozları ayrıntılı olarak yeniden hesaplanarak, gerek kazadan sonraki ilk yıl ve gerekse yaşam boyu için bulunan 1987'deki çok düşük doz değerleri TAEK Çernobil Dosyası 7.Bölümde düzeltilerek yayımlanmıştır (Aşağıdaki Çizelge 6.2'nin son sütununa bk.).

| | TAEK 1987 Hesapları | TAEK 1987 Hesapları | TAEK 2006 Hesapları |
|--------------------|---|---|--|
| Türkiye | Bebekler için Etkin Doz (mSv) Kaza sonrası ilk yıl için (Mayıs 86/Nisan 87) | Yetişkinler için Etkin Doz (mSv) Kaza sonrası ilk yıl için: (Mayıs 86/Nisan 87) | Yetişkinler için Etkin Doz (mSv) Kaza sonrası yaşamboyu değerleri |
| Kritik Grup | 0,350 | 0,594 (= yaşamboyu dozu) | 1,4-4,5 Kırsal kesimde |
| Genel Toplum | 0,147 | 0,500 | 1,3-3,7 Kentlerde (ilk yıl için: 0,8 – 1,1) |

Çizelge 6.2: Türkiye'de Çernobil kazasından sonra alınan etkin radyasyon dozlarından önemlileri/TAEK Çernobil Dosyası 1. ve 7.Bölümlerden/

Burada açıkça görülen 2006'daki yeni etkin doz değerlerinin, 1987'de açıklananlardan çok daha fazla olduğu. Çernobil Dosyası Bölüm 1' deki yaşam boyu dozu olarak da belirtilen ilk yıllık Kritik Grup dozu olan 0,594 mSv'e karşılık yeni hesaplanan doz değerleri 3 ile 7 kat daha büyük. Kazadan sonraki 'ilk yıl' için ise gerek Doğu Karadeniz bölgesindeki ve gerekse diğer bölgelerdeki kentlerde (genel toplumda, yetişkinler için) hesaplanan yeni doz değerleri 1987'de hesaplanan değerlerin kabaca iki katı kadar : sırasıyla (1,1/0,6) ve(0,8/0,5).

Çernobil radyoaktivitesi gibi büyük halk topluluklarının etkilendiği durumlarda 'Doğu Karadeniz Bölgesinde' alınan 4,5 mSv'lik dozun bir 'Akciğer Tomografisi'nde alınabilen dozun sadece yarısı kadar olduğunun TAEK Çernobil Dosyasında vurgulanması ise yanıltıcı. Bunun nedeni, 'küçük gruplardaki kişisel dozlarla, çok daha büyük halk kitleleri ışınlanmasındaki kanser riski farklılığının gözönüne alınması gereği.

Almanya'da Çernobil Radyasyon Dozlarının Oluşturabileceği Sağlık Riski

Kaza sonrası ilk yılda Almanya'daki küçük çocukların Çernobil nedeniyle alabileceği ortalama değerlerden daha büyüğü olan 0,6 mSv, Almanya'da yılda alınan 2 mSv'lik ortalama doğal radyasyon dozunun % 30'u kadar. Almanya'nın büyük bölümündeki halk için ise, Çernobil'in katkısı bu değerin epey altında.

Çernobil radyoaktivitesinden kaynaklanan '**yaşamboyu ortalama dozu olan 1,9 mSv'lik değer ise, Almanya'da sadece 1 yıl içinde vücudun doğal radyasyondan aldığı doz değeri kadar.** 2 mSv'lik ortalama doğal radyasyon doz değerinin değişim aralığı ise epey büyük ve 1 ile 6 mSv arası. Doğal radyasyonun 70 yıllık ortalama yaşam süresince insanda oluşturabileceği toplam doz ise: 140 mSv ve buradan, yaşam boyu vücutta oluşan doğal radyasyon dozuna Çernobilin katkısı: $1,9/2 \times 70 = \% 1,5$ kadar ki bu da ortalama doğal radyasyon dozunun büyük değişim aralığı içinde kalıyor. Buna rağmen, Almanya'da Çernobil kazasından sonra süregelen sağlık gözlemleri, özellikle mongolizm, bebek ölümleri, kan kanseri, nöroblastom tümörleri ve özürlü doğumlarla ilgili olarak yapılıyor. Ancak bu gibi hastalık ve ölümlerin Çernobil'le bir ilişkisi olabileceği bilimsel olarak kanıtlanamıyor. Bunlarla ilgili olarak, Avrupa'da Çernobil radyoaktivitesinden daha çok etkilenen başka bölgelerde de bir ilişki bulunamıyor.

Türkiye'de Çernobil Radyasyon Dozlarının Oluşturabileceği Sağlık Riski: Bir Yaklaşım

TAEK Çernobil Dosyasının 7. Bölüm'ündeki yeniden hesaplanan 'yaşamboyu ortalama doz' değerlerinden kırsal kesim için en yükseği olan 4,49 mSv, sağlık riski kestirimi için gözönüne alınabilir. Ancak bu dosyanın 7. Bölüm'ünde (Syf.51): 'aynı bölge içerisinde birbirine çok yakın iki nokta arasında bile önemli farklılıklar görüldüğü' belirtiliyor. Genel olarak da bilinen bu durum gözönüne alınarak vürgülden sonraki 2-3 basamaklı doz değerlerinin 'çok

incelikli kesin sayılar' gibi ele alınmaması, risk hesaplarında, bu değere % 35 kadar güvenlik eklemesi yapılarak bulunan 6 mSv'in temel alınması daha güvenli olur. Öte yandan Türkiye'deki yıllık ortalama doğal radyasyon dozunun Çernobil Dosyasının 1.Bölüm'ünde 1 mSv olarak verilmesine rağmen, sadece radon gazından alınması gereken bu düşük değer yerine Dünya Ortalaması olan 2,4 mSv'in hesaplarda kullanılması da daha gerçekçi olur. Yetişkinler için yaşam boyu (ortalama 70 yıl) dozu olarak, Doğu Karadeniz'in kırsal kesimi için geçerli olabilecek 6 mSv'lik değer, daha düşük dozların alındığı diğer bölgeleri de kapsadığı varsayılarak, Türkiye geneli için 'bu güvenlik eklemesiyle' birlikte, Çernobil radyoaktivitesinin Türkiye'deki insanların vücutlarında oluşabilecek yaşam boyu doğal radyasyon dozunu: $6/2,4 \times 70 = \% 4$ kadar yükseltebileceği beklenebilir. % 4'lük bu ek miktar ise bir yıllık ortalama doğal radyasyon dozunun değişim aralığında kalıyor (1-10 mSv) Bk. Bölüm 2. Çizelge 2.1.



Şekil 6.2 : Çay torbalarının taşınışına bir örnek (Mayıs 1986'da çay işçilerinin bu yakın temas sonucu dıştan aldıkları radyasyon dozları, kapsamlı ölçüm yapılmadığı için belirlenememiştir)

Özetle Sonuç

Çernobil'in, Almanya ve Türkiye genelindeki etkisinden kaynaklanan bu % 1,5 ve % 4'lük ek doz miktarları, vücudun doğal kaynaklardan sürekli aldığı dozun değişim aralığında kaldığından, Çernobil'in vücutta belirgin bir hasar oluşturması beklenmiyor. Ancak aşırı radyoaktivitenin ölçüldüğü belirli

yörelerdeki insanlarda (örneğin Doğu Karadeniz bölgesindeki çay ve fındık işçilerinde) kanser riski artabilir. Ancak bunun ortaya çıkarılması çok zordur, sayıları yüzü bulan bilimsel araştırmacının katılımıyla kapsamlı, uzun süreli (10-20 yıl gibi) epidemiyolojik çalışmaların yapılmasını gerektirir. Bu çeşit bir bilimsel çalışma ise Türkiye’de yapılmamıştır.

Öte yandan vücudumuzdaki doğal radyoaktif maddelere rağmen hücreler başlangıçtan beri sağlıklı olarak yaşamayı sürdürüyorlar. Çernobil kaynaklı, düşük düzeyde ve yıllar geçtikçe gitgide azalan dozların etkisiyle hücrelerde olabilecek bozulmaların, doğal radyasyon dozlarındaki değişimlerle ortaya çıkabilecek bozulmalarla birlikte gözönüne alınması gerekir ki böyle bir bozulma görülemiyor, belirlenemiyor. Buradan hücrelerin bu çeşit küçük doz değişimlerine karşı koruyucu mekanizmaları olduğu, bunları etkisiz bıraktığı ve belki de bu nedenle sağlıklı yaşadığımız sonucu çıkarılabilir.

Düşük Dozlar Sorunu

- 200 mSv’in daha düşük radyasyon dozlarında sağlığa herhangi bir etki (sağlık riski) belirlenemiyor ve eğer bir etki varsa bunun, kan kanseri, kanser ve kalıtım bozuklukları şeklinde ancak geç hasarlar olarak yıllar sonra ortaya çıkabileceği düşünülüyor.

Öte yandan çok yüksek dozlarla özellikle hayvanlar üzerinde yapılan denemeler, embryo (cenin) aşamasındaki canlıların radyasyona duyarlılığının yüksek olduğu biliniyor. Japonya’da atılan atom bombalarından ortaya çıkan ani (‘birdenbire’) ve çok yüksek dozlardaki etkilerden, çok düşük dozlara doğru uzatmayla (ekstrapolasyonla) ancak bu çeşit geç bozuklukların/ hasarların olabileceği, kestirilebiliyor ki, bu yol epey tartışmalı (ayrıntılar için bk.: Bölüm 2- **Düşük dozlarla ilgili hesaplanan kanser riski belirlemeleri ne ölçüde gerçekçi? – Şekil 2.18** ce 2.19). Düşük dozların azar azar yıllarca alındığı Çernobil kazası sonrasında gibi ortaya çıkan dozlarda, hücrelerin zamanla onarım işlevlerinin devreye girip etkiyi azaltacağı ya da ortadan kaldırabileceği gözönüne alınarak UNSCEAR’ca belirlenen risk katsayısı, topluca ışınlanan halk kitlesi içindeki bir kişinin vücudunda oluşan her Sievert’lik doz için ortalama olarak: % 5 öngörülüyor. Bunun anlamı: örneğin ışınlanan 100.000 kişilik bir topluluktaki her kişi zamanla (bir anda değil) 10 mSv’lik toplam bir doz almış ise : $100.000 \text{ kişi} \times 0,010 \text{ Sv/kişi} \times 0,05/\text{Sv} = 50 \text{ kişi}$ (100.000 kişi içindeki rastgele 50 kişinin yaşam sürelerinin sonuna kadar kanserden ölebileceği ‘kuramsal olarak’ bekleniyor).

Öte yandan radyasyonun etkisiyle oluşan kanser ölümleriyle ilgili olarak, Uluslararası belirlemelere göre hesaplanan (yukardaki örneklerdeki

gibi) değerler, toplumdaki nedeni çokçası belirsiz 'genel yüksek kanser ölüm sayısı' içinde ortaya konulamıyor. Çünkü 'heryıl ölen yaklaşık 1 milyon kişiden' ortalama olarak 250.000'i kanserden ölmekte ve bu büyük kitlede radyasyonun etkisiyle risk katsayılarından gidilerek hesaplanan ölümler sadece birkaç yüz kişi kadar az olup, bu kişilerin de belirlenemeyeceği açık.



Çernobil Dozunu Vücutun Aldığı 'Doğal Radyasyon Dozlarıyla Karşılaştırmak Neden 'Üst Sınır Değerlerle' Karşılaştırmaktan Daha Uygun?

Oturduğumuz yerin yükseltisi fazla ise (örneğin 2000 metre) ya da uçaklarla çok dolaşıyorsak deniz kıyısında oturanlara oranla kozmik ışınlardan, iki katından daha çok radyasyon dozu alıyoruz demektir. Doğal yollarla aldığımız radyasyon dozuna Çernobil'in yukarda ayrıntılarıyla açıkladığımız katkısı ise oldukça az. Bu nedenle, düşük dozların etkileriyle ilgili değerlendirmeler, elde daha tutarlı bilimsel başka bir ölçüt olmadığından, ancak o bölgedeki 'Doğal Radyasyon Dozları'yla ve bunların değişimleriyle karşılaştırılıp yapılabiliyor. Topluluk ışınlanmalarında, ancak topluluk dozu hesaplanarak bir sonuç çıkarılabiliyor. Ya da başka bir deyimle, bilimin eriştiği bugünkü düzeyde, çok düşük dozlar için 'ölçüt', 'Doğal Radyasyon Dozu' olmak durumunda. Çernobilin katkısı, vücutça alınan doğal radyasyon dozunun değişim aralığında olmasına rağmen, bazı bölgelerde çok yüksek doz alanlar için önemli olabilir.

'İzin verilen doz limitleri' ya da 'sınır değerler' aslında ülke içindeki nükleer tesislerin planlama, işletme ve kaza durumlarında gerek personelin ve gerekse çevredeki halkın aşırı radyasyon dozu almalarını sınırlamak için konulmuş değerler olup, bunların altında kalındığında 'alınan radyasyon dozunun sağlığa bir etkisi olmaz' anlamı da çıkarılmamalı. Çünkü özellikle kitlesel ışınlanmalarda doz için bir alt sınır yok, sadece doz azaldıkça ilerde ortaya çıkabilecek kanser gibi geç hasarların olasılığı azalıyor. Bu nedenle eğer radyoaktivitenin vücuda ulaşmasını sınırlamak için zaman ve olanaklar varsa, sınır değerlere bakılmaksızın gerekli önlemler alınarak vücutun alacağı radyasyon dozları, Çernobil sonrası bazı yerlerde yapıldığı gibi, kuşkusuz düşürülmeye çalışılmalı. Sonuç olarak, sınır değerlerin altında kalınsa bile, ileride olasılığı az da olsa, bu dozların vücutta geç hasar oluşturmayaacaklarının bir garantisi yok. Bu nedenle, Çernobil dozu gibi düşük ek doz değerlerini, üst sınır değerlerle değil, yaşamboyu alınan doğal radyasyon doz değerleriyle karşılaştırmak daha gerçekçi ve anlamlı.

Çernobil'in Sağlığımıza Etkisini Belirlemedeki Sorunlar Neler ?

Çernobil radyoaktivitesinin sağlığımıza bir etkisinin olup olmadığını bilimsel yol ve yöntemlerle gösterebilmekteki iki ana sorundan ilki herhangi bir kişinin aldığı 'radyasyon dozunun' ölçüm ve hesaplara dayanılarak belirlenebilmesindeki güçlük, diğeri ise 'düşük dozlar bölgesinde' bulunan yukarıda verilen Çernobil dozlarının 'vücutta bir etki yaratıp yaratmayacağıyla ilgili' olarak yapılan yoğun bilimsel epidemiyolojik⁸ çalışmalara rağmen elde kesin bulguların olmayışı.

Sorunlar daha ayrıntılı olarak sıralanırsa:

1. Belirli bir bölge ve hatta yörede birbirinden 5-10 km uzaklıktaki yerlerdeki gerek toprak ve sulara gerekse buralarda yetişen yiyeceklerde farklı miktarlarda radyoaktif madde bulunabiliyor ve bunların miktar ve cinsleri zamanla değişebiliyor. Farklı miktardaki radyoaktif maddelerin dıştan ve içten vücutta farklı dozlar oluşturacağı ise açık.
2. İnsanların yemek yeme alışkanlıkları değişik, bazıları daha çok sebze, meyva tüketirken, diğerleri et ya da hamur işleri yiyebiliyor, daha çok çay, süt içebiliyor.
3. Tüketilen yiyeceklerin bir bölümü insanların oturduğu yerlerden çok uzaklardaki bölge ve ülkelerden gelebiliyor (Örneğin İstanbul'da tüketilen, Edirne peyniri, sütü, Güney Amerika muzunu gibi)
4. İnsanların kırsal kesimde daha çok tarlalarda çalışmaları (Türkiye'de özellikle kadınların), kentlerdekilerin ise daha çok kapalı yerlerde bulunmaları sonucu vücut dışından alınan radyasyon dozunun kişiden kişiye farklı olması.

Yukardaki tüm bu farklılıklar ve daha başkalarının sistematik ölçüm ve değerlendirmelerle tam olarak belirlenip herhangi bir bölge ve yörede yaşayan halk kitleleri içindeki kişilerden hangilerinin vücutlarında daha çok Çernobil dozunun oluştuğunu belirlemenin olanak dışı olduğu kestirilebilir. Kuşkusuz, sistematik, bölgesel ölçüm ve değerlendirmelerin makul ölçüde yapılması gerekir. Ancak bunlardan elde edilen sonuçlar o bölge ya da yöre için ortalama ya da kaba değerler olup o halk kitlesi içindeki bazı kişilerin almış olabilecekleri daha yüksek ya da daha az dozları gösteremeyeceği açık.

Kişilerin gerçekte aldıkları dozları kestirebilmek bu kadar güçken, bir de düşük düzeydeki Çernobil dozlarının halk kitlesi içinde rastgele, belirli sa-

⁸ Epidemiyoloji : Büyük halk kitlelerinde kanser gibi hastalıkların sıklık ve dağılımını, nereden kaynaklandığını, etkenini; bunların yayılmasını ve şiddetini etkileyen koşullarla birlikte araştırıp inceleyen ve başka daha sağlıklı halk kitlelerindeki aynı cins olaylarla karşılaştırıp sonuçlar çıkaran bilim dalı.

yıda insanın sağlığını ileride kesinlikle etkileyebileceğini söylemek de olası değil. Düşük düzeydeki dozların, ışınlanan insanın vücudunda kısa sürede belirgin bir etki yapmadığı biliniyor, ancak doz arttıkça ileride kanser gibi hastalık olasılığının artacağı öngörülüyor ama bu da düşük dozlar bölgesinde (200 mSv'den daha az) kesin değil. Nedeni kişilerin vücut hücrelerinde zamanla yavaş yavaş alınan dozla oluşabilen bozulmayı, hücre mekanizmasının onarması ve bunun kişiye göre değişiklik göstermesi. Japonya'da atom bombalarının patladığı merkezlerin biraz uzağındaki yerlerde bulunanlar ortalama 200 mSv' lik, üstelik 'ani dozlar' almalarına rağmen bunların vücutlarında yaşamları boyunca belirgin bir hasar gözlenememiş.

Özetle, doğal radyasyon nedeniyle, bir kişinin yaşam süresince aldığı doz 100-200 mSv arasında (Dünya Ortalaması: 2,4 mSv/yıl x 70 yıl = 170 mSv kadar). Çernobil kaynaklı oldukça düşük düzeydeki 'ek bir doz', kanser gibi bir hastalığın oluşumu için ne 'tetikleyici bir doz', ne de 'bardağı taşıran' bir doz olarak algılanmalı. Böyle bir 'ek doz', zaten sürekli olarak doğadan ve diğer kaynaklardan alınmakta olan dozun içinde yavaş yavaş, zamanla entegre olarak, onu bir miktar yükselten bir doz olarak görülmeli ve buna göre değerlendirilmeli. Burada yukarıda ayrıntılarıyla açıklanan doğal radyasyon dozunun oldukça büyük 'normal değişim aralığını' da gözardı etmemek gerekiyor. Çernobil'den hava akımlarıyla gelen radyoaktif maddeler, bir anda insan vücuduna ulaşmamış, toprakta yetişen besin maddeleri, et ve sütlerinin yenilip içildiği, hayvanlar yoluyla azar azar zamana yayılarak insan vücuduna, diğer doğal radyoaktif maddelerle birlikte girmiştir. Sürekli olarak vücudumuzda oluşan doğal radyasyon dozunun ve bundaki büyük değişimlerin olumsuz olabilecek etkisini hücreler yok edebilecek mekanizmayı bulmuş olmalı ki insanın normal yaşamı bundan etkilenmiyor. Hatta oldukça büyük sayılabilecek 200 mSv'lik dozun altındaki dozların vücuda iyi geldiğini ileri süren bilim adamları da var. Bunlar, 200 mSv'den daha düşük dozlar için. 'Radyasyon Hormesis' ya da organizmanın düşük dozlarda uyarılıp işlevini yapmaya başlatıldığını ve 'Adaptiv response' ya da 'Uyum tepkisi' sonucunda ise düşük dozlarda önceden ışınlanma sonrası hücrelerin yüksek dozlara karşı dirençli hâle getirildiğini ileri sürüyorlar (Bölüm 2'nin sonlarına bk.). Çernobil radyoaktivitesinin Türkiye genelindeki ortalama değeri ise yukarıda belirtildiği gibi ilk yılda 0,6 mSv ve yaşam boyunca da 6 mSv kadar.

Çernobil radyoaktivitesi sağlığımızı etkiledi mi, etkileyecek mi? sorusuna yanıt vermeye çalışmak, vücudun sürekli etkilenmekte olduğu doğal radyasyon dozundaki yukarıda açıklanan büyük değişimleri de gözönüne alarak, aynı soruya doğal radyasyon dozu için de yanıt vermeye çalışmakla eşdeğer. Bilim bilindiği gibi gözlem ve karşılaştırmalarla sonuçlar çıkarıyor. Bugüne kadar yapılan yoğun epidemiyolojik çalışmalara rağmen sağlığa etkileri gözlemlenemeyen, kanıtlanamayan Çernobil dozları düzeyindeki

düşük radyasyon dozlarıyla ilgili olarak 'kanser yapar, yapmaz' tartışmalarında bilim yansız kalmak durumunda. Buna karşın bazı çevrelerin ellerinde ilgili bilimsel çalışmalara dayalı kanıtlanabilecek bulgular olmadan kanserlilerdeki artışı Çernobil radyoaktivitesine bağlamaları da doğru değil. Öte yandan birçok ülkede Çernobil kazasından önce tıpta tutulmayan kayıtlar, sonra tutulmaya başlandığından bu gibi yerlerde kanser hastalıkları artıyor gibi tartışmalı sonuçlar çıkarılıyor. Gerçekten de kanserli sayısında belirgin bir artış varsa, Çernobil radyoaktivitesinin etkileriyle ilgili araştırmaların yanı sıra, bunun bu arada gelişen endüstrileşmenin getirdiği çevremizin toprak, su ve havasında gitgide artan atıklardaki kimyasallardan mı ya da sigara gibi çok daha başka etkenlerden mi kaynaklandığının iyice araştırılması ve bu artışı hemen Çernobil radyoaktivitesine bağlamamak doğru olur. Gerçek durum, yukarıda belirtildiği gibi, ancak epidemiyolojik uzun süreli bilimsel araştırmalarla ortaya konabilir.

Öte yandan, Çernobil çevresinde yaşayan kanserlilerden bugüne kadar Çernobil radyoaktivitesiyle ilişkisi olduğu belirlenebilen çocuklarda gözlenen sadece tiroit kanseridir (sütteki aşırı İyot 131 nedeniyle). Buralarda yaşayan yaklaşık 100.000 kadar çocuğun 300 mSv'den çok tiroit dozu aldığı ve 1990'dan bu yana çocuklardaki tiroit kanserinin belirgin olarak arttığı açıklanıyor (1986-2002 arasında: 4.950 tiroit kanserli çocuk belirlenmiş). Bunların ölümle sonuçlanma riski ise ICRP⁹ kestrimlerine göre tüm vücut ışınlanması riskinden çok daha düşük ve Sievert başına: % 0,08. Çernobilde kazadan sonra çalışan birkaç yüz bin işçiden herbiri 100 mSv'den daha çok doz almasına karşın, bunlarla ilgili Çernobil radyoaktivitesine bağlanabilecek belirgin bulgular yok. Çernobil çevresinde yaşayanların vücutlarında oluşan 100 mSv'den daha çok dozların bile kanser nedeni olup olmadığı, aradan geçen bunca yıla rağmen tiroit kanseri dışında, belirlenemezken, Almanya ve Türkiye'de alınan ortalama 2-6 mSv'lik yaşamboyu dozlarının etkilerinin belirlenemeyeceği açık. Bu nedenle bu konuda hertürlü sav ya da spekülasyon yüzbinlerce kişinin incelendiği bilimsel araştırmaların desteğinden yoksun kalmak durumunda.

Çernobilden alınacak ders ise, önceden ilgili tüm önlemleri alarak hazırlıklı olmak ve kaza durumunda radyoaktivitesi yüksek olan bölgelerde gerekli ölçümlere ve değerlendirmelere dayalı önlemlerle buralarda yaşayanların daha fazla radyasyon dozu almalarını önlemek olmalı, alınabilecek radyasyon dozlarını ne abartılı, ne de önemsiz görmeli. İlgili ve yetkili tüm kurumlar, üniversiteler gerekli ölçüm ve bilimsel çalışmaları başlatmalı, yapıları ve elde edilen bulguları geciktirmeden ve sürekli olarak tam saydamlıkla halka açıklamalı.

⁹ ICRP: Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu

Öneriler

Türkiye'deki Çernobil sonrası yapılan çalışmalar, Almanya'da ve Uluslararası Kurumlarda yapılan benzer çalışmaların ışığında gözden geçirildiğinde Türkiye için aşağıdaki öneriler yapılabilir:

1. İnsan vücudunda oluşan **doğal radyasyon dozlarının bölgesel ve yerel olarak belirlenmesi** ve böylelikle 'taban dozların' karşılaştırmalarda 'temel ölçüt olarak' kullanılması. Oturulan yere göre topraktan, sulardan, havadan, evlerden, besinlerden ve kozmik ışıklardan (vücut dışından ve içinden) alınan doğal radyasyon dozlarının, dünya ortalamaları kullanılarak değil, bölgesel ve yerel ölçüm ve verilere dayanılarak hesaplanması,
2. TAEK internet sayfalarında yayımlanan bazı doz değerlerinin 'izin verilen limitler' altında kaldığı gerekçesi yerine, 'Doğal Dozlarla' karşılaştırmalarının yapılarak katkının belirlenmesi gerekir. Doz limitinin altında da olsa kitlesel ışınlamalarda vücutta rastgele (stokastik) hasarların ortaya çıkabileceği düşünülerek 'limitin altında olan bir doz değerinin bir güvence sağlamıyacağı' açık.
3. Türkiye gibi geniş bir ülkede her bölge ve yöreye TAEK'nın ulaşamayacağı, bu nedenle bu konulardaki çalışmalara üniversitelerin, araştırma merkezlerinin, endüstrinin ve hatta 'büyük belediyelerin' katkıda bulunmaları ve bunların TAEK'nın yanında yer almaları, ilgili birimleri ve laboratuvarları kurmaları önerilir. Bunların yapılabilmesi için ise, ilgili yasa ve yönetmeliklerin çıkarılması gereklidir.

'ÇERNOBİL RADYOAKTİVİTESİNDEN NE KADAR ETKİLENDİK? SORUSUYLA İLGİLİ MEDYADA YER ALAN TARTIŞMALI YAZILARA, ÇEŞİTLİ DERGİLERDE VERDİĞİMİZ YANITLAR

Çernobil Kazası Sonrası:

'Gömülen çaylar o gün de içilebilir durumdaydı, bugün de!'

Bu söylem, Gümüşhane Vilayeti internet sitesinde ve 30 Kasım 2010 günü Hürriyet'in Sağlık köşesinde yayımlanan habere göre TBMM Kanser Araştırma Komisyonu Başkanına ait.

Haberde devamla:

Kanser Araştırma Komisyonunun TBMM'de grubu bulunan 4 siyasi partinin milletvekillerinden oluştuğunu ifade eden başkan, 10 AKP, 3 CHP, 2

MHP ve 1 BDP milletvekili ile geçtiğimiz Mayıs ayından bugüne kadar 30 toplantı ve 50 sivil toplum örgütü ve bilim adamı ile görüştüklerini söyledi. ‘ Bugün ortaya çıkan veri şu ki o günlerde Sanayi ve Ticaret Bakanı Cahit Aral ve Başbakan Turgut Özal tarafından **çayların rahatlıkla içilebileceği şeklindeki telkinleri doğru çıktı**. O gün hem dünyanın hem de Türkiye’nin radyasyon aktivitesi hakkında yeterli bilgisi olmadığından dolayı da birçok çayın gömüldüğünü anlıyoruz. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nun o dönem radyoaktiviteye maruz kaldı diye gömülen çayların olduğu bölgede 2008 yılından beri ölçüm yapılmadığını hatırlattı, buradan herhangi bir radyoaktivite, insan sağlığını tehlikeye sokabilecek, kansere neden olacak bir radyoaktivitenin salınmadığını tespitiyle bundan sonra artık ölçülmeyeceğini belirtti. **Çaylar o gün de içilebilir durumdaydı, bugün de!**’ Gümüşhane Vilayeti internet sitesinde : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığında (TAEK) görevli bir Fizik Yüksek Mühendisi, 16 Haziran 2010 Çarşamba günü ilgili komisyona verdiği bilgide: Doğu Karadeniz’deki kanser vakasının artış hızının diğer bölgelerdekinden fazla olmadığını belirterek, “**Bilimsel veriler ışığında, kanser konusunda Çernobil kesinlikle aklanmıştır. Çünkü dozlar, hesaplar ve riskler ortadadır.**” demiştir.

Yukardaki söylemlerle ilgili görüş ve değerlendirmelerimiz aşağıdadır:

Radyasyon fiziğinde yaklaşık olarak 100 yıldır araştırmalar yapılmakta olup Çernobil kazasının olduğu 1986 yılında **gerek dünyanın ve gerekse Türkiye’nin yeterli bilgisi olmadığı ve bu nedenle birçok çayın gömüldüğü** şeklindeki söylem gerçeklere uymamaktadır. Şöyle ki: Türkiye, İstanbul’daki Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi’nin kuruluşundan beri (1961) Avrupa Topluluğu’nda uygulanan Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) standartlarını benimsemiştir. Türkiye’nin 1986’da da aynı standartlara göre radyoaktif maddelerle ilgili yöntemleri belirlemiş olduğu, radyoaktivitesi ,radyoaktif atıklar ölçüsünde’ çok yüksek olan (vücut için geçerli olan sınır değeri çok aşan) çaylardan 58.000 ton kadarını 36 gömü alanında 46 gömü yerine, o zamanki hükümetin onayıyla gömülmüş olduğu, TAEK’ca sonradan açıklanmıştır/2/. Öte yandan TBMM Çernobil Araştırma Komisyonunun 1994’de yayımlanan raporunda çok yüksek radyoaktiviteli (89.000 Bq/kg) 140.000 ton çaydan bir bölümünün harmanlanarak radyoaktivitesi kuru çaydaki ,türetme sınır değer’ olan 12.000 Bq/kg’a indirilerek ve 20.000 ton kadarının ise harmanlanmadan piyasaya sürüldüğü yer almaktadır /2/. Bu veriler doğruysa çok yüksek radyoaktiviteli 20.000 ton çay, standartların öngördüğü sınır değerler gözardı edilerek halka ulaşmış ve bu çayları içenler gereksiz yere ışınlanmışlardır.

‘Bugün ortaya çıkan veri şu ki o günlerde Sanayi ve Ticaret Bakanı Cahit Aral ve Başbakan Turgut Özal tarafından çayların rahatlıkla

İçilebileceği şeklindeki telkinleri doğru çıktı' söylemi çok yanıltır ve o zamanki gibi bugün de halkı yanıltılmaktadır. Bilindiği gibi, yiyecek ve içeceklerle vücuda giren her çeşit zararlı maddelerde olduğu gibi radyoaktif maddeler için de ilgili standartlara göre belirlenen sınır değerler vardır. Çernobil radyoaktivitesinden etkilenen çaylarda bu sınır değerler aşıldığında çayların halka ulaşmasını önlemek, ilgili standardın ve yönetmeliğin gereğini sağlayan, halkı koruyucu bir önlemdir. Özellikle halkın kitlesel ışınlanmasında kişi sayısı arttıkça, doz düzeyi düşük de olsa, o toplumda hasar olasılığının (örneğin kanser ölümleri sayısı ile ilgili riskin) artacağı bilimsel araştırmaların bir sonucudur. Öte yandan dozlarla ilgili sonradan **,ortaya çıkan veri'**lerin düşük değerlerde olmadığı tam tersine, örneğin 1986/1987 raporundaki eski doz değerlerinden (3 ile 7 kat arasında) çok daha büyük olduğu TAEK'in internet sayfalarında 2006'da yayımlanan Çernobil'in 20. Yılı raporlarında yer alan yeni değerlerden hesaplanabilir /1/ ve /3/.

"Bilimsel veriler ışığında, kanser konusunda Çernobil kesinlikle aklanmıştır. Çünkü dozlar, hesaplar ve riskler ortadadır" söylemi bilimsel bir açıklama değildir. Bilimsel çalışma sonuçları açıklanırken, yargıdaki gibi bir aklanmadan' söz edilmesi doğru olmaz. Çünkü **'...kesinlikle aklanmıştır'** söyleminden, kanser konusunda Çernobil radyoaktivitesinin Türkiye'de hiçbir bir etkisi olmadığı anlaşılır. Etkinin olup olmadığını gösteren bulgular ise **'bilimsel kesinlikle'** bugün dahi ortaya konabilmiş, kanıtlanabilmiş değildir. 1986'dan bugüne kadar Türkiye'nin Çernobil'den oldukça çok etkilenen Karadeniz ve Trakya bölgelerinde, yoğun ve uzun süreli epidemiyolojik çalışmalar, tıp başta olmak üzere, çeşitli bilim dallarında (ortak ya da birbirini tamamlayıcı bilimsel araştırmalar) yapılmamıştır. Bilindiği gibi epidemiyolojik araştırmalar radyoaktif ya da kimyasal zehirli maddeler gibi herhangi bir maddenin yoğun etkisi altında kalmış bir topluluğun, bu maddelerden etkilenmemiş olan başka bir halk kitlesiyle (kontrol grubuyla) karşılaştırılmalı olarak uzun süreli çalışmalar olup bu topluluklardaki her kişinin sağlık durumuyla ilgili tüm analizler yapılmakta, bunlar sürekli olarak izlenmekte ve elde edilen bulgular, ilgili bilim dallarındaki uzmanlarca birlikte değerlendirilip sonuçlar çıkarılmaktadır. Ancak bu çeşit yoğun çalışmalar sonucu bilimsel veriler elde edilip Çernobil'in bir etkisi olup olmadığı uzun sürede değerlendirilebilir. 2006'da TAEK internet sayfalarında tekrar yayımlanan 1994'deki TBMM Çernobil araştırma komisyonu raporunda 1986 sonrası yapılan çalışmaların yanısıra yapılamayanlar da eksikleriyle yer almakta ve çeşitli eleştiriler de bulunmaktadır/2/. Nisan 1986 sonu radyasyon ölçümlerinin Trakya'da yapılabildiği, 1 hafta sonra radyoaktif maddelerle yüklü yağmurlar Doğu Karadeniz bölgesini etkilerken personel ve alet yetersizliğinden buralarda anında ölçümler yapılamadığı biliniyor ve bu raporda /2/ da yer almaktadır. Öte yandan Türkiye'de (özellikle kırsal bölgelerde) hastalık

ve ölüm nedenlerini açıklayan kayıtların tutulmadığı biliniyor ve bu eksiklik TBMM'nin 1994 raporunda da vurgulanıyor. Dolayısıyla hastalıkların ve ölümlerin oluş nedenlerini açıklayan kayıtlara dayanan bilgiler bulunmadığından Çernobil'in katkısı bilimsel olarak belirlenemez.

TAEK'nın 20 yıl sonra yaptığı yeni hesaplarla, eski değerler yukarı doğru düzeltilmekle birlikte, bunlardan kesin sonuçlar çıkarılamaz. Sadece, 'doz ve risk' hesaplamaları sonucu, etkilenen topluluk içinde rastgele kaç kişinin kansere yakalanıp ölebileceği kestirilebilir. Ancak bu yaklaşımla örneğin 100.000 kişilik kritik bir grup için hesaplanan Çernobil kaynaklı 100 kanser ölümlü gibi bir değer, toplumda % 25 kadar yüksek orandaki diğer nedenlerle ortaya çıkan 25.000 kanser ölümleri yanında çok küçük kalacağından hiçbir zaman belirlenip kanıtlanamaz. Tüm bu açıklamalara rağmen, kitlesel ışınlamalarda doz arttıkça hasarlı kişi sayısı (risk) artacağından, diğerlerine göre çok daha fazla ışınlanan ,kritik gruplar' önem kazanmaktadır. Buna bir örnek: 1986 da Rize bölgesindeki 40 kadar çay fabrikasının 40.000 kadar işçisinin fabrikalarda hareketli bantlar üzerindeki yüksek radyoaktifiteyi çaylarla yakın temasta çalıştıkları, çay çuvallarının üzerine oturdukları, bunları sırtlarında taşıdıkları bilinirken, işçilerin günde kaç saat, kaç gün ve ne şiddette (doz hızında) dıştan ışınlandıklarıyla ilgili ölçüm ve değerlendirmeler yapılamamıştır (Dıştan ışınlanma, tüm vücuttaki radyoaktifiteyi gösteren ,whole body counter' aletleriyle değil, ancak yerinde yapılan dıştan ölçümlerle ya da vücuda takılan dozimetrelerle belirlenebiliyor). Ayrıca çay işçilerinin daha az doz almalarıyla ilgili önlemlerin alınıp alınmadığı da bilinmiyor. Benzer durum fındık işçileri için de söz konusudur.

Japonya'da 1945'te atılan atom bombalarından kurtulan, sayıları 100.000'e varan (kontrol grubuyla birlikte 200.000 kişi) çok yüksek radyasyon dozu alan kişiler üzerinde son 60 yıldır yapılan yoğun epidemiyolojik araştırmalar sonucunda ise ,radyasyonla' sadece ,kan kanseri' arasında bir ilişki saptanabilmiştir. Diğer kanser türleriyle radyasyon arasında bir ilişki bulunamamıştır (Bk. Bölüm 2). Ancak bu sonuçlara bakarak radyasyonun Japonya'daki yüksek dozlarda dahi önemli bir etkisinin olmadığını (ya da yukardaki söylemdeki gibi aklandığını) söylemek çok yanlış olur. Bilimin, gözlem ve karşılaştırmalardan sonuçlar çıkardığı bilinir. Bilimde, gözlenemeyen ve doğruluğu sınınamayan olgulara ise yok denemez, sadece ,bilimsel olarak belirlenemiyor' denilebilir.

Yukarda ayrıntılarıyla açıklanan belirsizlikler gözönüne alındığında, ,bugüne kadar yapılabilen ölçüm ve değerlendirmelerden elde edilen bulgulara göre Çernobil kazasının Türkiye'de ,kanserli kişi sayısını' arttırıp arttırmadığı bilimsel olarak kesinlikle saptanamıyor ya da kanıtlanamıyor' demek daha doğru olur.

TBMM Kanser Araştırma Komisyonu, Çernobil'in etkilerini bilimsel olarak araştırmayı düşünüyorsa, başta TBMM Çernobil Araştırma Komisyonu'nun 1994 raporundaki 'Sonuçlar ve Şerhler' bölümündeki açıklamaları, Tübitak Bilim Teknik dergisi Aralık 2007 sayısında yayımlanan bu konudaki ayrıntılı yazımızı incelemesi ve yukardaki görüşlerimizin ışığında ilgililerle görüşerek durumu yeniden değerlendirmesi önerilir (Bk.: yukarıdaki yazımız). Ayrıca bu konuda derinlemesine bilimsel araştırmaların ve doğru bilgilerin, ancak ilgili tüm kurumların katkısıyla Tübitak projeleri hâlinde sağlanabileceği düşünülebilir (TAEK, üniversiteler, Sağlık Bakanlığı gibi kurumlar).

Öte yandan o zamanlar gömülen çay çuvallarının gömüldüğü yerlerin, radyoaktivite cins ve miktarlarıyla çevredeki toprak, su ve besinlerde yapılan ölçümlerle birlikte TAEK internet sayfalarında yer alması, hem bu konudaki spekülasyonları önleyeceğinden ve hem de halkın bilgi edinmesi ilkesine uyacağından çok yararlı olacaktır.

/1/ TAEK Basın Açıklaması 25 Aralık 2009

/2/ TBMM Çernobil Araştırma Komisyonu raporu(1994)

/3/ www.taek.gov.tr Çernobil 20.yıl dosyaları

/4/ NTV Bilim dergisinin Şubat 2011 sayısındaki bu konudaki yazımız

Çernobil Hatırası:

Rize Üniversitesi Bahçesinde Gömülü Yüksek Radyoaktifiteli Çaylarla İlgili Basındaki Açıklamalar Radyasyon Fizikine Göre Yanlışlar ve Doğrular

26 Nisan 1986'daki Çernobil nükleer santralındaki kazanın ardından hava akımlarıyla birçok ülkeye ve bu arada Türkiye'ye de taşınan radyoaktif maddelerin, özellikle Rize çevresindeki fındık ve çay bahçelerini yoğun olarak etkilediği biliniyor. O zamanlar Rize'deki üreticilerin elinde kalan oldukça yüksek radyoaktifiteli 58.070 ton çayın, 1988 yılında Bakanlar Kurulu'nun aldığı karar uyarınca, buldukları Çay İşletmeleri'ne ait fabrika arazilerinde uygun alanlara gömülmesinin ve buraların Türkiye Atom enerjisi Kurumu (TAEK) uzmanlarının gözetim ve denetiminde bulundurulmasının kararlaştırıldığını, TAEK'in 25 Aralık 2009 günü 'Basın Açıklaması'ndan öğreniyoruz (36 gömü alanında toplam 46 gömü yeri bulunuyor).



Şekil 6.3: Rize üniversitesinde 2009'da kazı yapılırken çay çuvaları ortaya çıkıyor

Gerek Aralık 2009'da gerekse Mart 2010'da, Rize Üniversitesi'ndeki halı saha yapımı sırasında, 1986'daki Çernobil nükleer santral kazasının ardından toprağa gömülen çay çuvalarına rastlandığı ve "radyasyon paniği" yaşıandığı haberleri basında yer aldı. Açılan çukurun, radyasyonu azaltmak amacıyla önce 80 kamyon taşla doldurulduğu, ancak yapılan ölçümlerde radyasyonun azalacak yerde iki katına çıktığı, bu artımın granitin radyoaktivitesinden kaynaklandığı, çukurun başka bir malzemeyle doldurulup üzerine beton döküldüğü, Rize Üniversitesi Rektörü tarafından açıklandığı haberlerde yer aldı. Jeofizikçi bir profesörümüz ise, radyasyon düzeyindeki artışın granitten değil, NIGA (nötronların etkisiyle oluşan gama aktivitesi) etkisiyle topraktaki bazı maddelerin radyoaktif hâle gelmesinden kaynaklandığını internetteki eleştirel yazısında belirtti. Bu haberlere dayanarak, konuyla ilgili radyasyon fiziği değerlendirmelerimizi ve çıkan sonuçları açıklayalım:

- Jeolojik kayalar içinde granitin oldukça çok radyoaktif madde içerdii bilinir. Granit ve volkanik doğal kayaların her gramında genellikle 0,5 ile 5 mikrogram (en çok milyonda beş: 5 ppm) arası uranyum bulunuyor. 1 kg granit, ortalama 1000 Bq potasyum (K 40), 80 Bq toryum (toryum 232 dizisinden) ve 60 Bq uranyum (uranyum 238 dizisinden) radyoaktivitesi içeriyor. Toprak (ya da granit kayalarla kaplı) bir alanda bulunan insanlar, toprağın üst yüzeyinin sadece 5-15 cm kalınlığındaki katmanında bulunan radyoaktif maddelerin saldığı radyasyondan etkilenebilir (Daha derinden gelen radyasyonun büyük bölümünü üst katmanlar tuttuğundan). Toprak ya da kayalarda bulunan radyoaktif maddelerin 1 m yükseklikte oluşturdukları radyasyon **doz hızları, her biri saatte milyarda bir Sievert (nSv/h) olarak**, K 40 için 33 nSv/h, toryum dizisi için 41 nSv/h ve uranyum dizisi için 21 nSv/h olmak üzere toplam olarak kabaca 100 nSv/h kadardır (Saatte 100 nano Sievert, ayrıntılar için bk.: Ek 6, Çizelge E 5).

- Granit kayalar çukurda bırakılıp, üzerindeki halı saha kullanılsa, bir kişinin her gün 1 saat top oynadığı ve Rize’de kullanılan granit ve başka taşlardaki radyoaktivitenin yukarıda bulunan değerın 2 katı olduğu varsayılsa bile, bunun yıllık radyasyon dozuna katkısı en çok $2 \times 100 \text{ nSv/h} \times 365 \text{ gün} \times 1 \text{ h/gün} = 73.000 \text{ nSv} = 73 \text{ mikro Sievert}$ olur. Bu miktar, her birimizin çevreden ve kozmik ışınlardan yılda aldığı toplam 800 mikro Sievert’lik dozun yüzde 9’u (evlerde aldığımız doğal radon dozuyla hesaplanırsa, bu katkı yüzde 4’e iner). Görüldüğü gibi, granit kaya tabanlı top sahasının doğal yollarla aldığımız radyasyon dozuna önemli bir katkısı yok. Ayrıca, doğal radyasyon dozu yer ve zamanla, en azından yüzde 20 değişiyor. Rize’de ne cins aletlerle ve yüzeyden hangi yükseklikte kaç ölçüm yapıldığını bilmediğimiz için, bu açıdan değerlendirme yapamıyoruz.
- NIGA etkisi, radyoaktif çaylardan yayılan radyasyon için söz konusu olamaz. NIGA etkisi, Nevada gibi nükleer bomba denemelerinin yapıldığı yerler için geçerlidir. Çernobil kaynaklı Cs137 gibi radyoaktif maddeli çaylardan yayılan gama ve betaların toprakta başka maddeler oluşturduğu savının bilimsel bir dayanağı yoktur.
- 1986’dan bugüne kadar geçen uzun süren ardından, Çernobil kaynaklı çay çuvallarındaki radyoaktif maddelerden özellikle sezyumun (Cs137) radyoaktivitesi, kabaca yarıya inmiş olmasına rağmen yine de yüksektir (Cs 137’nin yarılanma süresi 30 yıl kadardır). Örneğin, kilogramında 40.000 Bq’lik Cs137 bulunan çay çuvallarında bu değer bugün 20.000 Bq/kg düzeyindedir. Bu nedenle, halı sahada top oynayanların dışarıdan alacağı önemsiz doza odaklanmaktan çok, yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa geçen radyoaktif maddelerin bitki ve hayvanlar yoluyla insana ulaşabileceği gözönüne alınarak çevrede ayrıntılı ölçüm ve bilimsel değerlendirme yapılması daha yararlı olur.
- Radyoaktif çayların, uluslararası “radyoaktif atık” standartlarına uyularak saklanması gerekirken, herhangi bir yere çukur kazılarak gömülmesi doğru değil. Hiç değilse gömülen yerin tel örgülü bir çitle çevrilip işaretlenmesi ve belli zaman aralıklarıyla denetlenmesi gerekirdi. Arazi ve çevresindeki radyoaktivite düzeyinin ölçülmesi, çevrede yaşayanların alabileceği radyasyon dozlarının kamuoyuna ayrıntılarıyla bildirilmesi beklenir. Türkiye’de radyoaktif çayların başka nerelerde gömülü olduğu, hangi denetim ve ölçümlerin yapıldığı, ne sonuçlar alındığı, halkı koruyacak önlemlere gerek olup olmadığı kamuoyuna açıklanmalıdır.

Radyasyon fiziğine göre, halı saha yapımıyla ilgili olarak, açılan çukura 80 kamyon granit taş doldurup sonra bunları çıkarmaya, başka maddelerle doldurup betonlamaya gerek yoktu; kaldı ki betonda da radyoaktif maddeler var. 1 m kalınlığında toprak, dıştan alınabilecek çok düşük düzeylerde ek radyasyonu zırlamaya yeterli.

Çay çuvallarında Çernobil kaynaklı radyoaktif maddelerden en bol bulunanı, 30,17 yıl yarılanma süreli sezyumdur 137 (Cs 137). Çuvallardaki çayların içerdikleri radyoaktif maddelerin cins ve radyoaktivitelerine göre atıklar için uygulanan 'serbest sınır değerleri' aşması durumunda, 'Radyoaktif Atık' olarak uygun yerlerde depolanmaları ve bu depoların kontrol altında bulundurulmaları, ilgili uluslararası standartlara göre gerekiyor.

Rize Üniversitesi bahçesinde serbestçe yapıldığı anlaşılan kazıda rastgele bulunan çay çuvalları, gömü yerinin bir çitle çevrilmediğini ya da denetim altında bulunmadığını gösteriyor. İlgili çay işletmesinin bu araziyi üniversiteye devrederken radyoaktif atıklı alanda gerekli koruyucu önlemlerin alınmasını sağlamak için TAEK uzmanlarıyla birlikte yazılı bir 'devretme sözleşmesi' yapıp yapmadığı ise bilinmiyor.

Benzer şekilde diğer 45 gömü yerinden her birinin çitle çevrili olup olmadığı ilgili denetimlerin yapıp yapılmadığı da, yukarıdaki TAEK basın açıklamasında yer almıyor. Ayrıca her bir gömü yerinde başlangıçta hangi radyoaktif maddelerden ne miktarlarda bulunduğu (envanteri) da açıklanmış değil.

Halbuki ancak bu bilgilerin ışığında bugün hangi cinsten ne kadar radyoaktif maddenin arta kaldığı kestirilebilir ve bazı önlemlere gerek olup olmadığı her gömü yeri için kestirilebilir.

Daha önce Çaykur'a ait bir alanın, 1999'da Rize Üniversitesi'ne devredilmiş olduğu ve burada 1.380 ton çayın gömülü olduğu, arazi çevresinden alınan toprak, su ve bitki gibi örneklerin ölçümüyle yapılan değerlendirmelere göre çevre ve insan sağlığı açısından herhangi bir olumsuz etkinin olmadığı, TAEK açıklamasında yer alıyor.

Çernobil kaynaklı çay çuvallarındaki radyoaktif maddelerden yağmur ve yeraltı sularıyla toprağa geçebilenlerin, 'toprak, su, bitki ve hayvan zinciri' ya da 'doğrudan kuyu ya da kaynak suları' yoluyla insana ulaşabileceği göz önüne alınarak, çevrede ayrıntılı ölçüm ve değerlendirmeler yapılıyor mu bilinmiyor?. Öte yandan özellikle sezyumun topraktaki maddelere kimyasal olarak bağlanması sonucu bitkilere çok az ulaşacağı, ayrıca çuvallardaki daha düşük radyoaktifiteli sezyumlu çayların da geçen uzun sürede neredeyse yarılanması sonucu, radyoaktivitelerinin 'serbest sınır değerlerin' altına inmiş olabileceği göz önüne alınabilir (Cs 137'li atıklar için serbest sınır değer 10.000 Bq/kg).¹⁰

TAEK'in basın açıklamasına göre Çernobil kaynaklı radyoaktivite denetim altında olup çevre ve insan sağlığı açısından herhangi bir kaygıya yer yok. Ancak, tüm 46 gömü yerinde bugüne kadar yapılmış olan ölçüm ve

¹⁰ Bq (Becquerel): Radyoaktivite birimi olup 1 Bq, saniyede 1 bozunma gösteren radyoaktif madde miktarıdır.

değerlendirmelerle ilgili bilimsel raporların TAEK internet sayfalarında kamuoyuna sunulması ve bunların sürekli güncellenmesi beklenir. Bu açıklamaların tek olumlu yanı, radyoaktivitenin hem o yörede hem de gömülü çayların bulunabileceği başka yörelerde toprak, bitki, hayvan ve insan zincirine ne ölçüde ulaştığının ortaya çıkarılmasıyla ilgili bilimsel araştırmaları başlatması umudu.

Sonuç olarak, 58.000 ton çayın bulunduğu 46 gömü yeri ve çevresindeki bilimsel çalışmalarla ilgili teknik raporların TAEK internet sitesinde açıklanması ve bunların sürekli güncellenmesi beklenir. Böylelikle çevre ve insanın 'Çernobil Mirası'ndan etkilenip etkilenmediği kamuoyunun gözleri önüne serilecek ve çevredeki halkın kaygıları giderilebilecek, medya ve internetteki spekülasyonlar da önenebilecektir.

Radyasyon fiziğindeki hesaplamalara göre, halı saha yapımıyla ilgili olarak, ne açılan çukura 80 kamyon granit taş doldurup sonra bunları çıkarmaya, ne de başka maddelerle doldurup betonlamaya gerek vardı (kaldı ki betonda da radyoaktif maddeler bulunuyor). 1 m kalınlığında toprak dıştan alınabilecek çok düşük düzeydeki ek radyasyonu zırlamaya yeterliydi.

(Bu yazı, NTV Bilim dergisinin Nisan 2010 sayısındaki yazımızın genişletilmiş şeklidir).

Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisinin 08 Haziran 2007 Günkü Sayısında 'Çernobil Gerçekte Sağlığımızı Ne Kadar Etkiledi?' Başlığıyla Yayımlanan Bir Yazıyla İlgili Yorum ve Açıklamalarımız

Konuya çoğunlukla yabancı Cumhuriyet Bilim teknik (CBT) okurlarının, yazıda açıklanmadığından, bilemeyeceği, değerlendiremeyeceği milisivert (mSv), Becquerel (Bq) birimli ve virgülden sonra çok basamaklı 'değişmez sabiteler' gibi sayılarla yazıda bir takım sonuçlar çıkarılmakta, daldan dala atlanarak 'Radyasyon Fiziği' konularında ne yazık ki doğru olmayan bir dizi açıklama ve yorum yapılmakta. Yazının iddialı başlığının yanıtı ise bu sayılar ve farklı konular arasında kaybolmakta; başlıkla, son bölüm arasında ise hiçbir ilişki görülememekte. Popüler bir bilim ve teknoloji Dergisi olan CBT, bu yazıyla okurlarını 'Çernobil gerçekte sağlığımızı ne kadar etkiledi?' sorusuna bir yanıt vermiş oldu mu?, düşünülmeğe değer.

Yazının neredeyse her cümlesiyle ilgili bir açıklama yapmamız çok uzun

olacağından, biz burada sadece önemli gördüğümüz noktalara değineceğiz. Radyasyon Fiziğindeki kavram ve birimlerle birlikte bu konularda daha derinlemesine bilgi edinmek isteyen okurların bu kitabın Bölüm 1, 2 ve Eklerine bakmaları:

1. Çernobil'in etkisinin sınırlı kaldığı doğrudur. 'Çevremizdeki doğal radyoaktivite düzeyinin hızla artması ' ise doğru değil, özellikle 1962 yılı için verilen 0,05 mSv ve sonraki yıllarla ilgili değerler hiç doğru değil, çünkü sadece insanda oluşan kozmik ışın dozu ortalama 0,30 mSv, radon gazından kaynaklanan ise tarihin her döneminde 1 mSv'in üstünde olmak durumunda. Nedeni radon milyarlarca yıldır yer kabuğunda bulunan uranyum ve toryum dizilerinden oluşmakta ve insanları solunum yoluyla özellikle taban katı iyi izole edilmemiş evlerde ışınlamakta ki eskiden dünyadaki birçok ev bu durumdaydı..
2. 'Günümüzdeki 2,4 mSv'lik doz' doğru ancak bu Dünya Ortalaması olup 1-10 mSv arasında değişim göstermekte, Brezilya, Çin ve Hindistanın bazı yörelerinde yılda 25 mSv'lik dozun alındığı yerler de var. Türkiye'de çeşitli bölgelerde vücudun aldığı doğal radyasyon dozları ise ölçülüp hesaplanmamış, her bölgeye uygulanamayacak 'Dünya Ortalamaları' hâlâ kullanılıyor.
3. Yazıda: '*Fosil yakıtlar, fosfat içeren yapay gübreler, böcek öldürücüler ve deterjanlar de çevremizde doğal radyoaktivite yoğunluğunu artırmakta*' denilmekte.

Bu gibi maddelerin içindeki doğadan kaynaklanan radyoaktif maddelerin ve hatta kışın buz tutmasına karşı yollarda çok kullanılan tuzun içindeki Potasyum 40'ın bulunduğu ve bunların zamanla zenginleştiği doğru. Ancak genel halk için, insanın vücudunda, bu katkı maddeleri nedeniyle oluşabilecek dozda, bunların önemli bir payı yok. Herhangi bir kişi tuzlu yolda, gübre fabrikası ya da gübreli sebze tarlasında sabah akşam kalmadıkça, yatmadıkça bu ek radyoaktif maddeler onu etkilemeyecek, besinler yoluyla alabileceği ek doz ise deveye kulak kalacak: belki Doğal Radyasyon dozu içindeki payı % 12 kadar olan sindirim dozundaki ek % 0,1 bile olmayacak ki bu da sindirim dozundaki büyük değişimler gözönüne alınırsa önemsiz. Bu gibi endüstri ürünlerindeki ek radyoaktiviteden kaynaklanan dozun, insanın toplam doğal radyasyon dozu içindeki payının önemsiz ölçüde olduğu 'Radyasyonun etkilerini inceleyen Uluslararası Bilim Kurulunun (UNSCEAR) ilgili raporunda da vurgulanıyor. Öte yandan yapay radyoaktif maddelerle ilgili olarak vücudun aldığı radyasyon dozuna büyük katkısı olan Tıp' daki uygulamaları da katmak gerekir. Böylelikle vücutta oluşan yapay radyasyon dozu kişi başına ortalama olarak 1,6 mSv dir (Çoğu akciğer röntgen film çekiminden kaynaklanmakta = Tanısal Radyo-

loji). Böylece yılda ortalama olarak kişi başına alınan toplam radyasyon dozu: $2,4 + 1,6 = 4,0$ mSv olup bunun % 60'ı doğal, % 40'ı da yapay kaynaklardan vücutta oluşuyor.

4. Yazıda... *'1986 yılında en yüksek değerlerde radyoaktivite içeren çaylardan alınan 0.66 mSv yıllık dozun, Amerika'da Denver yüksekliğinde (1600 m) 2.5 yıl yaşayan kişilerin sadece kozmik ışınlardan aldığı radyasyona eşit olduğu vurgulandı'* deniliyor..

Sindirim yoluyla alınan radyasyon dozunu kozmik ışın dozuyla karşılaştırmak için Amerika'nın Denver'ine gitmeye ne gerek var ? Doğu Anadolu'nun 1500-2000 m yüksekliğindeki yerleşim yerlerinde de durum benzerdir ve yılda kozmik ışın dozunun 0,30-0,40 mSv kadar olabileceği tahmin edilebilir. Öte yandan TAEK Çernobil Dosyası 7.Bölümde gıdalar yoluyla yetişkin bir kişinin 1986'da aldığı toplam 0,6 mSv'lik doz değerine çaydaki radyoaktif maddelerin katkısının (Cs 134 ve Cs 137) % 35 kadar olduğu (0,2 mSv) yer aldığından aradaki bu büyük farkın yazıda açıklanması gerekirdi (www.taek.gov.tr).

5. Yazıda... *'Çernobil sürecinde, havadan dış ve iç ışınlanma, yerden dış ışınlanma ve Çernobil kazası ile kontamine olmuş malzemeden yapılan binalarda dış ışınlanma ve alınan gıdalardan iç ışınlanmanın toplamını müsaade edilen doz limitlerin altında olduğunu yazmak düşündürücüdür Beni tek teselli eden husus, radyasyon işçileri için doz limitinin 20 mSv/yıl olması ve ardışık beş yıllık periyot içinde bir defaya mahsus 50 mSv düzeyinde doza müsaade edilmesidir. Çernobil kazası nedeniyle 20 mSv düzeyindeki (yapaylar da dahil) yıllık doza maruz kalınmadığını rahatlıkla söyleyebilirim'* deniliyor.

'Müsaade edilen doz limitleri' ya da 'İzin verilen sınır değerler' aslında ülke içindeki nükleer tesislerin planlama, işletme ve kaza durumlarında gerek personelin ve gerekse çevredeki halkın aşırı radyasyon dozu almalarını sınırlamak için konulmuş değerler olup bunların altında kaldığıında 'doz azdır bir şey olmaz !' ya da 'alınan radyasyon dozunun sağlığa bir etkisi olmaz' anlamı çıkarılmamalı. Çünkü özellikle toplulukların ışınlandığı durumlarda doz için bir alt sınır bulunmuyor, sadece doz azaldıkça ilerde ortaya çıkabilecek kanser gibi geç hasarların olasılığı azalıyor. Bu nedenle eğer radyoaktivitenin vücuda ulaşmasını sınırlamak için zaman ve olanaklar varsa, sınır değerlere bakılmaksızın kuşkusuz gerekli önlemler alınarak vücutun alacağı radyasyon dozları, Çernobil sonrası bazı yerlerde yapıldığı gibi, düşürülmeli. Bunun sonucunda sınır değerlerin altında kalınsa bile, ilerde olasılığı az da olsa, bu dozların vücutta geç hasar oluşturmayaacaklarının bir garantisi yok. Bu nedenle, Çernobil dozunu üst sınır değerlerle değil, yaşamboyu alınan doğal radyasyon dozuyla karşılaştı-



mak daha uygun. TAEK Çernobil Dosyası 7.Bölümdeki verilere ve bizim de yaptığımız güvence eklemeleriyle birlikte Türkiye geneli için Çernobil radyoaktivitesinden yaşam boyu alınabilecek doz ortalama olarak 6 mSv dir ve bu yaşam boyunca (ortalama 70 yılda) aldığımız doğal radyasyon dozunun % 4'ü kadardır.

6. Yazıda... ‘ *Burada önemli olan nokta, halkımızın 1 Bq aktiviteyi bile fazladan almasını önlemek ve toplumu bilinçlendirmektir*’ denilmekte.

Bu tümüyle yerine getirilemeyecek ve getirilmesine de hiç gerek olmayan bir dilek. İnsan vücudunun doğal radyoaktif maddelerden kaynaklanan ortalama toplam radyoaktivitesi 9.000 Bq kadar (Ortalama 130 Bq/kg). İnsana bu nedenle düşük radyoaktifiteli bir radyasyon kaynağı gözüyle bile bakılabilir. Vücuda alınan besinlerdeki, solunan havadaki radyoaktif maddelerdeki değişimlere göre vücuttaki radyoaktivite sabit olmayıp sürekli bir miktar değişmekte. Vücutumuzdaki radyoaktivitenin yarısı tuzdaki potasyum 40’dan ve diğer yarıya yakını da karbon 14’den arta kalanı da rubidyum 87, kurşun 210 ve radon 222 gibi başka radyoaktif maddelerden kaynaklanmakta. Soluduğumuz havadaki radon gazı vücudumuzda önemli bir doz oluşturmakta (Ortalama 1,2 mSv). Vücuda solunum ve sindirim yollarıyla giren radyoaktif maddeler farklı organlarda farklı miktarlarda birikmekte. Vücudun toplam içten ışınlanma dozu yılda kişi başına ortalama 1,5 mSv olup bunun büyük miktarı radon ve torondan kaynaklanmakta. Tüm yiyecek ve içeceklerimizde, bir bardak su, süt, bira vb. de radoaktivite var. Örneğin 1 kg peynir, süt, et, balık, sebze ve meyvada ortalama 30-60 Bq arası doğal radyoaktivite var. 1 kg sofrata tuzunun radyoaktivitesi ise: 16.000 Bq (K 40). Vücutumuzdaki bu doğal radyoaktif maddelere rağmen hücreler başlangıçtan beri sağlıklı olarak yaşamayı sürdürmekte.

Çernobil kaynaklı, düşük düzeyde ve gitgide azalan vücuttaki radyoaktif maddelerin katkısıyla oluşan dozların etkisiyle hücrelerde ortaya çıkabilecek bozulmaların, doğal radyoaktif maddelerin etkileriyle birlikte gözönüne alınması ve hücrelerin bu bozulmaları da onarması beklenir. Bu nedenle ‘1 Bq’in hiçbir önemi olamaz.

BÖLÜM 7

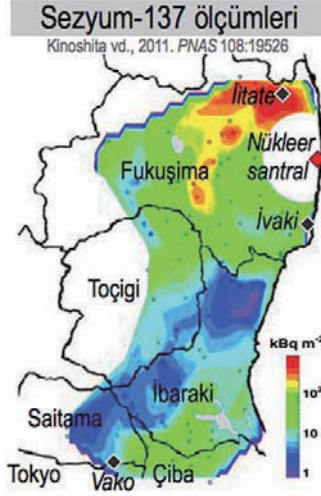
FUKUŞİMA KAZASI VE SONUÇLARI

Büyük Deprem, Tsunami ve Nükleer Reaktörlerdeki Patlamalardan Sonra Fukuşİma Nükleer Güç Santrallerinde ve Çevrede 2011 Sonundaki Durum

- Japonya'da 11 Mart 2011 günü gerçekleşen 9 büyüklüğündeki depremin hemen ardından Fukuşİma nükleer reaktörlerinin çevredeki elektrik ağıyla bağlantısı kesildi. O gün çalışmakta olan altı reaktörden ilk üçündeki nükleer zincirleme tepkime, reaktörlerin hızla durdurulma sistemiyle kesildi. Depremin hemen ardından gelen Tsunami dalgaları santralin alt katlarında bulunan ivedi elektrik üreteçlerini işlemez duruma getirince, ısı yaymayı sürdüren reaktörlerdeki ve 'kullanılmış yakıt elemanları bekletme havuzları'ndaki nükleer yakıt elemanları bir süre soğutulamadı. Çalışan tek bir ivedi sistemle 5 ve 6 nolu reaktörler ancak soğutulabildi. Özetle, deprem ve Tsunami sonucu ilk 4 reaktörün elektiksiz kalıp soğutulamaması, Fukuşİma nükleer kazasını oluşturmuş oldu. Bu reaktörlerin yakıt elemanlarında farklı büyüklükte bozulma ve ergime oldu.



Şekil 7.1 Fukuşİma Santralleri



Şekil 7.2 Fukuşima çevresinde ve yakın bölgede ölçülen Cs 137 değerleri

12-15 Mart günleri arasında ilk dört reaktörde bir dizi patlama oldu. Bunların hidrojen gazı patlaması olduğu açıklandı. Yakıt elemanları çubuklarının kılıflarındaki zirkonyumun çok yüksek sıcaklıkta reaktör soğutma suyuyla tepkimeye girmesiyle hidrojen gazı oluşuyor. Patlayabilen hidrojen gazı karışımının oluşmasını önlemek için bugün bile ilk 3 reaktör binasında zorunlu önlemler alınıyor, örneğin binaların havasına azot gazı pompalanıyor. 5 ve 6 numaralı reaktörlerde ise reaktör binalarının çatısında delikler açılarak hidrojen gazı birikimi önleniyor.

Kazanın Sınıflandırılması

Japon yetkililer, Fukuşima kazasını 12 Mart 2011 günü „ciddi kaza“ (Kaza sınıfı 3) olarak sınıflandırdıktan sonra 12 Nisan 2011’de „felaket/yıkım kaza“ sınıfına yükseltti (Kaza sınıfı 7).

Soğutma ve Temizleme Önlemleri

Bugüne kadar yapılan incelemelerden, eriyen nükleer yakıt maddesinin ilk 3 reaktör kazanının dibinde toplandığı anlaşılıyor. 3 ve 4 numaralı reaktörlerdeki yakıt elemanları ile bu reaktörlerin depolama havuzlarındaki bazı yakıt elemanlarının bozulduğu sanılıyor. Reaktörler ve bekletme havuzları dışardan önce deniz suyuyla sonra çevre suyuyla soğutuluyor. Gerek soğutma suları gerekse binaları basan Tsunami suları radyoaktif maddelerle aşırı miktarda bulaşmış olduğundan binalarda yapılması gereken çalışmalar zorlaşıyor.

Radyoaktif maddelerle aşırı miktarda bulaşmış sular başlangıçta denize akıtıldı. Sonraları bu sular depolandı, sadece az radyoaktifiteli sular denize salındı.

Denize Ulaşan Radyoaktif Maddeler

Japon yetkililerin açıklamasına göre toplam 5 milyon Giga Becquerel (5×10^{15} Bq) dolayında iyot 131, sezyum 134 ve sezyum 137 radyoaktivitesinin denize ulaştığı kestiriliyor.¹ Bu arada, sulardaki radyoaktif maddeleri arıtma sistemleri çalışmaya başladı. Böylelikle bina içlerinde eskisi gibi aşırı radyoaktifiteli suların birikmemesine çalışılıyor ve radyoaktif maddelerden oldukça arındırılmış sularla reaktörlerin soğutulması sağlanıyor.

Havaya Ulaşan Radyoaktif Maddeler

Japon yetkililer, Haziran 2011'de reaktörlerin çevredeki havaya $1,5 \times 10^{16}$ Bq Cs 137 radyoaktivite yaydığını açıkladı. Bu değer, Çernobil'den salınanın dörtte biri kadar. Öte yandan, Norveçli araştırmacıların önderliğinde yapılan ve yeni yayımlanan uluslararası bir bilimsel araştırma raporunda Fukuşima'dan bunun iki katından daha çok Cs 137'nin çevreye salındığı açıklanıyor ki bu miktar Çernobil'dekinin yarısı kadar. Çevreye salınan Xe 133 miktarı ise bu yeni çalışmaya göre Çernobil'dekinden de fazla. Ancak, asal gaz olan Xe 133, vücutta birikmiyor. Ancak bu yeni araştırmanın bilimsel yöntemi ve sonuçları henüz ilgili otoritelerce incelenip onaylanmış değil.

Ek Önlemler

Reaktör binalarının havasındaki radyoaktif maddeleri temizlemek için havalandırma sistemleri filtrelerle donatıldı. Bina içinde toz tutan yerler uzaktan komutlu aletlerle, püskürtme yöntemiyle temizlendi. Bu çeşit önlemlerin bina içindeki radyasyon düzeyini azaltıp azaltmadığı ise bilinmiyor. Bugün Fukuşima'da reaktörlerin tümü artık dış elektrik ağından besleniyor.

Planlanan Önlemler

İlk 3 reaktör için, hasar gören yakıt elemanlarının bulunduğu reaktör kazanının içini 1000 C'nin altında tutacak şekilde sürekli soğutmak gerekiyor. Reaktör binalarında toplanan radyoaktifiteli suyu dışarı pompalamak ve radyoaktif maddelerden arındırmak da zorunlu.

Reaktörleri çalıştıran TEPCO şirketinin yaptığı plana göre, ilk 4 reaktör orta sürede kontrollü bir duruma geçirilerek hem reaktörlerin hem de kullanılan yakıt elemanları bekletme havuzlarındaki yakıt elemanlarının soğu-

¹ 1 Becquerel (Bq): Saniyede 1 parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı



tulması sağlanacak. Çevreye salınacak radyoaktif maddelerin de bylelikle sınırlanmasına çalışılacak.

Ayrıca hasar gören reaktör binalarının üstten kapatılması öngörülüyor. Geçici bir elik iskeleye geçirilen plastik çadırlar, havalandırma sistemleri ve filtrelerle çevreye radyoaktif madde salınması azaltılacak.

Fukuşima Reaktrlerindeki Durum (31 Ekim-17 Kasım 2011)

Deprem sonrası ilk 3 reaktörde ve 4. reaktörün kullanılmış yakıt elemanları bekletme havuzlarında kesilen soğutma, sonradan sağlanan sistemlerle Ekim sonunda da azaltılmadan sürüyor. Reaktörlere, saatte 4 ile 11 m³ arasında soğutma suyu basılıyor. Reaktör kazan silindiri içindeki sıcaklık 68 C ile 78 C arasında. Kullanılmış yakıt elemanları bekletme havuzlarındaki sıcaklık ise 24 C ile 34 C dolayında.

Santral binalarında toplam 93.000 ton su radyoaktif maddelerle aşır oranda bulaşmış durumda. Bulaşmış suların 17.000 tonu yakıt maddesi tekrar kazanım binası'nda. Bugüne kadar 140.000 ton su radyoaktif maddelerden oldukça arındırıldı.

Reaktörleri işleten Tokyo Electric Power Company (TEPCO) yayımladığı bir bildiriyle 2 Kasım 2011 günü 2 numaralı reaktörün güvenlik zırhı içindeki havadan alınan örneklerde radyoaktif asal gazlardan ksenon izotoplarının (Xe 133 ve Xe 135) ok az da olsa bulunduğunu açıkladı. Uranyumun reaktörde bölünmesiyle (fisyon) oluşan bu izotopların yarılanma süreleri sırasıyla 5 gün ve 9 saat. Bu izotopların ortaya çıkışını TEPCO, ergiyen yakıt elemanlarında geçici olarak gerçekleşen yüksek miktardaki nükleer bölünmeler olabileceği şeklinde yorumluyor. Ancak, hem Japon yetkililer hem de Zürih ETH enstitüsü bunun pek önemli olmadığını açıkladı. Koruyucu nlem olarak soğutma suyuna borik asit konmuştur. Reaktörde sıcaklık ve basınc değişimi olmadığı, reaktörün soğutmasının planlandığı gibi sürdürüldüğü açıklandı. Reaktörün bu yıl sonunda iyice soğutulmuş olması bekleniyor.

Ekim 2011 sonunda, 1 numaralı reaktör binasının üstten kapatılma işlemi bitirildi. Böylelikle evreye daha az radyoaktif madde salınacak.

Radyasyon doz hızları santral alanının dış duvarında (itinde) saatte 4 mikroSievert ile santralin içinde saatte 300 mikroSievert arasında değişiyor.

Besinlerdeki Radyoaktif Madde lmleri (Ekim-Kasım 2011)

Çevreden toplanan 3585 sebze, meyve, et, süt ve balık gibi besin maddeleri örneklerinde radyoaktif maddeler ölçülmüş, bunların % 99'unda Cs 134, Cs 137 ve I 131 radyoizotopları ya bulunamamış ya da ölçü sonuçları sınır değerlerin

altında kalmıştır. 30 besin örneğinde (bazı et, balık ve mantar örneklerinde) Cs 134 ve Cs 137 sınır değerlerinin aşıldığı belirlenmiştir. Japon hükümet sözcüsünün 17 kasım 2011 günü yaptığı açıklamaya göre ilk kez Fukushima'nın Onami yöresi kaynaklı pirinçte Cs 137 sınır değeri olan 500 Bq/kg, ölçülen 630 Bq/kg ile aşılmış ve bu ürünün halka ulaşması yasaklanmıştır.

Fukuşima Çevresindeki Kirlenme ve Santral Personelindeki Radyasyon Dozları

Fukuşima nükleer santrallerinin 20 km yarı çapındaki çevresi boşaltıldı ve başka güvenlik önlemleri de alındı. Santralin kuzey batı yöresindeki bir miktar arazi radyoaktif maddelerle kirlendiği için gerektiğinde boşaltılmak üzere hazırlandı. Santral alanında, bulunulan yere ve zamana göre değişen, saatte birkaç yüz miliSievert²lik dozlar ölçülüyor. Yüksek doz hızları, kablo kanallarında toplanan sular nedeniyle oralarda da izleniyor. Temmuz sonunda bir havalandırma filtresinde ve bina içinde bazı yerlerde 10.000 miliSievert/saat (=10 Sv/st) yüksek doz hızları ölçülmüştür².

Bugüne kadar elde edilen bilgilere dayanarak Fukuşima nükleer santrallerinin çalışan 15.000 kadar işçiden 111'inin 100 miliSievert'ten (mSv) daha çok radyasyon dozu aldığı belirlenmiştir. Bu doz, topluluk (kitle) ışınlamalarında kanser riskini % 1 kadar artırıyor. Kaza durumlarında çevreyi ve halkı daha büyük yıkımlara karşı koruma önlemlerinin alınmasını sağlamak amacıyla bir işçinin alabileceği doz sınırı 14 Mart 2011 günü 250 mSv değerine yükseltilmiştir. Bugüne kadar Fukuşima'da bu 250 mSv'lik dozu sadece 6 radyasyon işçisi aşmıştır. Kişi başına düşen radyasyon dozunu azaltmak amacıyla işçi sayısı artırılırken, bunların santrallerin yüksek radyasyonlu yerlerinde çalışma süreleri kısaltılmıştır. Ani radyasyon ışınlamalarında deride kızarma ancak 500 mSv'den daha büyük dozlarda görülüyor. Önce kaybolduğu bildirilen 2 işçi sonradan (2 Nisan 2011 günü) ölü olarak bulunmuştur. Ancak bu iki işçinin radyasyon dozu sonucu değil, su baskınında öldüğü belirlenmiştir.

Çevrenin radyoaktif maddelerle bulaşmasından ve buralarda yetişecek sebze, meyve ve balıkların yenmesinden oluşacak düşük düzeydeki ek radyasyon dozunun, alınacak koruyucu önlemler de göz önüne alındığında, ilerde de genellikle halkın sürekli maruz kalmakta olduğu doğal radyasyon dozlarının ve ülkelerin sınır değerlerinin altında kalması bekleniyor. Buna rağmen yukarıda açıklandığı gibi Japonya'da seyrek de olsa bazı besinlerde

² Sievert (Sv): Vücutun soğurduğu radyasyon dozu için kullanılan birim. 1 Sievert, gama ve beta ışınları için, vücutun kg'ı başına 1 Joule'luk enerji soğurumuna eşdeğerdir. Bir saatte 'h' alınanı ise dozhızı: 1Sv/h. Bunun binde biri ise 1 mSv/h'tir. Daha ayrıntılı bilgi için Ek 1-2'ye bk.

(özellikle balık ve mantarlarda) daha yüksek düzeyde radyoaktivite (özellikle sezyum radyoaktivitesi) görülebileceğinden yapılmakta olan radyoaktivite ölçümlerinin daha çok uzun süre devam edeceği doğaldır.

Kaynaklar:

- Almanya Radyasyondan Korunma Kurulu'nun (Bundesamt für Strahlenschutz) raporları
- Uluslararası Atom Enerjisi yayınları (IAEA), Fukushima Status Report, 10 Kasım 2011.
- Stohl, A. ve ark., Atmos. Chem. Phys. Discuss. 11, 28319–28394, 2011. Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima. Daiichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion and deposition.

Fukuşima'daki 'Radyasyon Kaçağı ya da Sızıntısı' Değil, 'Radyoaktif Madde Kaçağı, Sızıntısı ya da Salınması'dır

Burada konu olan radyasyon, radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinin bozunmaları sırasında saldıkları alfa, beta ve gama ışınlarıdır. Örneğın nükleer bir santralin güvenlik zırhından kaza durumunda dışarıya kaçan, sızan radyoaktif maddelerdir. Radyasyon kaçığı deyince sanki radyoaktif madde içerde, onun saldığı radyasyon da dışarı sızıyor gibi yanlış anlama olabilir. Radyasyon kaçığı, örneğın kurşun zırhlı, tümüyle kapalı bir kapsüldeki kobalt 60 kaynağında olabilir kuşkusuz. Kobalt radyoaktif maddesi içerde kalırken, kobalt 60'ın saldığı girici gama ışınları ya zırh yeterli kalınlıkta değilse ya da kabın bir çatlağı varsa ya da kapağı biraz aralıksa dışarıya, az da olsa, radyasyon sızabilir. Böyle bir durumda 'radyasyon kaçığı ya da sızıntısı' demek doğrudur.

Ancak örneğın Fukuşima nükleer santralında radyasyon kaçığından söz etmek doğru olmaz. Fukuşima'daki, **radyoaktif madde kaçığı ve radyoaktif maddelerin çevreye salınmasıdır**. Dışarıya sızan ya da zorunlu olarak salınan maddeler, reaktör güvenlik binasındaki havaya karışan radyoaktif maddelerdir. Bunlar da radyasyon salarak buldukları yerlerde etkili olmuşlardır. Fukuşima'da santral dışına sızan iyot 131 ve sezyum 137 gibi radyoaktif maddeler, çevredeki havadan solunum ve sindirim yoluyla insanların vücutlarına ulaşarak onları içten ya da dıştan ışınlanmışlardır. Sindirim yoluyla olan ışınlanma, havadaki radyoaktif maddelerin yağmur ve kuru serpintilerle toprağı ve deniz suyuna bulaşması ve bunlardan da, bitkilere, hayvanlara ve balıklara geçmesi sonucunda besinler yoluyla insan vücuduna aktarılmasıyla olmaktadır. Fukuşima santrallerinin önce 10 km,

sonra da 20 km yarı çapındaki çevresi kazadan kısa bir süre sonra boşaltıldığından, oralarda yaşayanların büyük bir bölümü kazadan etkilenmemiştir (Çernobil'de ise kazaya önem verilmediğinden, çevre boşaltılmamış ve çevredeki halk gereksiz yere radyasyon dozları almıştır).

Fukuşima Nükleer Kazasında Ölen Kaç Kişi?

Cumhuriyet Gazetesinde 26 Eylül 2011 günü yayımlanan bir yazıda şöyle deniyor

“Bugün Fukuşima Daiichi Nükleer Santrali faciasının Japonya'ya verdiği zarar kuruluşuna kadar hesaplanmıştır. 30 bini aşkın kayıp ve ölünün dışında ülkenin uğradığı maddi kayıplar 150 milyar avro gibi havsalayı zorlamaktadır.”

Kaynağı verilmeyen bu abartmanın (spekülasyonun) gerçek durumla hiçbir ilgisi yoktur. Tsunami sonucu boğulup ölenleri de Fukuşima Nükleer Santral kazası sonucu ölmüşler gibi göstermek hiç doğru değildir ve okurları çok yanlış bilgilendirmedir.

Gerçek nedir?

Bilim, bilindiği gibi gözlem (ölçüm), karşılaştırma ve değerlendirmelerle sonuçlar çıkarır.

Bu konuda Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu'nun (Bundesamt für Strahlenschutz) verilerine göre, bugüne kadar elde edilen bilgilere dayanarak Fukuşima nükleer santrallerinde 111 işçinin 100 Milisievert (mSv)'den biraz daha çok radyasyon dozu aldıkları belirlenmiştir. Bu doz, topluluk ışınlamalarında kanser riskini % 0,5 kadar artırmaktadır. Kaza durumlarında çevreyi ve halkı daha büyük yıkımlara karşı korumakla ilgili önlemlerin alınmasını sağlamak amacıyla bir işçinin alabileceği doz sınırı Japonya'da 14 Mart 2011 günü 250 mSv değerine yükseltilmiştir. Bugüne kadar Fukuşima'da bu oldukça yüksek dozu sadece 6 radyasyon işçisi almıştır. Kişi başına düşen radyasyon dozunu azaltmak amacıyla işçi sayısı artırılırken bunların, santrallerin yüksek radyasyonlu yerlerinde çalışma süreleri kısaltılmıştır. Ani radyasyon ışınlamalarında deride kızarma ancak 500 mSv'den daha büyük dozlarda başlamaktadır. Önceden kaybolduğu bildirilen 2 işçi sonradan 2 Nisan 2011 günü ölü olarak bulunmuştur. Ancak bu iki işçinin radyasyon dozu sonucu değil, su baskınında öldüğü belirlenmiştir.

Bilindiği gibi Fukuşima Nükleer Santralleri'nin 20 km yarı çapındaki çevresi boşaltılmıştır.

Çevrenin radyoaktif maddelerle kirlenmesinden ve buralarda yetişecek sebze, meyva ve balıkların yenmesinden oluşacak düşük düzeydeki ek

radyasyon dozunun, alınacak koruyucu önlemler de gözününe alındığında, ilerde de, sürekli ışınlanmakta olduğumuz doğal radyasyon dozlarının ve ülkelerin sınır değerlerinin altında kalacağı beklenir.

Bugüne kadar elde edilen ölçüm ve değerlendirme sonuçları bunlardır.

Fukuşima'da Havaya Salınan Radyoaktivite Ne Kadar?

Norveç Atmosfer Araştırmaları Enstitüsü'nün önderliğindeki uluslararası bir araştırma grubunun³ Ekim 2011 sonu Atmosferik Kimya ve Fizik dergisinde yayımlanan bilimsel çalışmasına göre Fukuşima'da havaya salınan radyoaktif madde miktarı, Japonya'nın resmî açıkladığı miktarın çok üstündedir. Bu grubun yaptığı model hesapları hem Japonya'daki ve hem de dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan radyoaktif madde ölçümlerinin değerlendirilmesine dayanıyor. Japon yetkilileri, Haziran 2011'de reaktörlerin çevredeki havaya $1,5 \times 10^{16}$ Bq radyoaktif sezyum 137 (Cs 137) yaydığını açıkladılar. Vücutta kalıcılığı nedeniyle önemli olan sezyum 137 miktarının bunun iki katından daha fazla bir değer olan $3,5 \times 10^{16}$ Bq olduğunu Norveçgrubu açıklıyor. Bu değer, Çernobil'den salınanın yarısı kadardır.

Çevreye salınan doğal gaz Xe 133 miktarını ise bu grup çok daha fazla bulmuştur: $1,7 \times 10^{19}$ Bq (Çernobil'de: $1,4 \times 10^{19}$ Bq). Ancak asal bir gaz olan Xenon 133 vücutta birikmediğinden bunun önemli bir sağlık riski yok. Vücutta uzun süre kalan Cs 137 için ise durum farklı, önemli sağlık riski var.⁴

Aşırı radyoaktivitenin santraldan çevreye ulaşmasını, araştırmacılar, her 3 reaktördeki patlamalara ve 4 numaralı reaktörün yakıt elemanları havuzundaki aşırı ısınmaya bağlıyorlar.

Kazayı izleyen saat ve günlerde yaşanan durumun kurgulanabilmesi ancak modellerle ve bunlara dayanan hesaplarla sağlanmış. Bu modellerde, hem Japonya'daki radyasyon ölçüm istasyonlarından hem de dünyanın çeşitli yerlerinde, nükleer bomba deneme ölçümleri için kurulmuş istasyon ağından toplanan veriler (data) kullanılmış.

Araştırmacılar bu verilere ayrıca Kanada, Japonya ve Avrupa'daki bağımsız enstitülerin ölçümlerini de ekleyip toplanan tüm ölçü değerlerini küresel (global) meteoroloji verileriyle birleştirip model hesapları yapmışlar. Tüm bu kapsamlı çalışmalara karşın, bu araştırmayı yöneten Andreas Stohl

³ Stohl, Andreas. *et al. Atmos. Chem. Phys. Discuss.* **11**, 28319–28394 (2011)

⁴ Cs 137'nin fiziksel yarılanma süresi 30,17 yıl (radyoaktivitesinin yarıya inmesi için geçen süre) olmakla birlikte, vücutta kalmasıyla ilgili biyolojik yarılanma süreleri çok daha kısadır (Cs 137'nin tüm vücut için biyolojik yarılanma süresi 70 gün ve kaslar için 140 gün'dür)

bu çalışmanın mükemmel olmaktan çok uzak olduğunu, ölçümlerin kazanın ardından seyrek yapılabilidiğini, bazı ölçüm istasyonlarının radyoaktif maddelerle aşırı kirlendiğini ve bu nedenle birçok verinin (data) güvenli olmadığını belirtiyor. Buna rağmen bu araştırmanın, Fukuşima'dan yayılan radyoaktivite miktarının anlaşılmasında, bu konuda yapılmış en kapsamlı çalışma olduğunu vurguluyor.

Bilindiği gibi deprem ve Tsunami sonucu ilk 4 reaktörün elektriksiz kalıp soğutulamaması, Fukuşima nükleer kazasını doğurmuştu. Bu reaktörlerin yakıt elemanlarında farklı miktarda bozulma ve ergime başğösterdi. 12-15 Mart 2011 günleri arasında ilk dört reaktörde bir dizi patlama oldu. Depremin olduğu günün hemen öncesinde 4 numaralı reaktörden çıkarılan nükleer yakıt elemanları bekletme havuzuna konulmuştu. 14 Mart'ta soğutulamayan havuz suyu ve çevresinin aşırı ısındığı ve belki de ondan sonraki günlerde bina içinde yangın olduğu sanılıyor. Bu çalışmada, santraldan havaya ulaşan radyoaktivite miktarının büyüklüğü, santral içindeki olayların çok daha ciddi olduğunu kanıtlamaya yetiyor' deniyor.

Her ne kadar havaya salınan radyoaktif sezyum 137 miktarı çok fazla ise de önemli olan yağışlarla bunun ne kadarının yerleşim ve tarım alanlarına, balıkçılık yapılan sulara inip inmediğidir. Ancak böylelikle, radyoaktif sezyumun (besin zinciri yoluyla) oradaki insanlara ulaşıp ulaşmadığı belirlenebilir. Bunun için toprak ve çeşitli besinlerden alınan örneklerdeki radyoaktivite ölçümlerinin yanı sıra oralardaki insanların yeme alışkanlıklarını kapsayan ayrıntılı hesapların yapılması gerekiyor. Bu çeşit araştırma ve değerlendirmeler ise bu yeni araştırmanın kapsamı dışında kaldığından bunlarla ilgili olarak Japon araştırmaacılarının ölçüm ve değerlendirmeleri önem kazanıyor.

Andreas Stohl, Japon yetkili kurumlarının hesaplarıyla kendi araştırmalarında buldukları sonuçlar arasındaki farkı, kendilerinin sadece Japonya'daki ölçümlere değil, tüm dünyadaki çok daha fazla sayıdaki ölçümlere bağlıyor. Ayrıca bu farkı, kazadan hemen sonra okyanusa doğru esen rüzėarın radyoaktif maddeleri Japonya dışına taşıdığından, Japon yetkililerinin hesaplarında Amerika ve Avrupa'ya kadar ulaşan (kaçan) radyoaktif maddelerin gözönüne alınmadığına dayandırıyor. Bu durumu, Fukuşima yöresinde toprakta radyoaktif madde ölçümü yapan Japonya'daki Kobe üniversitesi de doğruluyor. Halk, medya, Japon yetkililerden kısa sürede sonuç istediğinden, yetkililerin tüm dünyadaki ölçüm sonuçlarını bekleyecek zamanları olmadığını, Stohl anlayışla karşılıyor.

Model hesaplamalarına dayanan grafikler, çevreye salınan radyoaktif madde miktarlarındaki aşırı artışların patlamalarla paralelliğini gösteriyor. Stohl, "Özellikle havadaki ilk Xenon 133 aşırı artımının depremden hemen sonra belirlenmesi, Tsunami dalgaları henüz santrala ulaşmadığından, reaktörlerin Tsunami hasarından önce, depremden hasar gördüğünün kanıtıdır." diyor. Bu

ise, reaktörlerin 9 büyüklüğündeki bir depreme dayanıklı olarak projelendirilmediğinin normal bir sonucu olarak değerlendirilmeli şeklinde yorumlanıyor.

Öte yandan 11-14 Mart arası okyanusa doğru esen rüzgârla radyoaktif maddeler okyanusa taşındılar. 14 Mart'ta rüzgârın denizden karaya esmesi sonucu kıyı şeridindeki yerleşim yerlerinin havasına (Tokyo bölgesi dahil) radyoaktif maddeler taşınmış olmakla birlikte, o günlerde yağış olmaması nedeniyle yerleşim yerlerinde etkili olamamış, radyoaktif maddelerden sadece yağış alan bazı dağlık bölgeler etkilenmiştir.

Okyanusta tutulan balıkların bazılarında radyoaktif sezyum 137'nin yüksek olduğunu bazı araştırmacılar açıklamışlardır. Bu konuda resmî ölçüm ve değerlendirmeler ise henüz yapılmamış ya da açıklanmamıştır. Okyanusa akıtılan sulardaki radyoaktif madde miktarının büyüklüğü ise bu yeni araştırmanın kapsamı dışında kalmıştır.⁵

Fukuşima Nükleer Kazasının Sağlık Raporu Dünya Sağlık Örgütü'nün 28 Şubat 2013 Günü Açıkladığı Fukuşima Raporu

Mart 2011'de Fukuşima nükleer reaktörlerinde art arda oluşan büyük kazalarda, santrallardan havaya, toprağa ve denize yayılan aşırı miktardaki radyoaktif maddelerin sağlığa etkisi ne ölçüde oldu? Kazadan iki yıl sonra, bu sorunun yanıtı, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 28 Şubat 2013 günü Cenevre'de sunduğu 170 sayfalık bilimsel raporunda açıklanıyor. Bu rapora göre, sadece santralin 20-30 km çevresinde kanser riski biraz arttı. Uzmanlar, buna rağmen, çevrede yaşayanların, uzun süre gözlem altında bulundurulmasını öneriyorlar. Araştırmada, sağlık riskinin Japonya içinde de, dışında da düşük olduğu belirtiliyor. Kanser hastalıklarının büyük oranda artacağı beklenmiyor. Buna rağmen, bazı kanser türleri ve Fukuşima çevresindeki iki yerleşim yerindekiler için riskin arttığı ileri sürülerek buralarda yaşayanların uzun süre gözlem altında bulundurulması gerektiği vurgulanıyor. **Bu raporu, radyasyon fiziği, risk modelleme, epidemiyoloji, radyoaktivite ölçüm tekniği, radyasyon kazaları ve halk sağlığı dallarında bilimsel araştırmalar yapan 30 kadar bağımsız uzman birlikte çalışarak hazırladılar.**

Bilimsel çalışmalarda sağlık riski, Fukuşima bölgesi, Japonya'nın geri kalanı ve tüm dünya için hesaplandı. Kaza sonrası santral alanında çalışan personel ile kurtarma ekiplerinin, bu raporda yer almayan sağlık risk değerleri de rapor sunulurken açıklandı.

Yapılan araştırma ve analizler, radyoaktif maddelerden aşırı etkilenmiş bölgelerde yaşayanların daha büyük bir kanser riski altında olduğunu gös-

⁵ Bk.: Bölüm 7: Fukuşima kazası ve sonuçları (Bu bölümün başındaki yazılar)

teriyor. Buralarda yaşayanların yaşları ve cinsiyetlerine göre toplanan ve değerlendirilen veriler bu sonucun alınmasına katkı sağladı. Radyoaktiviteden aşırı etkilenen bölgelerin dışında, hatta Fukuşima'nın bazı yörelerinde, kanser hastalıklarının artacağını gösteren bulgular elde edilemedi. Yoğun olarak etkilenen birinci derece önemdeki bölgede ilk yıl için hesaplanan etkin doz 10 ile 50 mili Sievert (mSv)⁶ arasında. Bu dozların oluşmasına en büyük katkı, hava ve yerdeki radyoaktif maddelerin insanları dıştan ışınlamasından geliyor. Vücuda hava, su ve besinler yoluyla giren radyoaktif maddelerin doza katkısı ise çok daha az. Kazadan hemen sonra 20 km yarıçaplı bölge hemen boşaltılıp yasak bölge ilan edildiğinden, doz hesapları burası için yapılmadı. Hesaplar, 20 km'nin dışında olup da radyoaktiviteden en çok etkilenen yörelerde, halkın kazadan sonra 4 ay buralardan ayrılmadıkları varsayılarak, yapıldı. Doz hesapları ayrıca Japonya'nın geri kalanıyla tüm dünya için de yapıldı. Fukuşima'nın daha az etkilenen bölgelerinde hesaplanan etkin doz 1 ile 10 mSv, Japonya'nın geri kalanı için 0,1 ile 1 mSv arasındadır. Tüm dünya için ise 0,01 mSv'in altındadır. Radyoaktiviteden yoğun etkilenen bölgeler için tiroid dozları 10 ile 100 mSv arasında olup belirli bir yöredeki 1 yaşındaki çocuklar için 100 ile 200 mSv arasındadır. Bu dozların oluşmasına en büyük katkı solunum yoluyla vücuda giren radyoaktif iyot'tur.

Rapordaki Önemli Sonuçlar Özette

Nükleer santrallerin 20-30 km çevresindeki radyoaktif maddelerden aşırı ölçüde etkilenmiş birinci derece önemdeki bölgede (Özellikle Iitate ve Namie yerleşim yerlerinde/Bk. Şekil) yaşayanlar ve tümör cinsleri için, uzmanlar, her bir kanser cinsiyle ilgili toplumda zaten görülen riskin, Fukuşima kazası sonucu, çocukken radyasyondan etkilenen kadınlarda katı (solid) tümörlerin % 4, kan kanseri (lösemi) % 7, kadınlarda göğüs (meme) kanserinin % 6 ve kadınlarda tiroid kanserinin % 70 kadar artabileceğini hesaplıyorlar.

Açıklamamız: Yukardaki yüksek görünen oranlar, toplumda zaten gözlenen kanser risklerine, ek oranlardır. Örneğin toplumda kadınların yaşamı boyunca tiroid kanserine yakalanma riski % 0,75 dir. Yani, nükleer santrallerin bulunmadığı bölgelerde ortalama olarak her 10.000 kişi içinde rastgele 75 kişi yaşamı boyunca tiroid kanserine yakalanabiliyor (Oran: 0,0075 ya da % 0,75). Rapora göre, aşırı kirlenen bölgede yaşayan kadınlarda, çocukken radyasyondan etkilenmeleri sonucu, tiroid kanser oranı % 70 artacak demek: $0,0075 \times 0,70 = 0,0052$ ya da bu bölgede her 10.000 kişiden rastgele 52 kişinin daha yaşamı boyunca tiroid kanserine yakalanabileceği anlaşılmalı (ilgili model hesaplarına göre bulunan bu sonuç bir kestirimdir, kesin değildir

⁶ mili Sievert(mSv): Sievert'in binde biri. Sievert eşdeğer doz birimi olup iyonlayıcı ışınların vücuttaki biyolojik etkinliğinin bir ölçüsü (Bk. Ek 2). Her birimizin doğal kaynaklardan aldığı yıllık ortalama radyasyon dozu 2,4 mSv kadar.

ve kanıtlanamaz). Raporda hesaplanan değerlerin kesin olmadığı, yaklaşık değerler olduğu da belirtiliyor.

- Fukuşima çevresinde radyoaktif maddelerle daha az bulaşmış ikinci derece önemdeki bölgelerde yaşayanların kansere yakalanma riskleri ise aşırı kirlenen bölgelerdeki risklerin yarısı kadardır.
- Fukuşima santrallerinde görev yapan kurtarma ekiplerinde çalışanların üçte ikisinin kansere yakalanma riskinin, tüm toplumun aldığı risk kadar olduğu kestirilmektedir. Sadece üçte biri yüksek risk almıştır.
- Fukuşima kazası sonucu çevrede yaşayanların vücutlarında oluşan radyasyon dozlarının, özürlü ve ölü doğumlara neden olmayacağı, kazadan sonra doğarlarda ileride fiziksel, duygusal (ruhsal) bozukluklar görülmeyeceği belirtiliyor.
- Fukuşima kazasının psikososyal etkileri, insan sağlığı ve mutluluğunu bozabileceğinden bu konunun sürekli izlenmesi ve incelenmesi gerektiğini uzmanlar öneriyorlar.

Bu raporda, yüksek risk taşıyan insanların sürekli tıp kontrolünde bulundurulmalarını ve bunun koruyucu halk sağlığı çerçevesinde, Japonya sağlık kurumlarının önemli bir görevi olması gerektiği açıklanıyor. Tıp kontrolleri ve araştırmalarının yanı sıra, radyoaktif maddelerle bulaşan çevrenin, özellikle besinlerin, suların sürekli kontrolü ve alınacak koruyucu önlemlerle ileride halkın radyasyon dozlarının azaltılabileceği de raporda vurgulanıyor.

Not : WHO uzmanlarının çok ayrıntılı hesaplama, değerlendirme, grafik ve çizelgelerini içeren 170 sayfalık bu rapor, hem ilk ölçümlere dayanılarak hazırlandığından hem de toplumda kanserin ortaya çıkması için, kanser cinslerine göre 3 yıldan 20 yıla kadar bir bekleme/kuluçka süresi (latent time) gerektiğinden, varılan sonuçlar önemli olmakla birlikte, bunlar ilerideki yeni bulgularla, değişebileceğinden ' bir ön rapor'dur (Raporun başlığında, zaten 'preliminary report' yazıyor).

Kaynaklar

- WHO Report, Feb. 2013-Health risk assessment from the Fukushima nuclear accident 2011
- Fukuşima kazasının sağlık raporu, Cumhuriyet Bilim Teknoloji. 15.03.2013, Atakan, Y.

Kazadan 2 Yıl Sonra Fukuşima'da Durum?

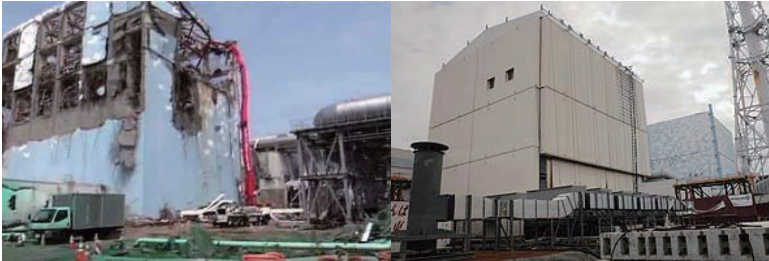
Japonya'da 11 Mart 2011 günü 9 büyüklüğündeki depremin ve Tsunami'nin hemen ardından Fukuşima nükleer reaktörlerinin çevredeki elektrik ağıyla bağlantısı kesildi. Fukuşima'daki altı reaktörden, o gün çalışmakta olan ilk üçündeki nükleer zincirleme tepkime, reaktörlerin hızlı durdurma sistemiy-

le kesildi. Depremın hemen ardından gelen Tsunami dalgaları santralin alt katlarında bulunan ivedi elektrik üreteçlerini işlemez duruma sokunca, ısı yaymayı sürdüren reaktörlerdeki ve 'kullanılmış yakıt elemanları bekletme havuzları'ndaki nükleer yakıt elemanları bir süre soğutulamadı. alışan tek bir ivedi sistemiyle ancak iki reaktör soğutulabildi. Özetle, deprem ve Tsunami sonucu, reaktörlerin elektriksiz kalıp soğutulamaması, Fukuşima nükleer kazasını oluşturmuş oldu. Reaktörlerin yakıt elemanlarında farklı büyüklükte bozulma(hasar) ve ergime oldu.



Şekil 7.3 Tsunami'den sonra radyoaktif maddelerle bulaşmış bölgede arama yapan koruyucu giysili görevliler

Kazadan iki yıl sonra bugün santrallarda soğutmanın yanı sıra çevreyi, havayı, besinleri radyoaktif maddelerle daha fazla kirliletmek için yoğun çalışmalar yapılıyor ve bir dizi önlemler alınıyor. Santrali işleten TEPCO şirketinin, Japon yetkililerin denetiminde bu çalışmalar sürekli yapılıyor. Ayrıca reaktör binaları kalın beton duvarlarla kapsüleniyor.



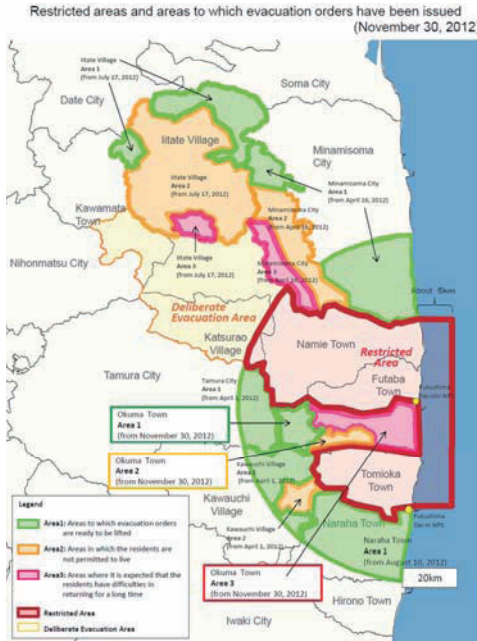
Şekil 7.4 a ve b: Beton duvarlarla kapsülen reaktör binasının önceki ve sonraki durumu

Reaktörlerin Soğutulması Sürüyor

1, 2 ve 3 nolu reaktörlere saatte 2 ile 3,5 m³ debisinde sürekli soğutma suyu pompalanıyor. Reaktör kazanlarının dibindeki sıcaklık 22° C ile 36° C arasındadır.

Santral Personelinin Aldığı Radyasyon Dozları

Fukuşima Daiichi santrallarını işleten TEPCO şirketinin yaptığı ölçümlere göre Mart 2011 ile Ekim 2012 arasında 3.700 ile 7.600 kişi arasında değişen personelin santrallarda yapılan çalışmalarda aldıkları radyasyon dozları kişi başına 1 mSv ile 200 mSv arasında değişmektedir. Normal olarak radyasyonla çalışanlar için yıllık doz sınır değeri 20 mSv' dir. Özel durumlarda bu değer aşılabiliyor ya da doz, planlanmadan aşılmış ise ilgili kişilere özel önlemler uygulanıyor (santraldan uzaklaştırılma, tıbbi iyileştirme/televi gibi).



Şekil 7.5 Fukuşima santralları çevresinde boşaltılan ve yasak bölgeler

Açıklama:

Bölge 1 (Yeşil sınırlı alan-Area 1): Boşaltma emrinin kaldırılmaya hazır olduğu alanlar

Bölge 2 (Koyu sarı sınırlı alan-Area 2): Buralarda yaşayanların, artık buralarda oturmalarına izin verilmeyen alanlar

Bölge 3 (Koyu pembe sınırlı alan/Area 3): Buralarda yaşayanların, ileride tekrar yerleşmelerinin güç görüldüğü alanlar

Koyu kırmızı sınırlı alan: Yasak bölge
İnce sarı sınırlı alan: /Boşaltılmaya aday bölge, buralarda yaşayanlardan her birinin 1 yıl sonunda en çok 20 mSv doz alabileceği bölge (deliberate evacuation area)

Besinlerdeki Radyoaktivite

Japon Sağlık Bakanlığının Kasım ve Aralık 2012 aylarında yaptığı çeşitli besinlerdeki ölçümlerde yaklaşık olarak 41.000 örneğin çoğunda, radyoaktivite ya çok düşük olduğundan bunlar ölçülemedi ya da sınır değerlerin altında kalmıştır. Sadece 237 örnekte sezyum (Cs 134+ Cs137) radyoaktivitesi sınır değerlerin üstünde ölçülmüştür. Bazı yörelerde üretilen buğday ve prinç gibi bazı ürünlerin halka ulaşımı, ölçülen yüksek radyoaktivite nedeniyle yasaklanmıştır.

Balık ve Kabuklu Deniz Ürünlerindeki Radyoaktivite

Santralların çevre bölgelerinden sağlanan balık ve kabuklu deniz ürünlerinde radyoaktif madde ölçümleri yapıldı. 2 Kasım 2012 tarihli bir örnekte ölçülen en yüksek sezyum (Cs 134+ Cs137) radyoaktivitesi 15.500 Bq/kg iken 19 Kasım 2012 günlü örnekteki 246 Bq/kg olmuştur (Japonya sınır değeri: 500 Bq/kg).

Fukuşima'da Süregelen Kazalarda Yayılan Radyoaktiviteden Japonya'ya Uçrayanların Sağlığı Etkilenir mi?

Giriş

Fukuşima nükleer santral kazasının olduğu Mart 2011'den beri süregelen irili ufaklı kazalar medyanın gündeminden düşmüyor. Eylül 2013 başında da medyadaki haberlerde, Fukuşima nükleer santrallarındaki atık su borularından 12 ton kadar aşırı radyoaktif su kaçtığı olduğu ve yapılan ölçümlerde saatte 2.000 mili Sievert'e⁷ yaklaşan çok yüksek radyasyon doz hızları ortaya çıktığı ve aşırı radyoaktif suyun denize aktığı yer aldı. Bu yüksek doz hızının bir kişiyi 4 saatte öldürebileceği de açıklandı. Benzer haberlerin, Japonya'ya bu arada iş ya da gezi amaçlı gitmiş ya da yakında gidecek olan ve konuya yabancı birçok kişide tedirginlik yarattığı, kendilerini kaygılandığı bize gelen sorulardan anlaşılıyor. Fukuşima kazaları sonu-

⁷ Sievert (Sv): Vücudun soğurduğu radyasyon dozu için kullanılan birim. Ayrıntılı açıklamalar için bk. Ek 2.

cu Japonya'da kısa süre bulunanların birkaç haftada alabilecekleri radyasyon dozu ne kadardır ve bunun sağlığa bir etkisi olabilir mi? Ayrıca Japon halkının ve komşu ülkelerde yaşayanların Fukuşima kazalarından alabilecekleri dozlar ne kadardır? Bu yazıyla, bu sorulara yanıt veriliyor.

Atık Su Borusundan Dışa Yayılan Radyasyonun İnsana Etkisi?

Atık su borusunda yüksek doz hızı ölçüldüğü anda, o borunun yakınında ölçüyü yapan görevliler bile birkaç dakika içinde oradan uzaklaşırlar ve başkalarının yaklaşmasını önlemek için 5-10 metre çevresine bir çit çekip ,radyasyon tehlikesi“ işaretleri koyarlar. Bunu böyle yapmak radyasyon fizikçilerinin görevidir. Bu nedenle kimsenin orada saatlerce kalması ve ölümcül radyasyon dozu alması söz konusu olamaz. Zaten santral alanında çalışanlar bu gibi radyasyon kaynaklarından uzak duracaklarını bilirler ya da görevleri gereği yaklaşımları gerektiğinde belirli sınır dozların aşılmasını için hem belirlenen kısa sürede işlerini yaparlar hem de bu kısa sürenin sonunda başka biriyle değiştirilirler ki her birinin alacağı radyasyon doz sınırı değeri aşılmasın. Borudan yayılan girici gama ışınlarının şiddeti (akısı) ve insanda oluşturabileceği radyasyon dozu yaklaşık olarak uzaklığın karesiyle azaldığından, eğer 2.000 mSv/saat'lik yüksek doz hızı, borudan 1 metre uzaklıkta ölçüldüyse, bu değer 10 metre uzaklıkta 20 mSv/saat'e ve 100 metre uzaklıkta ise 0,2 mSv/saate'e inecek ve daha uzaklarda ise etkisi önemsiz dereceye inecektir. Öte yandan, halkın ve yabancıların atık su borusuna yaklaşımları değil, santral alanına bile girmeleri zaten yasak olduğundan, herhangi bir etki düşünülemez. Bu nedenle, medyadaki haber ve yorumlarda, herkesin sağlığının, 2.000 mSv/saat'lik yüksek radyasyondan etkileneneğini algılayacak şekilde bilgi verilmesi çok yanlıştır.

Atık Su Borusundan Kaçak Sonucu Denize Ulaşan Radyoaktif Maddelerin İnsana Etkisi?

Atık suda bulunan ve radyoaktivitesi yüksek olan sezyum 137 gibi radyoaktif maddelerin denize ulaşmasıyla da insan sağlığına etki, genellikle, yok denecek kadar azdır. Nedeni, radyoaktif maddeler denize ulaştınca denizdeki dalga ve akıntılarla gitgide artan bir hacimde seyrelecekler,deniz suyundan önce bitkilere, onlardan da balıklara ve denizdeki diğer canlılara geçecek radyoaktif maddeler ancak bunlar yenildiğinde insanlara ulaşabilecektir. Öte

⁸ Fiziksel yarılanma süresi 30,5 yıl olan sezyum 137 'nin tüm vücut için biyolojik yarılanma süresi sadece 70 gündür (Normal yollarla vücuttan atılarak, vücuttaki miktarın yarılanmasına kadar geçen zaman).

yandan Mart 2011'deki Fukuşima kazasından sonra santral çevresindeki 20 km yarı çaplı alan boşaltıldığından, bu yasak bölgedeki denizde balıkçılık yasaklanmıştır. Ancak çok uzaklardaki yerlerden elde edilebilecek deniz ürünlerinde ise gitgide seyrelme sonucu bunların radyoaktiviteleri iyice düşecektir. Buna rağmen, halkı koruyucu bir önlem olarak, yüksek radyoaktif besin maddelerini belirleyebilmek için besinlerde sürekli radyoaktivite ölçümleri ve denetimler yapılarak aşırı radyoaktif besin maddelerinin halka ulaşması önleniyor.

Japonya'da Kısa Süre Kalanların Etkilenebileceği Radyasyon Dozları

Japonya'da 4 hafta kalanlar için, örneğin yasak bölge sınırları dışındaki Fukuşima kentinde, insan vücudunda oluşabilecek radyasyon dozunun yılda 0,1 ile 1 mSv arasında olabileceği hesaplanıyor. Diğer tüm kentlerde ise 4 haftada beklenen doz 0,01 ile 0,1 mSv arasındadır (Örneğin Tokyo'da 0,03 mSv/yıl). Doğal radyasyondan alınan doz ise bunlardan çok daha yüksektir (ortalama olarak: yılda 2,4 mSv, ayda 0,2 mSv). Tokyo'da 4 hafta kalındığında alınabilecek doz, doğal radyasyon dozundan bu sürede alınacak dozun % 15'i kadar olup, bunun her yıl aldığımız doğal radyasyon dozuna katkısı ise sadece % 1 kadardır ($0,03/2,4 = 0,0125$). Kaldı ki doğal radyasyon dozu da sabit olmayıp insanın bulunduğu yere ve yemek yeme alışkanlıklarına göre büyük değişimler göstermektedir (1 ile 10 mSv/yıl arasında).

Japonya'ya komşu ülkelerden Kore, Çin, Rusya ve Filipinler'de yapılan radyoaktivite ölçümlerinde, Fukuşima kazaları sonucu besinlerde herhangi bir radyoaktivite artışı olmadığından, buralarda bulunanların sağlığına Fukuşima'nın bir etkisi bulunmuyor.

Fukuşima kazasından sonra bugüne kadar yapılan bilimsel araştırmalara göre (özellikle 'WHO' Dünya Sağlık Örgütü uzmanlarının kapsamlı epidemiyolojik araştırmaları) Fukuşima santrallerinin yakın çevresi dışında, gerek Japonya içinde gerekse dışında Fukuşima kazası sonucu kanser gibi herhangi bir hastalık beklenmiyor. Fukuşima'ya yakın bölge kazadan hemen sonra boşaltıldığından, ancak sonradan belirlenebilen diğer bazı küçük yerleşim yerlerinde radyasyonun etkisi söz konusudur. Koruyucu bir önlem olarak Japonya'da besin maddelerinde sürekli radyoaktivite ölçüm ve denetimleri öneriliyor (WHO) ki bunlar zaten gerek üniversitelerde gerekse yetkili kurumlarca yapılıyor.

Sonuç

Sonuç olarak gerek Japonya'da birkaç hafta kalanlarla, Japonya'ya gitmeyi planlayanların Fukuşima kazalarında yöresel olarak yayılan radyoaktif maddelerin sağlıklarına bir etkisi olacağından kaygılanmalarına hiç gerek olmadığı yukardaki açıklama ve karşılaştırmalardan görölmöyör. Anne karnındaki bebeklerin sağlığına da bir etki söz konusu değildir. Unutmamalı ki hem çevremizdeki hem de vücudumuzdaki radyoaktif maddelerden sürekli ışınlanıyoruz. Ayrıca Japonya'ya uçakla gidip gelirken kozmik ışınlardan aldığımız radyasyon dozu, Japonya'da kalacağımız 4 haftalık sürede alacağımız Fukuşima ek dozunun yaklaşık olarak 4 katıdır (Ortalama olarak Japonya'ya uçakla gidiş ve dönüşte kozmik ışınlarından alınabilecek doz $2 \times 0,06 \text{ mSv} = 0,12 \text{ mSv}$ 'dir. Tokyo'da 4 hafta kalınlęında ise doz $0,03 \text{ mSv}$ 'dir ($0,12/0,03 = 4$). Japonya'da daha kısa süre kalındığında alınacak doz orantılı olarak daha az olacaktır). Aslında, Japonya'ya gidiş gelişte uçaklarda alınan $0,12 \text{ mSv}$ 'lik doz da çok olmayıp yıllık ortalama doğal radyasyon dozunun % 5'idir ($= 0,12 \text{ mSv}/2,4 \text{ mSv}$).

Kaynaklar:

1. WHO Report, Feb. 2013-Health risk assessment from the Fukushima nuclear accident 2011;
2. www.bfs.de
3. Fukuşima kazasının sağlık raporu, Cumhuriyet Bilim Teknoloji. 15.03.2013, Atakan, Y.

GELECEĞİN NÜKLEER SANTRALLARI

Yüksek Güvenlikte Bir Nükleer Santralda Bulunması Gereken Teknik Özellikler ve Akkuyu Nükleer Santralının Güvenliğine Bir Bakış

Özet

Bu yazımızda, gerek Fukuşima kazasından alınan derslerin ışığında gerekse Batı'daki 3.Kuşak bir nükleer santralda bulunan güvenlikle ilgili teknik yapının Mersin Akkuyu'da kurulacak VVER-1200 modeli Rus nükleer santralında ne ölçüde projelendirilip, gerçekleştirilebileceği ele alınıyor. Yüksek Güvenlikli Bir Nükleer Santralın Teknik Özellikleri, Akkuyu Nükleer Güç Santralının (NGS) Ana Teknik Yapısı, Rus VVER reaktörlerinin gelişimi ve bunların olumlu ve olumsuz yanları açıklanıyor. Fukuşima kazasından edinilen bilgilerin ışığında gerekli yaptırımları da katarak, Batı'daki 3.Kuşak bir nükleer santralındaki teknik yapının Akkuyu santralında gerçekleşmesinin büyük ölçüde çok çeşitli uzmanlık dallarındaki denetimlere bağlı olacağı sonucu çıkarılıyor. Bu nedenle başka yazılarımızda da vurguladığımız gibi, güvenliği en yüksek düzeyde bir nükleer santralın yaptırılabilmesi, ancak nükleer santral yapımında görev almış deneyimli danışmanlık kurumlarının, santralın proje ve yapım süresince, sürekli devreye girebilmesi ve santralda kullanılacak her sistemin, malzeme, alet ve aygıtın ilgili uluslararası standartlara uygunluğunun bu uzmanlarca sıkı denetiminin yaptırılabilmesiyle (ve gerektiğinde ek yaptırımlarla) gerçekleştirilecektir.

11 Mart 2011 depremi ve Tsunami sonrası Fukuşima nükleer reaktörlerinde yaşanan zincirleme kazaların, patlamaların TV'lerde haftalarca görüntülenmesi, bunlarla ilgili yapılan açıklama ve yorumlar, nükleer santralların güvenliğini tüm dünyada iyice sorguladı [1]. Fukuşima kazası sonrası Almanya, nükleer santrallarının 8'ini hemen, geriye kalan 9'unu da 2023'e kadar devreden çıkarma kararı alırken, Türkiye, Arap Emirlikleri, Fransa,

Rusya, Çin, Hindistan ve Finlandiya gibi bazı ülkeler ise bu kazaya rağmen nükleer santral projelerini sürdürüyorlar ya da yapımı devam edenleri biran önce bitirip işletmeye açma planlarından vazgeçmiş değiller. Japonya ise 70'li yıllardan kalma tüm nükleer santrallarının teknik donanımını, Fukuşima kazasından elde edilen bilgilerin ışığında gözden geçirip, nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili sistemlerini yenilemeye başlamış bulunuyor. Örneğin Fukuşima santrallarında alt katlarda su altında kalıp çalışmayan dizel elektrik jeneratörleri deneyiminden ders alınarak, Japonya'daki diğer tüm santrallarda bunlar üst katlara yerleştiriliyor.

1970'li yılların eskimiş teknolojisiyle kurulup çalıştırılan Fukuşima reaktörlerinde Mart 2011'deki kazalara yol açan nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili teknik donanım ve diğer eksiklikler, yeni nükleer santral yapımında gözönüne alınıp giderildiğinde, benzer büyük kazalar önenebilir. Ayrıca batıdaki yüksek güvenli 3.kuşak bir nükleer santraldaki teknolojinin ve bu model bir santralin Finlandiya'da yapımı sırasında karşılaşılan bazı güçlüklerden alınacak derslerin, Akkuyu'daki nükleer santral projesine aktarılması da güvenli bir santralin kurulabilmesine büyük katkı sağlayacaktır [2].

Yüksek Güvenlikli Bir Nükleer Santralin Teknik Özellikleri

Yeni bir nükleer santral projesinde Fukuşima kazasından alınacak önemli derslerin başlıcaları şunlar olmuştur:

1. Santral depreme daha dayanıklı olarak projelendirilip kurulmalı,
2. Santrala verilen elektriğin kesilmesinde, ivedi (acil) dizel jeneratörleri sorunsuz çalışacak şekilde projelendirilmeli ve en uygun yerlerde konuşlandırılmalı,
3. Hidrojen gazı oluşmasını önleyecek sistem çalıştırılarak patlamalar ortaya çıkmamalı,
4. Nükleer yakıt maddesinin ergimesi (erimesi) durumunda reaktör kazanı dıştan soğutulmuş çeliğin yapısı (sertliği) bozulmadan ergiyen yakıt, kazan içinde kalmalı,
5. Çok yüksek sıcaklıkta reaktör kazanının delinmesi durumunda, kazanın altında yakıt tutma çanağı bulunmalı.
6. Büyük bir kaza durumu için santralda ivedi (acil) 'teknik komuta merkezi' bulunmalı

Fukuşima deneyimlerine Batıdaki 3.Kuşak benzeri yüksek güvenli, modern bir nükleer santraldaki teknik donanımı da katarak, yüksek güvenli bir nükleer santralin başlıca teknik özellikleri sıralanırsa:

1. Santralin projesi, ilgili standartlara uygun olmalı. Örneğin Uluslararası

- Atom Enerjisi Kurumu'nun (UAEA/IAEA), Almanya'nın DIN ve KTA ölçütleri (standartları) uygulanmalı. Santrallar, beklenen en yüksek deprem büyüklüğünün bir üst derecesinden projelendirilmeli (örneğin 8 yerine 9). Santral, su baskını, fırtına gibi diğer doğal yıkımlara karşı da dayanıklı olacak şekilde planlanmalı. Gerek dizelle çalışan ivedi (acil) elektrik jeneratörleri gerekse ivedi soğutma suyu sistemlerinin boru ve kabloları da bu büyüklükte depreme dayanıklı olmalı. 3-4 adet dizelli sistemler binanın farklı ve yüksek katlarına yerleştirilmeli.
2. Nükleer santral, sürekli yenilenen en son uluslararası standartların öngördüğü en kaliteli malzemeleri, otomasyon ve güvenlik sistemlerini içerecek şekilde projelendirilmeli ve denetim altında, testler yapılarak kurulmalı.
 3. Santrala elektrik getiren ağ (şebeke) baştan sona incelenmeli, mümkünse iki farklı elektrik santralından özel hatlar çekilmeli ve elektrik kesilmesini, voltaj değişimini önleyecek önlemler alınmalı.
 4. Santral, uçak çarpması ve sabotaja karşı güvenlik önlemleriyle donatılmalı.
 5. Radyoaktif atıklar için uygun depo yerleriyle ilgili araştırmalar başlatılmalı (radyoaktivitesi az, orta ve yüksek düzeydekiler için ayrı depo yerleri planlanmalı)
 6. Santralda simülasyon bulunmalı (Bir kontrol odasında, reaktör ve güvenlik sistemleri modelleri üzerinde, santralin güvenli çalışmasını ve olabilecek kazalarda kontrolünü sağlamak amacıyla, elektronik devreleri çalıştırarak, çeşitli senaryoları deneyerek deneyim kazanılmalı)
 7. Santralin yapımı süresince yurtdışında benzer santrallarda ve simülasyonlarda kaliteli personel yetiştirilmeli.
 8. Santralin çevresinde işletme öncesi ve sonrası için radyasyon ve radyoaktivite ölçüm programı hazırlanmalı, bunun için alet ve personel öngörülmeli
 9. Santralin yakınında bir meteoroloji kulesi tüm gerekli aletleriyle kurulmalı
 10. İlgili tüm sigortalar, sadece santrali değil, yakın çevresini ve oralarda yaşayanları da kapsamalı
 11. En büyük kaza durumunda, çok yüksek sıcaklıkta reaktörde sıvılaştıran nükleer yakıt için bir 'tutma çanağı' bulunmalı. Böyle bir durumda reaktör kazanı dıştan soğutulabilmeli
 12. Baca gazlarındaki radyoaktif madde ve radyasyon ölçümleriyle ilgili tüm monitor ve örnek alma sistemleri santralin bacasında bulunmalı (asal gaz, aerosol ve iyot ölçümleri için), Bk. [3]
 13. Büyük bir kazada ivedi (acil) 'teknik komuta merkezi' olarak çalışacak ve santrali tekrar kararlı normal durumuna getirecek bir büronun santralda bulunması (Böyle bir büro gerek ABD'deki gerekse Batıdaki nükleer santrallarda Three Mile Island Unite 2 santralında 1979'daki kazadan beri var).

Liste tam değil, daha da uzatılabilir. Bunların bazıları Akkuyu ÇED raporunda genel hatlarıyla yer alıyor [4]. Bunlar ve diğerleri ilgili uzmanlarca incelenip eksikler giderilmeli ve bunların santralda en uygun şekilde gerçekleşmesi deneyimli uzmanların sıkı denetimiyle sağlanmalı.

Bir nükleer santral yapımına 1000'e yakın şirket katkıda bulunuyor. Kullanılan her malzemenin ilgili standartlara uyması gerekiyor. Vidadan, dbelden başlayarak su boruları, pompalar, vanalar, reaktör kazanı, buhar reteleri, havalandırma ve atık gaz sistemlerindeki yüzlerce malzemenin ayrıntılı tasarım ve uygunluk hesapları yapılıyor. Sonra tüm sistemlerin ayrıntılı projeleri hazırlanıyor, bunlarla ilgili teknik raporlar bilirkişiler, rneğin Almanya'da Teknik Gözetim, dDenetim ve Danışmanlık Kurumu (TV) tarafından denetleniyor. Yetkili devlet kurumunca onaylanıyor.

Projeler incelenip onaylandıktan sonra her malzemenin, her sistemin önce fabrikalarda yapımı, sonra santralda kurulum (montaj) sırasında yine bilirkişi ve yetkililerce yerinde incelenmesi, onaylanması gerekiyor. İleride santral çalışırken reaktör soğutma suyuna geçecek kobalt 60 gibi radyoaktif maddeleri (korozyon ürünlerini) en aza indirmek ve personelin bakım ve onarım çalışmalarında aşırı radyasyon dozu almalarını önlemek amacıyla, reaktör kazanında ve ana soğutma sistemindeki pompa, boru ve vanaların yapıldığı paslanmaz elik malzemelerin kaliteleri de standartlara uygun saflıkta olmalı.

Akkuyu Nükleer Güç Santralının (NGS) Ana Teknik Yapısı

Akkuyu NGS Elektrik retim A.ř. Projesinin evre Değerlendirme (ÇED) raporunda [4] ana teknik yapı (**bazı koyu harfli eklemelerimizle**), kısaca şöyle yer alıyor:

'Akkuyu Nükleer Güç Santralının yapımında üçüncü nesil VVER tipi (ba-sınđlı su ile

soğutulan su moderatörlü g reaktörü) hafif su reaktörünün kullanılması planlanmaktadır. Bu tür reaktörlerde hafif su, hem nötron moderatörü hem de soğutucu olarak kullanılır.

*NGS'nin temel tasarımı (ift devreli bir VVER yani bir Su-Su-Enerji Reaktörü), şekil1'de tipik bir şematik gösterim olarak sunulmuştur. Buna göre, yakıt reaktörün kalbinde bulunmaktadır. Su, yakıt elemanları arasındaki aralıklarda yukarı doğru hareket ederek, fisyon (**uranyumun atom çekirdeğinin bölünmesi**) sonucu açığa çıkan ısıyı buradan uzaklaştırmaktadır. Isıyı çekmekte kullanılan bu su, "soğutucu" (İngilizcesi ile "coolant") olarak adlandırılmaktadır.*

VVER reaktörü, dünyanın en güvenli reaktörlerinden biri olarak ka-

bul edilmektedir. Rusya Federasyonu, Ukrayna, Çek Cumhuriyeti, Slova-
kya, Macaristan, Ermenistan, Hindistan, Finlandiya ve Çin gibi ülkelerde
kullanılan (**ya da yapımı süren**) VVER tipi reaktörler, bu endüstrinin tarihi
boyunca 50'den fazla nükleer güç santralında kullanılmıştır.

Projede, "Nükleer Güç Santralı Güvenlik Konsepti" uygulanacaktır. Buna
göre, Akkuyu NGS Projesi'nde güvenliğin sağlanması, çevreye salım yolu
üzerinde olabilecek radyasyonun ve radyoaktif maddelerin derinliğine sa-
vunma bariyerleri ile güvenceye alınması ve bu bariyerlerin, yerel nüfusun
korunmasına yönelik olarak alınacak tedbirlerde olduğu gibi teknik ve idari
önlemlerle desteklenmesi ve etkinliklerini arttıracak sistemler geliştirilmesi
ile mümkün olmaktadır.

Akkuyu NGS ana ekipmanı aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır:

- Reaktör kabı (**reaktör kazanı**); ömrü 60 yıl olan, ısı kapasitesi 3.200 MW olan dört adet VVER-1200 su reaktörü yer alacaktır. Nükleer yakıt olarak uranyum dioksit kullanılmaktadır.
- Borik asit ihtiva eden ve kimyasal bakımdan demineralize olan su, reaktör için hem soğutma hem de moderatör işlevi görür. Suyun derişimi işletme süresince değişir.
- Dört yatay tip PGV-1000 MKP buhar üretici inşa edilecektir (her buhar üretici 6,9 MPa basınçla üretim kapasitesi olan 1600+112 t/h kuru doyun buhar üretir)
- GCNA-1391 tipi dört ana dolaşım pompa seti kullanılacaktır.
- K-1200-6,8/50 tipi bir türbin-üreteç seti kullanılacaktır.

Reaktör, buhar üreteçleri ve diğer birincil/ana ekipmanlar, iki kademeli betonarme koruma kabı (**kalin beton duvarlı reaktör binasını çevreleyen containment**) içinde yer almaktadır. Çifte koruma kabı aşağıdakileri içermektedir:

Kaza Kontrol (lokalleştirme) Bölgesi ortamında, acil durum parametrelerine dayanıklı olacak şekilde tasarlanmış ve ön gerilmeli betonarme ile yapılmış iç koruma kabı; Dışarıdan gelebilecek doğal ve insan kaynaklı etkilere karşı koruma sağlamak amacıyla ve acil durumlarda iç koruma kabından sızabilecek radyasyonu (**radyoaktif maddeleri**) tutmak ve iki koruma kabı arasındaki alanı sınırlandırmak amacıyla ön gerilmeli olmayan betonarmeden yapılmış bir dış koruma kabı (Aşağıdaki Şekillere bk.).

Nükleer Güç Santrali yardımcı güç kaynağı sistemleri; işletim, hazırda bekleme ("standby") ve acil durum güç kaynakları ile gerilimi 10 kV ve 0,4 kV AC ve 220 V, 110 DC olan dağıtım sistemini içermektedir. Yardımcı güç kaynağı kaynakları iç ve dış olarak ayrılmaktadır. Yardımcı güç kaynağının dış kaynağı enterkonnekte şebekedir. Normal çalışmada, yardımcı güç kaynağının iç kaynağı türbin üretici, acil durumlarda ise yardımcı güç kaynağı dizel üreteçler ve akümülatör bataryalarıdır.

Tesisin soğutma düzeni, ısı aktarım biriminde bir kez dolaşan deniz suyunun soğutulmasına dayanan "tek geçişli sistem" olup, Akkuyu NGS'nin kullanma ve soğutma suyu denizden sağlanacaktır. Güvenlik sistemleri ile ilgili nihai ısı kuyusu da yine deniz olacaktır.

Nükleer Güç Santrali güvenlik sistemleri; koruma, lokalleştirme, destek ve kontrol sistemlerini içerir. NGS ayrıca "tasarıma esas kaza" ve "tasarım ötesi kaza" yönetim sistemlerine de sahiptir. NGS'nin güvenliği, iyonlaştırıcı radyasyon ve radyoaktif maddelerin çevreye çıkış yolu üzerinde kurulu fiziksel bariyer sisteminin uygulanmasını temel alan "derinliğine savunma kavramının", bu bariyerlerin korunması ve etkili kılınması için gereken teknik ve idari tedbirler sisteminin, personel, nüfus ve çevre koruma tedbirleri sisteminin kesintisiz olarak tatbik edilmesiyle sağlanmaktadır'.

Rus VVER Nükleer Santral Modellerinin Gelişimine Bir Bakış [5], [6], [7]

Akkuyu projesinde VVER-1200 (AES-2006) modeli nükleer santral yer alıyor. Bu model daha önceki VVER-1000 modelinin Finlandiya'da yapımı bitmek üzere olan 3.Kuşak nükleer santraldaki teknik özelliklerin projeye alınmasıyla geliştirilmiştir. VVER-1200 (AES-2006) modeli nükleer santralların yapımı Rusya'da sürmektedir.

Bu yeni model henüz hiçbir ülkede işletmeye geçmediğinden uzun yıllar işletilen daha önceki modellerle ilgili gelişmelerin ve deneyimlerin burada kısaca gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Daha önceki VVER-1000 tasarımı, bazı uluslararası uygulamaların gereğini de içerecek şekilde yeni Sovyet nükleer standartlarının gereksinimlerini yerine getirmek amacıyla 1975 ile 1985 yılları arasında VVER-440 modelinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır.

VVER-440/V213 modelinin Batı'daki Nükleer Santrallarda uygulanan uluslararası standartlara göre olumlu ve olumsuz özellikleriyle ilgili değerlendirmeler aşağıda bulunuyor.

VVER-440/V213 Modeli Nükleer Santrallarının Olumlu Özellikleri

Batıdaki nükleer santrallarındakinin benzeri, çelik donanımlı betonu önceden sıkıştırılmış (ön gerilmeli), geniş hacimli yapı (containment) Bu modeldeki güvenlikle ilgili gelişmeleri kapsayan iyi bir tasarım (Eski Sovyetlerdeki standartlar, daha önceki santrallarda sürekli kullanılan devre elemanlarından elde edilen deneyimlere dayanıyor).

Dört soğutma devresinin ve yatay buhar üreteçlerinin kullanılması, Sovyet tasarımcılarınca gelişme olarak nitelendiriliyor. Nükleer yakıt elemanları gruplarındaki düzenlemeyle soğutma suyunun daha iyi akışı sağlanıyor ve böylelikle kontrol çubuklarının etkinliği artıyor.

Seçilen uygun malzeme, yüksek kapasiteli ana soğutma suyu arındırma sistemi ve su kimyası kontrolü sonucu reaktör çalışanlarının aldıkları radyasyon dozlarının, batı'daki birçok nükleer santral dozlarından daha düşük olduğu açıklanan doz değerlerinden görüldüğü.

VVER-440/V213 Modeli Nükleer Santrallarının Olumsuz Özellikleri

Santralin alet ve kontrol sistemleri standartların altında. Acil elektrik sistemiyle reaktör koruma sistemlerinin kablolanma şekli ayrı kontrol gerekliliği yönünden batıdaki standartlara uymuyor. Bunların arasındaki bağlantılar kontrol sisteminde hataya neden olarak güvenlik sisteminin çalışmasını önleyebilir.

Yangından korunma sistemleri daha önceki VVER modellerindekinden pek farklı olmayıp batı Standartlarına uymuyor. Kalite kontrol, tasarım (design) ve yapım (construction) batı standartlarının altında. Kontrol odası personelinin (operatörler) korunması eski VVER modellerindeki gibi olup batı standartlarına uymuyor.

VVER-1000s Modeli

Batıdaki nükleer santrallarda bulunmasına karşın, VVER-1000s'de acil durumda 'teknik komuta merkezi' olarak çalışacak ve santrali tekrar kararlı normal duruma getirecek bir büro bulunmuyor. Böyle bir büro gerek ABD'deki gerekse batıdaki nükleer santrallarda Three Mile Island Unite 2 santralında 1979'daki kazadan beri var.

VVER-1000 modeli santrallarındaki çalışma ve ivedi durum yönetmelikleri batıdaki nükleer santrallarındakilerle karşılaştırılamayacak kadar zayıf.

Daha yüksek güç yoğunluklarına karşın, birincil ve ikincil devrelerin hacimlerinin daha küçük olması reaktörün daha az kararlı çalışmasıyla sonuçlanabilir.



Rus 3.Kuşak Nükleer Santrallerinin Gelişimi ve Önemli Özellikleri

Rusya, 2007-2015 arası gitgide artan enerji açığını kapatabilmek ve süresini doldurmakta olan eski nükleer santralleri devreden çıkarabilmek için 28 adet yeni nükleer santral yapımını planlamış ve bu çalışmadan kurulacak yeni santraller için VVER-1200/491 (AES-2006) modeli ortaya çıkmıştır. Akkuyu projesinde yer alan bu model nükleer santrallerin yapımı Rusya'da Nowoworonesch'de (Nowoworonesch II) ve ayrıca Leningrad'da sürüyor (Her birinde 2 ünite). Nowoworonesch 'de 2008 ve 2009 da başalanan santrallerin ilkinin 2012'de değerinin 2013 yıllarında işletmeye açılacağı planlandı. VVER 1000'nin geliştirilmesiyle oluşan bu model, Batı'daki (Areva şirketinin projelendirdiği) 3.kuşak santrallerde bulunan pasif güvenlik sistemlerini, uçak çarpmasına karşı korunmayı ve reaktör yakıt maddesinin erimesi durumunda yakıt maddesini tutacak bir 'yakıt maddesi tutma çanağını' da içeriyor. Çin ve Hindistan'da (Tianwan ve Kudankulam) ikişer adet VVER 1000'nin yapımı sürerken VVER-1200/491'in yaptırılması da düşünülüyor. Rus şirketinin, Türkiye'nin (Akkuyu) yanı sıra Finlandiya ve Çek Cumhuriyetinde de VVER-1200/491 (AES-2006) modeli santraller kurmak için teklifleri de var.

VVER-1000/320 ve VVER-1200/491 (AES-2006) modelinde nükleer yakıt maddesinin eriyeceği (ergiyeceği) bir kazada bile yakıt maddesi ve yakıt elemanları çubuklarının malzemesinin erimesi sonucu oluşan karışımda 'corium gazının' ortaya çıkmayacağı bunları yapan şirket tarafından açıklanıyor. Ayrıca, basınçlı reaktör kazanı (reactor pressure vessel) dışardan soğutularak kazanın çelik malzemesinin bozulmaması (erimemesi) ve böylece eriyen yakıt maddesinin kazanın içinde kalması sağlanacak. Buna rağmen yakıt maddesi erimesiyle ilgili teknolojik çalışmalar ve senaryolar henüz temel araştırmalar düzeyinde olduğundan yakıt maddesi erimesinin kontrol altında tutulmasıyla ilgili bir garanti bulunmuyor.

Santrali kuran şirketin açıklamalarına göre VVER-1000 modeli santral çevresinde yaşayan bir kişinin yılda alacağı radyasyon dozu 0,5 mSv'den daha az.

Sonuç

Akkuyu'da kurulacak VVER-1200 modeli Rus yapımı nükleer santralin, batı'daki 3.kuşak [2] bir santraldaki ana teknik yapıyı içereceği öngörülmüyor.

Fukuşima kazasından edinilen bilgilerin ışığında gerekli yaptırımları da katarak, batı'daki 3.kuşak bir nükleer santraldaki teknik yapının Akkuyu sant-ralında gerçekleşmesi umulur.

Kaynaklar:

1. Fukuşima Nükleer Reaktörlerinde Son Durum Çevreye Yayılan Radyoaktivite ve Personel Radyasyon Dozları, Atakan, Y., TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi, Aralık 2011 (Bk. Bölüm 7 ilk yazımız).
2. STUK Raporu: Regulatory and Modernization Experiences on Finnish NPP I&C-area To be presented at IAEA 23rd TWG-NPPIC Meeting on 24-26 May 2011 in Vienna
3. Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Radyoaktivitenin Sınırlanması, Atakan, Y., Tübitak Bilim Teknik Dergisi, Mayıs 2008.
4. Akkuyu Nükleer Güç Santral (NGS) Projesi, Çevresel Etki Değerlendirme Dosyası (ÇED Raporu) Worley Parsons ve Dokay Şirketleri, Ankara, 2011
5. Prof. H. Böck. "WWER/ VVER (Soviet Soviet designed designed Pressurized Pressurized Water Water Reactors Reactors)". *Vienna University of Technology. Austria Atominsttute*. Retrieved 28 September 2011.
6. Nikolay Fil (26–28 July 2011). "Status and perspectives of VVER Status and perspectives of VVER nuclear power plants nuclear power plants". *OKB Hidropress*. IAEA. Retrieved 28 September 2011.
7. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-21_web.pdf
8. Akkuyu Nükleer Santralının yapımıyla ilgili 29.06.2010 tarihli kanun tasarısı (TBMM'nin onay tarihi: 21.07.2010)-Rusya ile yapılan anlaşma

Yüksek Güvenlikte Bir Nükleer Santral Kaça Çıkar?

Nükleer santralların ortalama birim maliyeti, üretilecek elektriksel birim güç başına ya da pratikte kullanılan megawatt (MW) başına harcanan para olarak hesaplanıyor. Bu birim maliyet, nükleer santral tekliflerinin kabaca karşılaştırılmasına yarayabiliyor. Bu çeşit bir hesaplama ve karşılaştırma, güvenliği yüksek bir santralın seçiminde bir ölçüt olabilir mi? Aşağıda bunu birkaç örnekle irdelemeye ve bunları etkileyen değişkenleri açıklamaya çalışacağız.

Akkuyu'da kurulması planlanan Rus santralları (4 adet x 1200 MW'lık reaktör) için ilgili Rus şirketinin 20 milyar usd yatırım yapacağı ÇED raporunda yer alıyor. Buna göre 1 reaktörlü 1 santral için: 4,17 milyon usd/MW

Kore şirketinin Birleşik Arap Emirliği'ne yaptığı teklif: 4 adet x 1400 MW için: 20 milyar usd. Buna göre 1 reaktör (1 santral) için: 3,6 milyon usd/ MW

Finlandiya'da yapılmakta olan 3. kuşak 1700 MW'lık bir nükleer santral için Areva şirketiyle yapılan sabit fiyat sözleşmesi başlangıçta (2005 yılında)

3,2 milyar avro iken, bugün Finlandiya yetkili kurumunun istediği ek önlemlerini karşılayabilmek için toplam fiyatın 5 ile 7 milyar avro arasında olacağı kestiriliyor [4].

Modern bir santralin 7 milyar avro'ya (=15 Milyar TL kadar) mal olacağını varsayarsak zamanla artacak fiyatlarla batıdaki 3. kuşak 1200 MW'lık bir nükleer santralin ileride 15 milyar TL'e mal olacağı düşünülerek, şirketin bu parayı satacağı elektrikten çıkarabilmesi için üretilen elektriğin kWsaat fiyatı 15 yıllık amortisman süresi boyunca kabaca hesaplırsa: $15 \text{ Milyar TL} / (1200 \text{ MW} \times 1000 \text{ kW/MW} \times 8760 \text{ saat/yıl} \times 0,75 \text{ verim} \times 15 \text{ yıl}) = 13 \text{ kuruş/kWsaat}$ olacaktır (Bu kaba fiyat, kuşkusuz, 15 yıl boyunca enflasyon ve döviz kuru değişimleri sonucu çok değişecektir). Santralin yapımı boyunca alınacak kredilere her yıl ödenecek faiz, ileride santralin işletme giderleri, sistemlerin bakımı ve onarımının yanı sıra radyoaktif atıklarla ilgili işlemler, bunların depolanması gibi daha bir dizi ek gider ve şirketin kârı da hesaba katıldığında, yukarıda kabaca hesaplanan kWsaat fiyat 2-3 katı bulabilir.

Şirket, kuşkusuz Finlandiya örneğinde olduğu gibi, yapım süresince her yıl parasını alarak santrali yapabilir. Ancak 'yap işlet' modelinde şirketin, her yıl kabaca 1 milyarlık döviz finanse ettirmesi ve aldığı krediyi en az 6 yıl boyunca gitgide artan faiz tutarlarıyla geri ödemesi gerekeceğinden kâr edebilmesi için ya daha ucuza (daha az güvenlikte), bir santral yapacak ya da ileride üreteceği elektriği çok yüksek fiyatla satmak isteyecektir. Buna ise hükümet ve halk karşı çıkacağından elektriğin kWsaat satış fiyatı sınırlamasını daha başlangıçta kabul etmek zorunda kalacağından daha ucuza bir nükleer santral yapmak ve bunu, güvenli bir nükleer santral olarak sunmak olabilir.

Ayrıca, santrallerin uzun yapım süresi boyunca bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak denetleyici kurumlardan yeni yaptırımlar geldiğinde fiyat daha da artacaktır.

Bunlar göz önüne alındığında, yukarıda verilen birim maliyetlerin, şartnamelerde büyük farklılık varsa, bir anlamı olmayacağı açık. Ayrıca personel giderleri, nükleer atıklarla ilgili depo yerlerinin yapımı ve işletme giderlerinin şartnamede bulunup bulunmamasına göre de fiyatlar arasında farklılık olacaktır. Bu nedenlerle, bir nükleer santralin gerçek fiyatı ancak işletmeye açıldıktan sonra kestirilebilir. Yapılmakta olan bir nükleer santralin, sürekli gelişen güvenlik önlemlerinin yetkililerce ve uzayan süre sonucu, Finlandiya örneğinde olduğu gibi, santralin başlangıçta ön görülen fiyatının iki kat artabileceği artık normal karşılanmalıdır.

Radyoaktif atıklarla ilgili depo yerlerinin yapımıyla, kullanılmış uranyum (plütonyumlu) yakıt elemanlarının yabancı ülkelere güvenlik önlemleri alınarak gönderilme ve arıtılma giderleri de eklendiğinde yukarıdaki maliyet daha da artacaktır (Almanya'da nükleer yakıtların trenle taşınması sırasında bunların depo yerine götürülmesine karşı direnen binlerce kişinin yoldan uzaklaştırılmalarıyla ilgili polisin aldığı önlemlerin tutarı 25 milyon avro'yu buluyor). Deniz yolu taşımada ise yol boyunca alınacak ayrıntılı önlemlerin özellikle Çanakkale ve İstanbul boğazlarında bir kaza riskini en aza indirecek şekilde planlaması ve uygulanması önem kazanıyor ve bunlarla ilgili önlemler de ileride fiyatı etkileyecektir. Her ne kadar Akkuyu'da 4 reaktörlü santral yapılması, tek reaktörlü olan bir santrale göre birim maliyeti (reaktör başına) bir miktar düşürecekse de, yukarıda açıklanan çeşitli etkenlerle Batı'daki 3. Kuşak kalitesinde uluslararası standartlara uygun bir santral yapılması Rus şirketinin ön gördüğü maliyetle zor görünüyor.-Maliyet şirketin işidir, bizi ilgilendirmez denilemez. Çünkü yapılacak nükleer santralin güvenlik sistemleri en üst düzeyde olmaz ise, ileride olabilecek bir kazada, bundan zarar görecek özellikle çevre halkı ve doğa olacaktır.

Santralin Uzun Yapım Süresi Boyunca Yapılması Gerekli Denetimlerle (Kontrollarla) İlgili Zorluklar

Bunlar yakından incelenirse:

'Yap işlet' modeline göre yaptırılacak Akkuyu NGS'da, santralin güvenliğiyle ilgili her bir sistem ve parçanın standartlara uygun olması gerektiği koşulları, sözleşmede bulunmadığından, santrali kuran şirketin bunları ne ölçüde yerine getireceği bilinemez ve ileride ek yaptırım ve maliyet getirecek 'standartlara uyma' zorunluluğunu şirketin kabul etmeyeceği düşünülmelidir. Akkuyu NGS'nın batıdaki gibi 3.kuşak, güvenliği en üst düzeyde bir NGS'ı olacağı nasıl sağlanabilecek ya da bilirkişi raporlarıyla nasıl belgelenebilecek? 7-8 yıl sürecek yapım sırasında, bilirkişi ücretleri için (saat ücreti 100-200 Avro) büyük bir para gerekebilir. **Daha önemlisi, böyle bir denetimi Rus şirketi kabul edecek mi? Ana sorun burada.**

Akkuyu Nükleer Santral Yapımında Hangi Denetimler Gereklidir?

Akkuyu nükleer santraliyle ilgili parlamentoların da onayladığı anlaşma metninde de [8] ÇED raporunda da, nükleer ve radyasyon güvenliğinin, ilgili standartlara bağlı kalınarak santralin yapımı süresince bu konularda deneyimli kurumlardan, danışmanlık hizmeti alınarak gerçekleştirileceğiyle ilgili bir madde bulunmuyor. Uluslararası standartlara göre güvenliği en yüksek modern bir nükleer santralin yapımının daha proje döneminde denetimi için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) Akkuyu'da yapımı planlanan nükleer santralla ilgili olarak 1984'teki Siemens KWU teklifinde uyguladığı bir yöntemi bugün Rus santrali için de izlemesi yararlı olabilir. TAEK, bünyesinde nükleer santrallardaki karmaşık teknik sistemlerin yüzlerce alet, aygıt ve malzemenin standartlara uygunluğunu değerlendirebilecek bir deneyimli kadro bulunmadığından (ki bu, bugün de böyledir) 1984'te Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'na başvurarak KWU şirketinin (20 kadar kalın klasörlü) teklifindeki ayrıntılı teknik açıklamaların, Almanya'daki Nükleer Standartlara (KTA) uyup uymadığını ve varsa bu standartlardan sapmaların belirlenmesini istemişti. Bizim de 'radyasyondan korunma kurulunda' katıldığımız bu toplantılar 16-25 Temmuz 1984'te Viyana'da yapıldı.

Öngörülen KWU nükleer santral projesinin teknik özelliklerini inceleyen uzmanlık kurulları şunlardı:

1. Radyasyondan korunma
2. Mekanik mühendislik
3. Genel mühendislik
4. Kaza analizi.

Almanya'daki Reaktör Güvenlik Kurumu'nun (GRS) standartlara (KTA, DIN) uyuma ilişkin olarak KWU'nun yapmayı öngördüğü santralin teknik yapısı, güvenlik sistemleri, arıza ve kaza durumunda devreye girecek otomatik sistemler bu toplantılarda enine boyuna tartışıldı ve standartlardan bazı sapmalar olduğu belirlendi. 25 kadar uzmanın katkısıyla hazırlanan IAEA teknik raporu TAEK'e iletildi.

Proje dönemindeki böyle bir incelemenin ardından, bu konularda danışmanlık hizmeti veren TÜV gibi kurumlar devreye katılarak sistemlerin, malzeme, alet ve aygıtların sürekli denetiminin yapılmasının, güvenliği yüksek bir santralin yapılarak ilerideki kazaların önlenmesindeki payının büyük olacağı açıktır.



Bu Amaçla Yapılabilecek Denetimleri İki Gruba Ayırabiliriz:

1. Genel Denetim

PROJENİN TEKNİK DETAYLARININ İLGİLİ STANDART VE YÖNETMELİKLERE UYGUNLUĞUNUN DENETİMİ, BUNLAR, ANCAK UYGUNSA ONAYI (1984'deki KWU projesinde olduğu gibi ilgili dallardaki UAEA uzmanlarının yapabileceği bir denetim).

2. Ayrıntılı Özel Denetim

SANTRALIN GÜVENLİ ÇALIŞMASIYLA İLGİLİ HER BİR SİSTEM, AYGIT VE MALZEMENİN YAPISINDAN MONTAJINA VE YERİNDE DENENMESİNE KADAR İLGİLİ STANDARTLARA ve YÖNETMELİKLERE UYGUNLUĞUNUN ANCAK İLGİLİ DALLARDAKİ DENEYİMLİ BİLİRKİŞİLERCE DENETİMİ, BUNLAR, ANCAK UYGUNSA ONAYI (Bu çeşit ayrıntılı deneyimleri örneğin Almanyadaki TÜV gibi kurumların uzmanları yapabilir).

Ayrıntılı Özel Denetime Bir Örnek

Basınçlı reaktör kazan malzemesinin denetimi:

Reaktör kazan malzemesinde iz (eser) elementler çok az olmalı ve kazan malzemesi, sürekli nötron akısı altında, uzun sürede ince yapısını bozmamalı. Reaktör kazanının bunlarla ilgili bir dizi standara uygunluğu **nasıl ve hangi uzmanlarca** denetlenecek?

Ayrıntılı Özel Denetime Başka Bir Örnek:

Santralin güvenli çalışmasıyla ilgili boruları, depoları ve bazı aygıtları duvarlara tutturun dübeller (25 cm kadar uzunluğunda) depreme dayanıklı olmalı ve yüzeye tam dik yerleştirilmeli (mote edilmeli) yoksa öngörülen depremde bunlar hasar göreceğinden ilgili tüm sistemler hasar görebilir, çalışmazlar.

Almanya'daki Biblis NGS'da, biraz çarpık monte edildiği sonradan belirlenen 15.000 dübel'in sökülüp yenileriyle değiştirilmesi 1,5 yıl sürdü ve santralin durdurulmasıyla birlikte bu iş 1 milyar avro'yo mal oldu. **Sadece 1 tek dübelin montajında 6-7 montör ve uzman, ilgili yönetmeliklerin yaptırımlarını denetliyor. Rastgele seçilen bazı dübellerin denetimine izin verilmiyor, tümünün tek tek denetimi gerekiyor. Dübellerin uygunluğu, hem atom enerji yasasına hem de yapı güvenliği yasa ve yönetmeliklerine göre farklı uzmanlarca denetleniyor.**

Ne yapmalı ya da Çıkar Yol Nedir?

Akkuyu anlaşması hatta 'yasa' olarak yürürlüğe girdiğine ve taraflarca kabul edildiğine göre, artık bu anlaşmada herhangi bir değişiklik yapılamayacağı ya da buna yukarda açıklandığı gibi ek maddeler konulamayacağı açık.

Anlaşmanın 8.maddesinde 'Nükleer Güç Santrali (NGS), nükleer güvenlik ve radyasyon koruması kapsamında **Türkiye Cumhuriyeti kanun ve düzenlemeleriyle uyumlu olarak lisanslanır ve denetlenir**' dendiğine ve bunun sağlanması için de yetkili TAEK olduğuna göre, TAEK'nın nükleer santrallerle ilgili yasal görevlerine dayanılabilir. Buna göre, Türkiye'nin, diğer ülkeler gibi, en azından UAEA standartlarını uygulayacağı gözönüne alınarak yapılacak bir yönetmeliğe yukardakileri de içeren bir dizi somut ek maddeler liste hâlinde hazırlanabilir ve Rus proje şirketinin (APC) bunları lisanslama süresince aynen yerine getirmesi istenebilir.

Öte yandan, dünyanın herhangi bir nükleer santral proje şirketinde ya da bunları denetleyen kurumlarda çalışmış deneyimli uzmanlar ya da deneyimli danışmanlık kurumları Türkiye'de bulunmadığından, nükleer santralin proje ve yapım süresince her bir sistemi ve bunlarda kullanılacak malzemenin, alet ve aygıtların, uluslararası standartlara uygunluğunun denetimini ve ayrıntılı kalite kontrolünü yapacak Almanya'daki TÜV gibi danışmanlık kurumlarından yararlanılması, güvenli bir nükleer santralin kurulması için zorunludur. Örnek olarak, çevreye salınan baca gazlarındaki çeşitli radyoaktif maddeleri sürekli ölçecek aletlerin [5] kalite ve duyarlılıkları düşük ise (ya da bu aletlerin yeterli duyarlılıkta olmayan kalitesi düşük olanları, ucuzları seçilmişlerse) çevreye, bu çeşit kalitesiz aletlerin (monitorların) gösteremediği radyoaktif maddeler azar azar salınacak ve ancak yıllar sonra, çevredeki toprak ve yiyeceklerde biriken radyoaktif maddelerin ölçülebilmesi yoluyla, halkın sonradan, belki de iş işten geçtikten sonra, fazla radyasyon dozu aldığı belirlenebilecektir.

Sonuç

Bu nedenlerle, Türkiye'de 'yap işlet' modeliyle güvenliği en yüksek düzeyde bir nükleer santralin yaptırılabilmesi ancak nükleer santral yapımında görev almış deneyimli danışmanlık kurumlarının, santralin proje ve yapım süresince, sürekli devreye katılabilmesi ve santralde kullanılacak her sistemin, malzeme ve aygıtın ilgili uluslararası standartlara uygunluğunun sıkı denetimi yapılarak (gerektiğinde ek yaptırımlarla) gerçekleştirilebilir. Bu yolun izleneceği ve santrali kuracak şirkete gerektiğinde ek yaptırımların kabul ettirilebileceği beklenir. Ancak böylelikle ileride olabilecek kazalardan halkın korunması önceden sağlanabilecektir.

(Bu yazımız, 16 Kasım 2012 günü Ankara'da toplanan Dünya Enerji kongresinde sunulmuştur).

Kaynaklar

1. Fukuşima Nükleer Reaktörlerinde Son Durum Çevreye Yayılan Radyoaktivite ve Personel Radyasyon Dozları, Atakan, Y., Tübitak Bilim Teknik Dergisi, Aralık 2011 (Bk. 7.Bölüm başındaki yazılarımız).
2. Akkuyu Nükleer Santralının yapımıyla ilgili 29.06.2010 tarihli kanun tasarısı (TBMM'nin onay tarihi: 21.07.2010)-Rusya ile yapılan anlaşma
3. Akkuyu Nükleer Güç Santralı (NGS) Projesi, Çevresel Etki Değerlendirme Dosyası (ÇED Raporu) Worley Parsons ve Dokay Şirketleri, Ankara, 2011
4. STUK Raporu: Regulatory and Modernization Experiences on Finnish NPP I&C-area To be presented at IAEA 23rd TWG-NPPIC Meeting on 24-26 May 2011 in Vienna
5. Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Radyoaktivitenin Sınırlanması, Atakan, Y., Tübitak Bilim Teknik Dergisi, Mayıs 2008.

3.Kuşak Bir Nükleer Santralın Finlandiya'da Yapımı Süreken Alınabilecek Dersler

3.Kuşak Avrupa Basınçlı Su Reaktörü (EPR: European Pressurized Water Reactor) projesi 2003'den önce sadece kağıt üzerinde kaldı. 2003 yılında bu tip bir reaktörle çalışacak bir nükleer santral isteği Finlandiya'dan gelince durum değiştirdi. Alman Siemens ile Fransız Framatome şirketlerinin ortaklaşa Areva şirketi olarak verdikleri teklife göre, Finlandiya'nın Olkiluoto adasında bu tipte ve 1600 Megawatt elektrik gücünde (Brüt termik gücü: 1720 MW) bir nükleer santral kurulması 2003'de kararlaştırıldı. Bugüne kadar işleyen nükleer santrallarda bulunmayan ek güvenlik sistemleriyle donanımlı bu santral, dünyanın en büyük ve en güvenli santralını (3.kuşak) olarak projelendirildi.

Aslında 3.kuşak bir nükleer santralın 2. kuşak santraldan farkı eklenen ileri güvenlik sistemleridir. Bunlardan en önemli bazıları şunlar: Reaktörü çevreleyen büyük beton güvenlik küresinin kalınlığı 1,8 metre (2.Kuşak santralda: 1,5 metre). Böylelikle uçak çarpmasına karşı reaktör korunmuş oluyor. Ayrıca 3.kuşak bir santralda reaktör çelik kazanının altında bir 'Nükleer Yakıt Tutma Çanağı' bulunuyor. Reaktöre herhangi bir nedenle soğutma suyu verilemediğinde, çok yüksek sıcaklıkta eriyecek (ergiyecek) nükleer yakıtın, reaktör kazanının dibini delip çok yüksek radyoaktivitedeki çeşitli radyoizotopların ve plütonyum gibi çok zehirli maddelerin toprağa, sulara ve bitkiler geçmesini, bu çanak önleyecek.



Şekil 8.3 Finlandiya 3.kuşak nükleer güç santrali (NGS)

Finlandiya'daki bu santralin yapımında yaklaşık 50 ülkeden 4.000 kadar kişi çalışıyor. Kubbesi 70 metre yüksekliğe ulaşan, silindirik şeklindeki beton reaktör binası tümüyle bitirilmiş olup çelik reaktör kazanı da bu binanın içine yerleştirilmiş bulunuyor. Siemens'in yaptığı 4.300 ton ağırlığındaki dünyanın en büyük buhar türbini de santralde hazır durumda. Santrali ilerde Teollisuuden Voima Oyj (TVO) şirketi işletecek. Olkiluoto adasında ayrıca yüksek radyoaktiviteli atıklar için granit kayalar içinde 420 metre derinlikte uygun bir depo yeri de yapılması da 2010 yılında parlamento kararıyla kararlaştırıldı (dünyada ilk). Radyoaktif atık deposunun 2020 yılında işletmeye açılması planlanıyor.



Şekil 8.4 Finlandiya'daki nükleer santraller

Finlandiya'daki tüm nükleer santraller Ost See (Doğu Denizi) kıyısında bulunuyor. Reaktör soğutma suyunu denizden alıyor ve epey arındırılan atık suları da bu denize salıyor. Bu denizin, İsveç ve Finlandiya nükleer santrallerinden atılan radyoaktif maddelerle, dünyanın en kirli denizi olduğu ileri sürülüyor. Finlandiya'nın Lapland bölgesinde uranyum madeni de bulunuyor. Santralin yapımını denetleyen Finlandiya yetkili kurumu (STUK) özellikle iletişim sistemlerinde (elektrik, elektronik) çok çeşitli eksiklik ve uyumsuzluk gördüğünden bunların giderilmesini istemiş bulunuyor. Areva'nın **Olkiluoto 3** (OL 3) Projesine göre nükleer santralin 2009'da işletmeye açılması planlanmış olmasına karşın özellikle montaj ve otomasyon sorunları nedenleriyle hâlâ yapımı sürüyor ve 2014' de bile işletmeye açılması beklenmiyor. Ayrıca 2,5 milyar avro olarak projelendirilen ve Areva'nın en çok 3,2 milyar Avro olarak fiyatla yapmayı taahhüt ettiği santralin fiyatının ilerde 5-7 milyar Avro'yu bulacağı kestiriliyor. OL3'ün yapımındaki bu sorunlara karşın Finlandiya'da yeni bir nükleer santral yapımı da planlanıyor. Fiyattaki artışın bir bölümünü, ileride santrali işletecek firmaya aktarmak isteye Areva, bu arada, Uluslararası Ticaret Mahkemesi'nin hakemliğine başvurdu. Areva, gerekçe olarak da Fin Radyasyon Korunma Kurumu'nun yerine getirilmesini istediği abartılı istekleri gösteriyor (Fransa'daki Flamanville'de yapımı başlayan benzer bir 3.Kuşak (EPR) santralında da, yetkili atom enerjisi kurumu beton temel yapının yeterli güvenlikte olmadığı gerekçesiyle yapımı durdurduğundan, orada da gecikme ve fiyat artışı bekleniyor).

Finlandiya OL3 nükleer santral projesi sırasında kazanılan deneyimler (ilgili rapora göre /1/): Proje döneminde:

- Yeni bir nükleer santralin yapımına başlamak, daha önce nükleer endüstride edinilmiş deneyim ve kaynakların büyük bölümü yitirildiğinden, zorlu bir işe girişmektir.
- Santralin yapımına başlanmadan projenin iyice hazırlanabilmesi için gerekli zaman ayrılmalı. Özellikle bunlar:
- Santral yapım sürecinin rayında gidebilmesi için tasarımın gerektiği kadar önceden hazırlanması.
- Yeni tasarımın özellik ve teknolojilerinin iyice gözden geçirilip değerlendirilmesi.
- Yetkin (kaliteli) organizasyonların kurulması.
- Katkıda bulunacak tarafların sorumluluklarının belirlenmesi.
- Projeyi uygulayacak yetkin tasarımcı, inşaatta çalışacak teknik personel ve üretici şirketlerin (malzeme ve aygıt yapan şirketler) varlığının önceden güvenceye alınması ve
- İlgili yönetmelik ve standartların uygulanmasındaki önemli belirsizliklerin önceden giderilmesi.

İnşaat döneminde:

- Yapım sürecinde belirlenen kaliteyi tutturabilmek için, santrali işletecek TVO şirketiyle denetleyen (STUK) kurumu arasında yakın iş birliği gerekmektedir.
- Projenin uygulanması cesaret verici biçimde sürmüş ve başlangıçtaki birkaç sorunun giderilmesinin ardından yapım işi pürüzsüz yürümüştür. Bununla birlikte, reaktör bölümünde ilk boruların yerleştirilişi sırasında kaynakçıların süreç için belirlenen kurallara, standartlara tam olarak uymaları için zorlayıcı önlemler gerekmiştir.



Şekil 8.5 Finlandiya'daki nükleer santraller

- Yine de birçok kez belirlenmiş kurallardan sapıldığı görülmüş, malzeme ve aygıtların yeniden yaptırılması gereği doğmuşsa da, TVO ile üretici şirketlerin kaliteye verdikleri önem ve yapıcı yaklaşımları oldukça iyi bir düzeyde gerçekleşmiştir.

STUK raporunda özellikle modellerin ve simülöterlerin kullanılmasının hem nükleer santralin yapımında ve hem de ileride işletilmesinde büyük kolaylık ve güvenlik sağlayacağı vurgulanıyor. Daha ayrıntılı bilgi ve öneriler bu raporda bulunuyor /1/ ve /2/.

Sonuç olarak, Türkiye’de yüksek güvenlikte bir nükleer santral yapımı hedefleniyorsa hem Finlandiya’da yapımı süren santralde ortaya çıkan güçlüklerin hem de Fukuşima kazası deneyimlerinin iyice incelenmesi, bunlardan doğan yaptırımların santrali yapan şirketlere sözleşmelerle kabul ettirilmesi beklenir.

Kaynaklar:

/1/ STUK Raporu: Regulatory and Modernization Experiences on Finnish NPP I&C-area To be presented at IAEA 23rd TWG-NPPIC Meeting on 24-26 May 2011 in Vienna,

/2/ <http://www.bilimania.com/yazarlar/3583-finlandiya-3-kusak-nuekleer-santrali/>

Halkı İnandır, Nükleer Santrali Yap!

Mersin Akkuyu’da yapımı planlanan dört nükleer reaktörlü santral için yetkililer, sözleşme yapılan Rus şirketine “Halkı inandır ve santrali yap!” denebilecek bir koşul ileri sürmüşler (basından). Nükleer santrallerin çok çeşitli teknik özellikleriyle ilgili uzmanlık dallarına yabancı olan çevre halkı ve hatta sivil toplum kuruluşları, **nükleer santralin ileride hiçbir güvenlik sorunu yaratmayacağına** nasıl inandırılacak? Nükleer santralin teknik yapısını, güvenlik önlemlerini gösteren resimlerin, çizelgelerin ve video kayıtlarının sergileneceği halka açık toplantılarda yapılacak konuşmalar, soru ve yanıtlar, çevre halkını inandırmak için yeterli olacak mı? Konuya yabancı çevre halkına “Hiç kuşkulamayın, rahat uyuyun, yapacağımız nükleer santral çok güvenli olacak, 5-7 yıllık yapım ve ileride 40 yıllık işletme süresince buraya yüzlerce şirket gelecek, sizler ilk sırada olmak üzere binlerce insana iş olanağı doğacak, çevreniz kalkınacak.” gibi çekici sözler mi söylenecek ve halkın onayı mı alınacak?

İzlenecek, alışılmış doğru yol ise, ilgili şirketin yapacağı nükleer santralin projesini tüm teknolojik özellikleriyle hazırlayıp açıklaması (20-30 kalın klasör) ve bunun uzmanlar düzeyinde incelenip tartışılması; bilirkişilerin çalıştığı uluslararası saygın kurumlardan (örneğin IAEA, Almanya’da GRS,

TÜV)¹ projeye ilgili teknik değerlendirme raporlarının alınması ve ancak bundan sonra santralin projesi ve güvenliğinin ölçüsü bilirkişi raporlarıyla desteklenerek halka sunulmasıdır. Santrali yapacak şirket ön bilgilendirme toplantılarıyla çevredeki halka ve sivil toplum kuruluşlarına bu yolu izleyeceğine önceden açıklamalı, santralla ilgili genel bilgi vermelidir. Bu yolun, hükümetin yapımına kararlı olduğu Akkuyu ve diğer santraller için izleneceği, Türkiye’de güvenliği en üst düzeyde ve Finlandiya’da yapımı bitmek üzere olan 3. kuşak modern nükleer santrallerin benzerlerinin yaptırılacağı beklenir. Açıklanan CED raporu² bu konuda olumlu bir başlangıç olmakla birlikte bununla kalınmamalı, yukardaki yol izlenmelidir.

Nükleer santral yapımına karşı çıkan sivil toplum örgütlerine de önerimiz, hükümet nükleer santral yaptırmada kararlı olduğuna ve sanırız hiçbir güç ve olay (örneğin Fukuşima) da hükümeti bu kararından vazgeçiremediğine göre, akıntıya karşı kürek çekmek yerine, güvenliği düşük düzeydeki santrallara karşı çıkarak, “Yapılırsa güvenliği en yüksek standartta santral olsun” denilerek, halkı ileride olabilecek kazalara karşı şimdiden korumaya katkıda bulunmak olmalıdır ve sağduyu da bunu gerektirir. Yoksa, istenildiği kadar direnilsin, sonunda güvenliği düşük santraller kurulmasını eminiz nükleer santral karşıtları da hiç istemezler ama umarız iş işten geçmiş olmaz!

Akkuyu Santraliyle ilgili Politik ve Teknik Duruma Dışardan Bakış

Son 30 yıldır hükümetlerin, muhalefetin, nükleer karşıtların ve halkın tutumuyla Almanya’daki durumun karşılaştırılması ve öneriler

Bu yazıda, Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS) örneğiyle Türkiye’de bu konudaki teknik ve politik durum inceleniyor ve Almanya’daki durumla karşılaştırıp sonuçlar çıkarılıyor. Bu örnek, Türkiye’de ileride yapılması düşünülen diğer NGS’ler için de genişletilip benzer sonuçlar çıkarılabilir. Yazımımız, bu konudaki ‘olup bitenleri ve bugünkü durumu’, dışarıdan bir gözlemcinin bakışıyla, olduğu gibi yansıtmaya çalışıyor.

Akkuyu’da herbiri 1200 MW’lık 4 reaktörlü, toplam 4800 MegaWatt gücündeki bir nükleer santralin yapımı bugünkü hükümetçe kararlaştırılmış ve ilgili sözleşme, hatta TBMM’nin onayıyla 2010’da yasalaşarak, santralin yapım hazırlıklarına 2011’de başlanmıştır /1, 2/.

¹ IAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu, GRS: Almanya Reaktör Güvenlik Kurumu, TÜV: Almanya Teknik Gözetim/Denetim Kurumu (nükleer santraller bölümü).

² CED: Akkuyu Nükleer Santrali Çevre Etki Değerlendirmesi, Dokay Aralık 2011

Akkuyu NGS projesiyle ilgili Türkiye'deki durumun farklı iki yönden incelenmesi yararlı olacaktır:

- Hükümetlerin konuya yaklaşımı yönünden durumun incelenmesi
- Nükleer karşıtların, muhalefetin ve halkın konuya yaklaşımı yönünden durumun incelenmesi

Hükümetlerin Konuya Yaklaşımı Yönünden Durumun İncelenmesi

Akkuyu'da bir nükleer santral yapımı zal hükümetlerinden beri neredeyse son 30 yıldır zaman zaman gündeme gelmiş olmasına karşın, güvenliği en üst düzeydeki tek reaktörlü modern bir nükleer santral için, bugünkü fiyatlarla, gerekli olan 8-10 milyar dolarlık (usd) yatırım bütçeye büyük bir yük getireceğinden bundan vazgeçildiği biliniyor. 1200 MW gücünde tek reaktörlü bir santral Türkiye'deki elektrik üretimini sağlayan kurulu gücün sadece % 2,5 kadarı olduğundan, bu çeşit reaktörlerden en az 10 adet yapıldığında, ilerideki enerji üretimine önemli bir katkı sağlanabilecektir (Türkiye'de 2010'da, su, kömür, doğal gaz ve diğer kaynaklarla elektrik enerjisi üretimini sağlayan toplam kurulu gücü yaklaşık olarak 50.000 MW'tır). 10 nükleer santral için 80-100 milyar dolar gibi yüksek bir döviz miktarı 5-10 yıl içinde gerekecektir. Bu ise, bütçeyi ve ekonomiyi altüst edeceğinden, böyle büyük bir yatırımı daha önceki hkmetler gibi şimdiki hükümetin de yapmak istemediği açıktır. Bu nedenle, önce zal zamanının 'yap, işlet, devret' ve son yılların da da sadece 'yap, işlet, bize elektrik sat, maliyetini elektrik satımından çıkar' şeklindeki modelle, ülkenin ekonomisini altüst etmeden, yabancı bir şirkete, sanki otomobil fabrikası kurdurur gibi, bütçeye yk olmayacak, bir nükleer santral kurdurulması yolu seçilmiştir. Bu çeşit bir modelle, yapılabilecek nükleer santrallar için ise batılı şirketler yapım ve işletme sırasında riske girip, zarar etmek istemediklerinden ilgi göstermemişler, proje için teklif vermemişler ya da tekliflerini sonradan geri çekmişlerdir. Daha sonra 2010 yılında, Akuyu'da herbiri 1200 MW'lık 4 reaktörlü bir nükleer santral yapımına sadece Rus şirketi ilgi göstererek teklif vermiş ve bununla ilgili yapılan sözleşme hatta TBMM'den geçirilerek yasalaştırılmıştır. Böylelikle bugünkü ve ilerideki hükümetlerin bu yatırımı 'yasayla güvenceye alınarak', nükleer karşıtların projeyi yargı yoluyla ileride engellemeleri önceden nlenmiştir denebilir. Bir nükleer santral yapımı projesiyle ilgili sözleşmesinin yasalaştırılmasının dünyada bir benzeri var mıdır? bilmiyoruz ama batılı gelişmiş ülkelerde böyle bir uygulama bulunmuyor. Yasa çıkmadan önce muhalefetin ve nükleer karşıtların bu yasaı engellemekle ilgili sesleri ise hiç duyulmamıştır. Bu nedenle nükleer santral yapmakta kararlı olan hükümetin elini bu yasa iyice güçlendirmiştir.

Rus şirketi 4 reaktörlü Akkuyu nükleer santral için 20 milyar usd yatırım yapacağını açıklamıştır. Reaktör başına 5 milyar usd ile ise güvenliği en üst düzeyde olan batıdaki 3.kuşak tipte bir nükleer santral yapılamayacağı, Finlandiya deneyimiyle, açıktır /3,4/. Çünkü Finlandiya'da yapımı 10 yıldır süren ve çeşitli sistemleri onaylanmadığından 2014 'de de işletmeye açılacağı pek beklenmeyen modern bir nükleer santralin 10 milyar usd'yi bulan maliyeti göz önüne alındığında, benzer güvenlikte bir santral eğer Rus şirketi Akkuyu'da kuracak olursa, bu maliyete ek olarak ilerideki işletme giderlerinin yanı sıra, Türk hükümetinin elektriğin kWsaat fiyatına koyduğu üst sınırı da hesaba katmak durumunda olduğundan, zarar etmemek için santraldaki sistemleri Finlandiya'dakinden çok daha ucuza getirmek, kaliteyi ve dolayısıyla santralin güvenliğini düşürmek zorunda kalacağı beklenir.

Türkiye'deki, yetkili kurumların, muhalefetin ve nükleer karşıtların uzmanlarının Rus santral projesini hem teknik hem de mali yönden derinlemesine incelediklerini, Finlandiya'daki yeni nükleer santralla karşılaştırmalar yaparak aradaki maliyet farkının nereden kaynaklandığını gösteren bir teknik rapor hazırlandığını ise hiç sanmıyoruz. Çünkü santralin kaçta çıkacağı Türkiye'yi değil Rus şirketini ilgilendirir denebilir. Ancak düşük maliyetle yapılacak santralda ileride ortaya çıkabilecek kazalardan zarar görecektir hem halkımız hem de santralin çevresi olacak ve ortaya 3.sınıf güvenlikte bir nükleer santral çıkacaktır. Eğer güvenliği düşük böyle bir santral yapılırsa, bunun faturasını ileride olabilecek küçük, büyük kazalarla Türkiye, ne yazık ki, çok daha fazlasıyla ödeyecektir.

Türkiye'de hükümetlerin nükleer santral yapımını ön görmelerinin önemli bir nedeni, özellikle sanayi için ve akşamları büyük kentlerde gereken enerji miktarını elektriksel gücü ve verimi yenilenebilir enerjilere oranla çok daha yüksek nükleer santrallerle bir çırpıda kapatma planı olsa gerekir. Akkuyu'da 4 reaktörlü bir santralin gece gündüz yıl boyunca % 70-80 verimle sağlayacağı 4800 MW'lık elektriksel güç, ancak birkaç bin güneş ya da rüzgâr enerjisi santralleriyle sağlanabilir ve yıl boyunca bunların verimi (ya da kurulu güce göre kapasite kullanım oranı) çok düşüktür. Örneğin Almanya'da 2011 yılında bu verim güneş enerjisi için sadece % 9'dur. Geceleri güneş enerjisinden ve rüzgârsız günlerde de rüzgâr enerjisinden yararlanılamayacağından, günün belirli saatlerinde büyük enerji gereksinimini karşılamak amacıyla nükleer ve/veya fosil yakıtlı santrallerin devreye girmesi zorunlu olmaktadır. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarından, ülke yüzeyindeki çok sayıda noktada üretilen elektrik enerjisinin dağıtımı ve bunların belirli noktalarda toplanıp özel bilgisayar programlarıyla enerjiye gerek duyulan yerlere gecikmeden ulaştırılabilmesiyle ilgili yeni elektrik ağlarının (şebekelerinin), bilgisayarlı sistemlerin kurulması da gerekiyor. Tüm bu projeler ise büyük çapta teknik çalışmaları ve sonunda büyük yatırımları gerektiriyor.

Cari açık ve bütçe dengesiyle uğraşan hükümetin milyarlarca doları bulacak yenilenebilir enerjiyle ilgili yatırımları neden ön görmediği buradan anlaşılabilir sanırız. Kuşkusuz yenilenebilir güneş ve rüzgâr enerjilerine önem verilmeli, ilgili santraller artırılmalı ve gerekli yatırımlar yapılmalı, bunlar enerji üretimine önemli bir katkı sağlamalıdır. Ancak bunlar yapılsa bile sanayinin ve geceleri kentlerin büyük enerji gereksinimlerinin, güneş ve rüzgâr enerjisiyle kapatılamayacağı gerçeğini de görmek gerekiyor. Örneğin Almanya'da nükleer santrallerin kapatılmasından doğan açık, yenilenebilir enerjilerle kapatılamayacağından herbiri 1000 MW dolayında bir dizi yeni kömür santrallerinin planlanmasına ve yapımına başlanmıştır. Bunların ise filtrasyona rağmen çevreye bacadan saldığı ağır metaller ve kömür tozundaki (sonunda, kurumdaki) radyoaktif maddelerin insan sağlığına zararlı olmasının yanı sıra salınan CO₂ 'den de iklimin olumsuz etkilendiği biliniyor.

Nükleer Karşıtların, Muhalefetin ve Halkın Konuya Yaklaşımı Yönünden Durumun İncelenmesi

Türkiye'deki nükleer karşıtlar, Nükleer Karşıtlar Platformu (NKP) adıyla çeşitli aktivitelere bulunuyorlar. Bu platformu destekleyen sayıları 100'e varan dernek, mühendislik odaları ve sivil toplum kuruluşları var (2006'daki sayı 92) /5/. NKP'nin zaman zaman nükleer santrallara karşı toplantılar, sempozyumlar, gösteriler yaptığını kendi yayınlarından ve medyadan öğreniyoruz. Medya haberlerinden görebildiğimiz kadarıyla, toplantıları, daha çok kendi katılımcılarıyla ve ilgi duyan az sayıda kişilerle yapıyor. Gösterilerinde kuşkusuz daha çok kişi bulunuyor ve imza kampanyalarıyla 10 bin kişinin desteğini de sağladıklarını açıklıyorlar. Ancak tüm bu çalışmaları, uğraşları, nükleer enerjiye karşı görünen gazetelerde bile manşete çıkamıyor, orta ya da son sayfalarda resimli haberler olarak yayımlanıyor. Çok izlenen TV programlarında da nükleer karşıtların aktiviteleri pek yer bulamıyor.

Muhalefet partilerinin gündeminde ise nükleer enerjiye pek rastlanmıyor. Sadece, Akkuyu sözleşmesi TBMM'de yasalaştıktan sonra, CHP'nin Anayasa Mahkemesine başvurduğunu, yasanın iptalini istediğini ve Anayasa Mahkemesinin de bunu 31 Mayıs 2012 günü reddettiğini medyadan öğreniyoruz.

Halkın büyük çoğunluğunun gazete bile okumadığı, gazetelerin trajiklerini bu nedenle batı dünyasına oranla çok aşağılarda kaldığı bilinirken, diğer teknik konularda olduğu gibi, nükleer enerji konusunda da halkın büyük bir bölümünden kitlesel bir katkı beklenemez ki zaten bugüne kadar bu, gerçikleşmedi.

Almanya'daki Durumla Karşılaştırma

Almanya'da ortalama öğrenim ve yaşam düzeyi yüksek olan halk, sivil toplum örgütlerinin öncülüğünde son 30 yıldır nükleer santrallara karşı çok çeşitli ve büyük katılımlarla toplantılar, gösteriler yaptı. Son 20 yıldır, yeşiller partisi 'Atom Enerjisine Hayır' kampanyalarıyla, ülke çapında yüzbinlerin katılımıyla halk, örneğin el ele tutuşarak 100 km'yi aşan kuyruklar oluşturdu. TV'de açık oturumlarla, söyleşilerle nükleer enerji konusunda halk bilgilendirildi. Nükleer enerji karşıtları, diğer partilerde ve sivil kuruluş örgütlerinde çığ gibi büyüdü ve sonunda Mart 2011' deki Fukuşima reaktörlerindeki patlamaların TV'lerdeki görüntüleri nükleer enerjiye karşı görüşleri taçlandırdı. Büyük oy kaybedeceğini anlayan fizik doktoralı Merkel – nükleer enerji konusunda yanılmışım! diyerek 180 derece dönüşle nükleer enerjiden çıkılacağını kazadan sonra halka duyurdu. Aslında Almanya'daki nükleer santraller dünyanın en güvenli santralleriydi, nükleer santrallerin çalıştırıldığı son 40 yıldır çevreyi, insanları etkileyen önemli bir kaza da Almanya'da olmamıştı. Fukuşima'daki gibi bir Tsunami de beklenmiyordu ve reaktörlerin dizelle çalışan ivedi soğutma sistemleri çok daha farklı projelendirilip uygun yerlere yerleştirilmişlerdi. Fukuşima kazası olmasaydı Almanya'daki nükleer santrallerin işletme süreleri daha da uzatılacaktı. Kısacası Almanya'da nükleer enerjiye karşı olanların sayısının çığ gibi büyümesi sonucu, nükleer santrallerin durdurulmasını, oy kaybedeceklerini açıkça gören partiler ve politikacılar kabul etmek zorunda kalmışlardır. Benzer bir durum ise Türkiye'de yoktur.

Sonuç ve Öneriler

Türkiye'de nükleer santrallara karşı, Almanya'daki yeşiller partisi gibi zaman zaman % 15 oy potansiyelini aşan bir parti Türkiye'de bulunmuyor. Almanya'daki durumun aksine, Türkiye'de nükleer santrallara karşı tabandan gelen ve büyük halk kitlelerini harekete geçiren bir direniş olmadığı gibi böyle bir direniş tavanda da, özellikle muhalefet partilerinde, sivil toplum kuruluşlarında da yok.

Arada Sırada Nükleer Karşıtların Sınırlı Etkinlikleriyle, Nükleer Santral Yapımını Türkiye'de Durdurmayı Ummak, Bu Nedenlerle, Gerçekçi Değildir.

Bu durumda, tüm sivil kuruluş örgütlerine, muhalefet partilerine önerimiz, Anayasa Mahkemesinin de uygun gördüğü yasayla, yapımı artık kesinleşen ve yapımına başlanan Akkuyu nükleer santralını durdurmakla ilgili bizzat boşa harcanacak çaba yerine, artık çevreyi ve halkı koruyucu yönde

aba gsterilerek gvenliği en st düzeydeki bir nükleer santral yapımına katkıda bulunulmalı, gvenli sistemlerin kurulmasının ve kalite kontrollerinin yapılmasının /6/ kamuoyuna ve yetkililere sürekli duyurulmasıdır, vakit daha çok geçmeden. Kalitesi düşük ve kazalara yol açabilecek bir nükleer santral yapılıp işletildiğinde, bundan ileride zarar grecek olanlar, ummak istemediğimiz kazanın büyüklüğüne gre, ülkenin büyük bir blmnde yaşayan insanlarımız ve doğamız olacaktır. Bu nedenle yapımına başlanan Akkuyu nükleer santralının gvenliğinin en st düzeyde olabilmesi için muhalefet partilerinin ve sivil toplum kuruluşlarının katkıda bulunmaları çok nemlidir. Başta denetleyici organ olan Türkiye Atom Enerjisi kurulumunun, Enerji ve evre bakanlıklarının bu konuda gereken duyarlığı gstereceğini umarız.

Kaynaklar

- /1/ Akkuyu Nükleer Santralının yapımıyla ilgili 29.06.2010 tarihli kanun tasarısı (TBMM'nin onay tarihi: 21.07.2010 Rusya ile yapılan anlaşma
- /2/ Akkuyu Nükleer Güç Santralı (NGS) Projesi, evresel Etki Değerlendirme Dosyası (ÇED Raporu) Worley Parsons ve Dokay şirketleri, Ankara, 2011
- /3/ Finlandiya'daki yeni nükleer santral yapımıyla ilgili IAEA/STUK Raporu: Regulatory and Modernization Experiences on Finnish NPP I&C-area To be presented at IAEA 23rd TWG-NPPIC Meeting on 24-26 May 2011 in Vienna.
- /4 http: //www.bilimania.com/yazarlar/3583-finlandiya-3-kusak-nuekleer-santrali /
- /5/ www.nukte.org
- /6/ Akkuyu nükleer santralindeki teknik boşluklar, Atakan, Y., Bilim ve Gelecek, Ekim ve Kasım 2013
- /7/ Akkuyu nükleer santralı konusunda sorunlar ve neriler, Atakan, Y., Bilim ve Gelecek, Kasım 2013

Greenpeace"ın 'Nükleer Enerji Hiçbir Zaman Gvenli Değerdir' yazısı üzerine bazı gerçekler

Giriş

www.bilimania.com sitesinde, Greenpeace adına yayımlanan yukardaki başlıklı yazıda: *'çok iyi bir teknolojiyle tanınan Japonya bile nükleer patlamalar karşısında çaresiz kaldı. Günlerdir devam eden krizde maalesef bir-*

biri ardına kötü haberler geliyor. Radyasyon seviyeleri insan sağlığını tehdit edecek boyuta ulaştı' cümlesiyle giriş yapıyor.

Bu yazımızda, bu konudaki bilimsel ve teknolojik gerçekleri açıklarken, bu kitaptaki bu konularla ilgili diğer yazılarımızı da okurların göz önüne alması yararlı olacaktır. Bu açıklamalarımız, nükleer santrallara karşı olanlarca, nükleer santralleri savunmak olarak nitelendirilebilir ve hatta bizi 'nükleer lobby'ye de dâhil edebilirler. Bu kitaptaki bir dizi yazımızdan da görülebileceği gibi Akkuyu'da güvenliği en üst düzeyde bir nükleer santralin 'Yap İşlet Modeliyle' yapılamayacağını son 4-5 yıldır hem dergilerde yazıyor hem de bilimsel kongrelerde bunları gerekçeleriyle sunmaya çalışıyoruz.

~~Bu açıklamalarımız, nükleer santrallara karşı olanlarca, nükleer santralleri savunmak olarak nitelendirilebilir ve hatta bizi 'nükleer lobby'ye de dâhil edebilirler. Bilimania'daki bir dizi yazımızdan da görülebileceği gibi Akkuyu'da güvenliği en üst düzeyde bir nükleer santralin 'Yap İşlet Modeliyle' yapılamayacağını son 4-5 yıldır hem dergilerde yazıyor hem de bilimsel kongrelerde bunları gerekçeleriyle sunmaya çalışıyoruz.~~

Son yarım yüzyıldır dünyada 500 kadar çalışan nükleer santrallerle ilgili deneyimler, yapılagelmekte olan ölçümler, radyasyon dozlarından etkilenen halk ve hastalık riskleri incelenerek gerçekler ortaya konulmalı, ancak bunlara göre değerlendirmelerle sonuca varılmalı, ön yargı yapılmamalıdır. Ama ön yargılarla ilgili Einstein'ın : 'Atomları parçalamak, ön yargıları parçalamaktan çok daha kolaydır!' sözü sanırım geçerliğini koruyor. Buna rağmen umarız okuyucular yazılarımızdaki açıklamaları ve gerekçeleri bugünkü bilimsel ve teknolojik düzeyi olduğu gibi yansıtan nesnel (objektif) açıklamalar olarak görürler ve ön yargısız okurlar.

Bizce, Greenpeace ve diğer örgütlerin olumlu olarak yapabileceği, Türkiye'de yapımı hatta ilgili yasayla kesinleşen nükleer santraller konusunda, artık hiçbir önemi ve yaptırımı kalmayan görüşler bildirmek yerine, yapılacak nükleer santrallerin güvenliğinin en üst düzeyde olmasıyla ilgili çalışmalar yapmak ve girişimlerde bulunmak olmalıdır. Ancak böylelikle, ileride olabilecek nükleer kazalardan çevre halkı şimdiden korunmuş olabilecektir. Yapılacak 3.sınıf nükleer santrallerle değil! Nükleer santral proje ve yapımında, ilgili uluslararası standartlara uyulması ve yapım süresince santralin nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili tüm önemli sistem ve aygıtların kalite kontrollerinin sürekli yapımının ilgili deneyimli uzmanlarca yapılması gerektiğini çeşitli yazılarımızda ve sempozyumlarda vurguluyoruz. Umarız Greenpeace ve diğer örgütler de bu yolu izlerler. Öte yandan Türkiye'de nükleer santral proje ve yapımında çalışmış deneyimli uzman bulunmadığından, bunların Almanya'daki TÜV gibi nükleer santrallerle ilgili deneyimli uzmanları bulunan bağımsız kurumlardan sağlanması zorunludur. Bağım-

sız, deneyimli uzmanların sağlanması ve yapım sırasında bunların sürekli kalite kontrolü yaparak ilgili uluslararası standartlara uyulması gereği üzerinde öneme durulmalıdır.

Fukuşima'daki Reaktörler Japon Teknolojisi Ürünü Değil, 40 Yıllık Eskilikteki General Electric Teknolojisidir

Japonya'nın çok iyi bir teknolojiyle tanınmış olması, 1970 /1971 yıllarının General Electric tasarım ve teknolojisiyle yapılmış olan Fukuşima nükleer santrallerinin ileri teknolojide olmasını gerektirmeyeceği ve patlamalar karşısında Japonya'nın çaresiz kalacağı açık. Her ne kadar bu santrallarda zaman zaman yenilemeler yapılmış ise de, 40 yıl öncesinin proje tasarımında, ivedi (acil) soğutma su devrelerini çalıştıran dizelli elektrik jeneratörlerinin zemin altındaki konumları değiştirilmemiştir. Halbuki bunlar, yeni nükleer santrallerdeki gibi üst katlara konulsaydı, suların altında kalmayacak ve çalışacaklardı, reaktördeki yakıt elemanları erimeyecek (erimeyecek) ve kazalar da ortaya çıkmayacaktı. Bilindiği gibi deprem sonucu otomatikman durdurulan santrallerin gerekli elektriği dışardan sağlayıp reaktörlere soğutma suyu pompalaması gerekirken, Fukuşima çevresinde deprem sonucu kopan elektrik hatları nedeniyle, santrallara elektrik sağlanamayınca dizelle çalışan ivedi elektrik üretelerinin devreye girmesi gerekiyordu. Kazdan sonraki yıl, Japonya'daki tüm nükleer santrallerdeki dizel jeneratörleri üst katlara yerleştireildi.

Nükleer Santrallerdeki Kazalar

Yazıda devamlı geliştirilmiş modern nükleer santrallerin da güvenli olmadığı 'Çernobil'den bu yana resmî olarak yaklaşık 800 dikkate değer kaza Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na rapor edildi' deniyor.

Önce şunu belirtelim: Personel hatasıyla ortaya çıkan Çernobil kazası batıdaki eski santrallerde bile ortaya çıkmazdı ve Çernobil tasarımı daha proje döneminde yapım için onay alamadan geri çevrilirdi. Çünkü otomatik sistemler, nötron akısını soğuran ve reaktörün kritik üstüne çıkmasını önleyen kontrol çubuklarını personelin yukarı çekmesini 'kendiliğinden kilitleyerek' engellerlerdi. Çernobilde böyle bir kilitleme sistemi bulunmuyordu. Çernobil santralının diğer önemli bir eksiği ise reaktörü kuşatan 1 cm kalınlığında çelikten ve 100 cm kalınlığında betondan güvenlik küresinin/silindirin bulunmamasıydı. Halbuki 1979 da ABD'de TMI Harrisburg'daki kazada tüm radyoaktif maddeler bu güvenlik küresi içinde kalarak çevreyi etkilemediler. Buna karşın bilindiği gibi Çernobil'den yayılan radyoaktif maddeler birçok Avrupa ülkelerine ve Türkiye'ye yayılarak etkili oldular. Çernobil

kazasının özellikle yakın çevredeki insanlara etkili olmasının en önemli nedeni, o zamanki yönetimin kazayı gizlemesi sonucu çevreyi hemen boşaltmamasıdır. Kaza ancak, iki gün sonra Finlandiya'daki radyoaktivite ölçüm istasyonlarının yüksek değerler göstermesiyle ortaya çıkmıştır. Fukuşima'da ise 10 km yarı çapındaki çevre, kazadan hemen sonra boşaltılmış, daha sonra boşaltma yarıçapı 20 km'ye yükseltilmiştir. Böylelikle çevredeki insanların, radyoaktif maddelerle kirlenen sular ve besinler yoluyla olumsuz etkilenmesi önlenmiştir. Sürekli yapılan ölçüm ve bilimsel değerlendirmeler Fukuşima'daki kazanın etkilerinin, santraldan 20 km uzaklıkta yaşayanlarda çok az olduğunu 2 yıl sonra göstermiştir.

Tüm endüstri dallarında olduğu gibi nükleer santrallarda da, 1986'daki Çernobil kazasından sonra geçen uzun sürede irili, ufaklı çok çeşitli kazaların olması çok doğaldır. İlgili kazaların önem durumlarına göre sınıflandırılarak yetkili makamlara bildirilmesi gereken bu kazalar sonucu acaba santrallarda kaç kişi ölmüş ya da yaralanmış ve çevreye ne miktarda radyoaktivite salınarak, bunlardan çevredeki halk etkilenmiştir? Örneğin son 40 yılda Almanya'daki nükleer santrallarda da denetleyici kurumlara bildirilmesi zorunlu olan bir dizi kaza olmuş, çeşitli bağımsız laboratuvarlarca yapılan ölçümlerde, gerek santralda gerekse çevrede, radyoaktivite düzeyinin çok düşük kaldığı saptanmış, kısacası çevre ve orada yaşayanlar bunlardan etkilenmemişlerdir. Almanya'daki tüm nükleer santralların çevrelerindeki ölçüm ve değerlendirme sonuçlarını sınır değerlerle karşılaştırmalı olarak açıklayan Tübitak Bilim Teknik dergisinde Mayıs 2008'de yayımlanan yazımıza ve grafiklere bakıldığında, zaman zaman ortaya çıkan irili ufaklı kazaların çevrede herhangi bir etkisinin olmadığı görülür.

'Greenpeace: Enerji Bakanı Nükleer Santral Yapımıyla Kumar Oynuyor !'

Yazıda devamla: *'Ancak bu felaketlere gözlerini kapatan Enerji Bakanı Taner Yıldız, tehlikeli olduğu kanıtlanmış teknolojilere yatırım yaparak, çevreyle ve Türkiye insanının kaderiyle kumar oynuyor. Sinop'ta nükleer santral için Japonlarla müzakerelere devam ettiğini gururla ilan ediyor. Hükümet yaşanan felaketlerden ders almalı ve bir an önce temiz ve güvenli enerjilere yönelik bir politika geliştirmelidir'....Çin, Almanya ve İsviçre hükümetleri nükleer santral planlarını askıya aldıklarını ve yeniden düşüneceklerini açıkladılar. Şimdi Enerji Bakanı Taner Yıldız'ın da acilen çıkıp nükleer santral planlarından vazgeçtiğini açıklaması gerekiyor'.*

Önce şunu belirtelim: Türkiye, nükleer santral yapımı için herhangi bir yatırım yapmıyor, para ayırmıyor. Yapılması planlanan santrallar 'Yap İşlet

modeliyle' ilgili Őirketlerce yapılacak ve santrali yapan, işleten Şirket ileride satacağı elektrikten santral harcamalarını da finanse edecekler. Öte yandan, Greenpeace enerji bakanına yönelik böyle bir açıklamaıyla Türkiye'de nükleer santral yapımını önleyebileceğini mi düşünüyor? Bu, 'olmayacak duaya amin demek değil de nedir? Greenpeace Akkuyu projesiyle ilgili Rusya ile yapılan sözleşmenin, hemen sonra 2010 yılında TBMM'inin onayından geçerek yasalaŐtıęını acaba bilmiyor mu? Greenpeace bu anlaşma yasalaŐmadan önce sakıncalı gördüğü bu projeyi neden demokratik yollarla önlemeye çalışmadı da Şimdi iş işten geçtikten sonra, nükleer santral yapımı sanki Enerji Bakanının kişisel bir yaptırımı imiŐ gibi ondan bu teknoloji den vaz geçmesini ileri sürerek popülizme baŐvuruyor?

Nükleer Santrallardan Bazı Ülkeler Neden Çıkıyor?

Almanya ve diğer bazı ülkelerin nükleer enerjiden çıkmalarının gerçek nedeni teknolojik olmayıp politiktir. Fukuşima kazasından sonra, Almanya'da nükleer santralların iŐletilmesinin 2023 yılına kadar durdurulmasının ardında yatan geçek CDU partisinin seçimlerde oy yitirmemesidir. Öte yandan Fransa, Finlandiya, Çin ve hatta Japonya gibi daha bir dizi ülke, nükleer santralları aksatmadan işletmeye devam ettikleri gibi yeni nükleer santrallar yapmayı sürdürüyorlar ya da planlıyorlar. Örneğin Çin'de, Greenpeace'in yazdığının aksine, 26 adet nükleer santralin yapımı sürerken 52 yeni nükleer santral da planlanıyor (AŞağıdaki çizelgeye bkz). Greenpeace, nükleer enerjiden çıkmayı planlayan birkaç ülkeyi örnek gösterirken, çok daha fazla ülkede nükleer enerjinin gitgide artarak kullanıldığını gözardı ederek objektif olmadığını kanıtıyor. Gerçek durumu olduğu gibi açıklayanlar ise nükleer lobby'e mi dâhil ediliyor? AŞağıdaki çizelgeden görüleceği gibi Fukuşima kazasına rağmen bugün dünyada 433 nükleer santral çalışıyor, 56 yeni nükleer santralin yapımı sürüyor ve 143 yeni nükleer santral da planlanıyor. Örneğin Fransa, elektriğinin % 75'ini nükleer enerjiden sağlarken Fukuşima kazasından sonra da yeni bir nükleer santral yapımına başladı.

Yenilenebilir Enerjiler, Elektrik Açığını Kapatacak mı?

Almanya'daki Büyük Sorunlar

Yazıda devamla '*Türkiye'nin hiçbir Şekilde nükleer enerjiye ihtiyacı olmadığını, enerjimizi yenilenebilir enerjilerden nasıl sağlayabileceğimizi geçtiğimiz yıllarda yayınladığımız Enerji [D]evrimi raporunda nasıl olacağını anlatıyoruz'* deniyor.

Benzer araştırma ve incelemeler gerek Almanya'da gerekse Türkiye'de resmî ve özel kurumlarca da yapılıyor. Gerekli enerji açığının yenilenebilir enerjiyle sanıldığı aksine kapatılamayacağı Almanya örneğinde görülüyor ve orada kapatılan ya da kapatılacak nükleer santrallerin yerini doldurabilmek amacıyla çok sayıda kömür santrallerinin yapımı sürüyor. Kömür santrallerinin saldıkları CO₂ ve diğer gazlarla hem çevreyi hem de iklimi olumsuz etkiledikleri biliniyor. Ayrıca, kimse bunları, rüzgâr kulelerini ve yenilenmesi gereken yüksek gerilim hatlarını yanı başında istemiyor. Sorunlar, masa başında yapılan olumlu tasarımlara karşın, sanıldığından çok daha büyük (Bk. Bölüm 11'in başındaki yazılarımız).

Dünyadaki Nükleer Santraller

Aşağıdaki çizelgede, ilgili ülkelerde, çalışan, yapımı süren ve planlanan nükleer santrallerin sayısı gösteriliyor.

Çizelge: Sağdaki sütundaki kısaltmalar: YRY: Yeni Reaktörler Yapılıyor; YRP: Yeni Reaktörler Planlanıyor; YRÖ: Yeni Reaktörler Öngörülüyor; İRY: İlk Reaktör Yapılıyor; İRP: İlk Reaktör Planlanıyor; ÇveP yok: Çalışan ve planlanan reaktör yok; NE çıkanlar: Nükleer Enerjiden çıkan ülkeler (çizelgenin en altında)

| Ülke | Elektrik Üretimi TWh (2010) | Ülkedeki Elektrik Üretiminin % (2010) | İşletme- deki reaktör sayısı | Kapatılan reaktör sayısı | Yapımı süren reaktör sayısı | Planlanan reaktör sayısı | Bugünkü durum |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| Arjantin | 6.7 | 6 % | 2 | 0 | 1 | 2 | YRY |
| Brezilya | 13.9 | 3 % | 2 | 0 | 1 | 0 | YRY |
| Finlandiya | 21.9 | 28 % | 4 | 0 | 1 | 0 | YRY |
| Fransa | 410.1 | 74 % | 58 | 12 | 1 | 1 | YRY |
| Hindistan | 20.5 | 3 % | 20 | 0 | 7 | 18 | YRY |
| Japonya | 280.3 | 29 % | 50 | 9 | 2 | 10 | YRY |
| Pakistan | 2.6 | 3 % | 3 | 0 | 2 | 0 | YRY |
| Rusya | 159.4 | 17 % | 33 | 5 | 11 | 14 | YRY |
| Slovakya | 13.5 | 52 % | 4 | 3 | 2 | 0 | YRY |
| Güney Kore | 141.9 | 32 % | 23 | 0 | 4 | 6 | YRY |
| Taivan | 39.9 | 19 % | 6 | 0 | 2 | 0 | YRY |
| Ukranya | 84.0 | 48 % | 15 | 4 | 2 | 0 | YRY |
| ABD | 807.1 | 20 % | 104 | 28 | 1 | 6 | YRY |

| Ülke | Elektrik Üretimi TWh (2010) | Ülkedeki Elektrik Üretiminin % (2010) | İşletme- deki reaktör sayısı | Kapatılan reaktör sayısı | Yapımı süren reaktör sayısı | Planlanan reaktör sayısı | Bugünkü durum |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| Çin | 71.0 | 2 % | 16 | 0 | 26 | 52 | YRY |
| Ermenistan | 2.3 | 39 % | 1 | 1 | 0 | 1 | YRP |
| Bulgaristan | 14.2 | 33 % | 2 | 4 | 0 | 2 | YRP |
| Iran | 0 | 0 % | 1 | 0 | 0 | 2 | YRP |
| Kanada | 85.5 | 15 % | 20 | 3 | 0 | 3 | YRP |
| Kazakistan | 0 | 0 % | 0 | 1 | 0 | 2 | YRP |
| Romanya | 10.7 | 20 % | 2 | 0 | 0 | 2 | YRP |
| Güney Afrika | 12.9 | 5 % | 2 | 0 | 0 | 0 | YRP |
| Çekistan | 26.4 | 33 % | 6 | 0 | 0 | 2 | YRP |
| İngiltere | 56.9 | 16 % | 16 | 29 | 0 | 4 | YRP |
| Meksika | 5.6 | 4 % | 2 | 0 | 0 | 0 | YRÖ |
| Hollanda | 3.8 | 3 % | 1 | 1 | 0 | 0 | YRÖ |
| Slovenya | 5.4 | 37 % | 1 | 0 | 0 | 0 | YRÖ |
| Macaristan | 14.7 | 42 % | 4 | 0 | 0 | 0 | YRÖ |
| Birleşik Arap Emirlikleri | 0 | 0 % | 0 | 0 | 1 | 3 | IRY |
| Mısır | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 1 | IRP |
| Endonezya | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 2 | IRP |
| Polonya | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 6 | IRP |
| Tayland | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 0 | IRP |
| Türkiye | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 4 | IRP |
| Vietnam | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 2 | IRP |
| Beyaz Rusya | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 3 | IRP |
| Litvanya | 10.0 | 76 % | 0 | 2 | 0 | 0 | ÇveP yok |
| İsveç | 55.7 | 38 % | 10 | 3 | 0 | 0 | Planlanan yok |
| Belçika | 45.7 | 51 % | 7 | 1 | 0 | 0 | NE çıkanlar |
| Almanya | 133.0 | 28 % | 9 | 28 | 0 | 0 | NE çıkanlar |
| İsviçre | 25.3 | 38 % | 5 | 0 | 0 | 0 | NE çıkanlar |
| İspanya | 59.3 | 20 % | 8 | 2 | 0 | 0 | NE çıkanlar |
| İtalya | 0 | 0 % | 0 | 4 | 0 | 0 | NE çıkanlar |
| Filipinler | 0 | 0 % | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Dünya | 2630 | 14 % | 433 | 125 | 56 | 143 | |

BÖLÜM 9

TEKNOLOJİDE RADYOAKTİF MADDELERİN, RADYASYONUN KULLANILDIĞI BAZI ÖNEMLİ UYGULAMALAR

Hızlandırılmış Ağır İyonlarla Tümörlerin Yok Edilmesi- Kanserli Hücreleri Işınlamada Yeni Bir Teknik

Vücutta yuvalanan ve ameliyatla alınamayan tümörlerin (beyindeki ve kafatası iç yüzeyindeki tümörler gibi), hızlandırılmış 'ağır iyonlarla'¹, sağlıklı hücelere zarar vermeden, ışınlanıp yok edilmesi tekniğinin, alışlagelmiş 'radyasyon ışınlamalarıyla' yok edilmesine göre büyük üstünlüğü bulunuyor. Gerek fiziksel ve gerekse biyolojik etkinliği nedeniyle daha çok karbon 12'nin elektronlarından arındırılmış çekirdekleri kullanılıyorsa da, elementlerin periyodik cetvelinde karbondan neona kadar olanların iyonları da 'ağır iyonlar' olarak kullanılıyor. Tümörün cins ve vücuttaki konumuna göre örneğin protonlar gibi daha hafif çekirdeklerle (iyonlarla) de ışınlama yapılabilir. Atomaltı parçacıkların hızlandırıldığı spiral hızlandırıcılarda (sinkrotronlar) iyonlar, artan manyetik alan şiddetinin etkisiyle, ışık hızının dörtte biriyle, dörtte üçü arasında hızlandırılarak enerji kazanıyorlar. İyon demetiyle, tümördeki her bir nokta taranarak iyonların, tümörün tümüne, komşu dokulara bir zarar vermeden, enerjilerini aktarmaları sağlanıyor. Aşırı enerjideki ağır iyonların hücrelerdeki biyolojik etkinliği yüksek olduğundan, tümör hücrelerinin kromozomlarında onarılamayan bozunmalar sonucu tümör yok ediliyor.

Alışlagelmiş tTeknik: Röntgen ve Gama Işınlaması

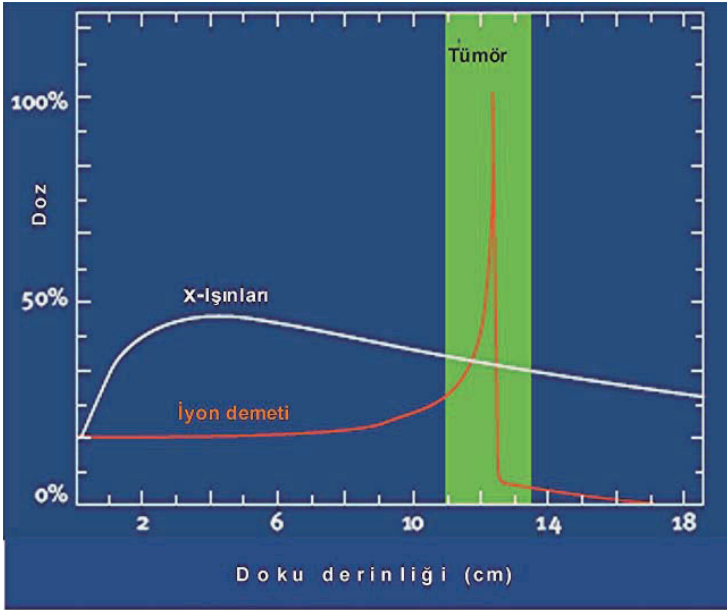
Tıpta röntgen ve gama ışınlarıyla hastalıklı hücrelerin öldürülmesi, bilindiği gibi, eskiden beri yapılıyor. Bu çeşit ışınları oluşturan yüksek enerjili fotonlar (ışığı oluşturan kütsüz parçacıklar), tümör hücrelerindeki atomlardan elektron sökerek (bunlara enerjilerini aktararak), hücrelerin atom ve molekül yapısını bozmak yoluyla etkili oluyorlar. Kanserli hücrelerdeki DNA ve genler hasar görerek işlevlerini göremez duruma geliyorlar ve sonunda tümör hücreleri çoğalamayıp ölüyorlar. Fotonların vücudun içine doğru yol alırken

¹ Elektronlarından arındırılmış (= elektriksel olarak artı yüklü) ve ağırlığı proton ve alfalara göre çok daha fazla olduğundan 'Ağır iyonlar' olarak adlandırılan karbon 12 ve daha ağır atomların çekirdekleri

soğurulmaları arttığından, derindeki bir tümörü fotonlarla etkin olarak ışınlayabilmek için, fotonların başlangıçtaki enerjilerinin çok daha fazla olması gerektiğinden, bu yapıldığında, ndeki ve çevredeki sağlıklı dokular da zarar görüyorlar. Ayrıca, Röntgen ve gama ışınları yolları boyunca saıldıklarından, tümörün tam istenilen yerine gereken enerji aktarılamıyor. Beyin ve göz sinirleri gibi bazı organ ve dokular radyasyona çok duyarlı olduklarından, bunlara yakın tümörler gama ışınlarıyla öldürülmek istenirse, bunların da zarar göreceği gözönüne alınarak tümör, ya düşük dozlarda ışınlanıyor (ki etkisi sınırlı kalıyor) ya da ışınlama yapılmıyor. Bu nedenlerle daha etkin bir teknik araştırılıyor ve 'aşırı hızlandırılmış ağır iyonlarla tümörleri ışınlama tekniği' bulunuyor.

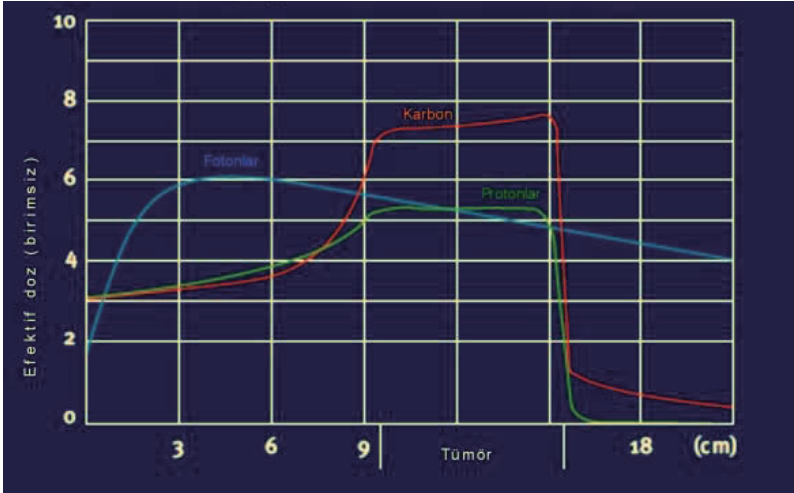
Yeni Teknik : Hızlandırılmış 'Ağır İyonlarla' Işınlama

Ağır iyonlarla ışınlamada ise durum çok başka: ağır iyonlar elektriksel olarak yüklü tanecikler olduklarından, hızlandırıcının manyetik alanında ince bir demet hâlinde hızlanarak, dokuda yolları boyunca saçılmadan, neredeyse tüm enerjilerini tümöre aktarıyorlar (**Bk. Sekil 9.1 ve 9.2**)



Şekil 9.1 x-ışınları ve iyon demetinin biyolojik dokulara aktarığı doğ dağılımı ve Bragg-Maksimumu //

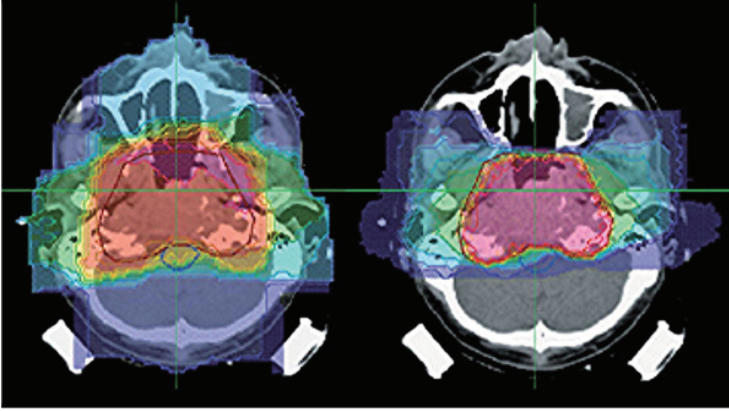
Hızlı iyonların enerjilerini tümöre yoğun olarak aktardıkları **Sekil 9.1 ve 9.2** 'deki bu bölgeye, Bragg Tepesi (Bragg Peak'i) deniyor (bu özelliği William Henry Bragg² bulduğundan). İyonların hızları (ve dolayısıyla enerjileri) hızlandırıcıda yükseltilecek derinlerdeki tümörlere ulaşılması sağlanıyor. Yüzeğe yakın tümörler için hızları daha düşük iyonlar yeterli oluyor. Tümörün vücuttaki konumu ve derinliğine göre hızlandırıcıda ayarlama yapılarak iyonların hızları (dolayısıyla enerjileri) belirlenerek, ağır iyonların enerjilerinin yoğun olarak aktarıldığı Bragg tepesinin tam tümöre denk gelmesi sağlanıyor. **Şekil 9.2'** de ağır iyon ve foton ışınlamalarıyla olan enerji aktarımından dokuda oluşan dozların farklı dağılımı bir örnekle gösteriliyor.



Şekil 9.2: Foton ve Protonlarla karbon iyonlarının tümöre etkisinin karşılaştırılması /1/

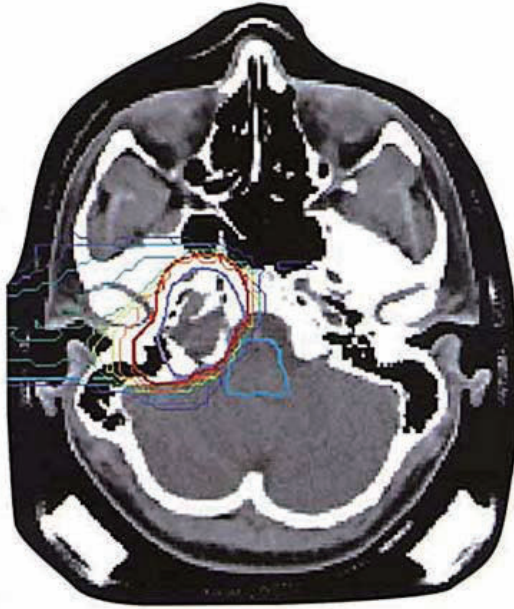
² William Henry Bragg, 1862-1942, Nobel ödülü: 1915

Şekil 9.3 ve Şekil 9.4 de kafatası iç yüzeyindeki bir tümörün ağır iyonlarla ışınlanma bölgesi görülyor.



Soldaki resim fotonlarla, sağdaki resim ise ağır iyonlarla beyin tümör ışınlanmasını gösteriyor. Sağda tümörün bulunduğu kırmızı bölge ışınlama dozunun %90'nını kapsarken, solda fotonlarla ışınlamada aynı doz çok daha büyük bir bölgeye yayıldığından, komşu dokular zarar görebiliyor /4/.

Şek.9.3



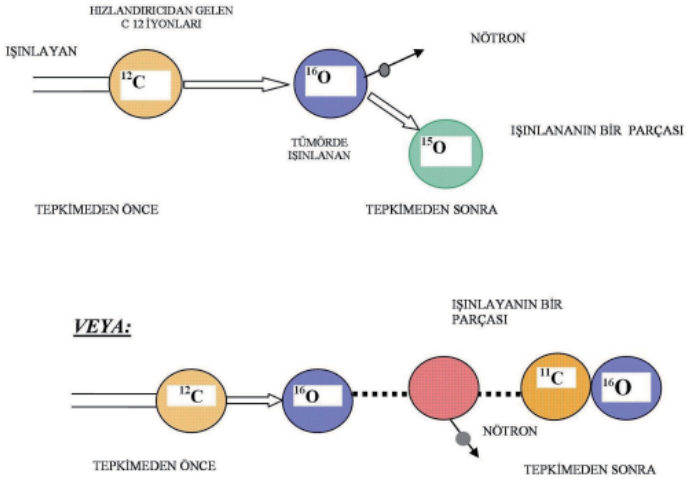
Kafatası iç yüzeyindeki bir tümörün ağır iyonlarla ışınlanmasından oluşan doz dağılımı örneği- Bu tekniğin üstünlüğü, tümörün tam ışınlanmasındaki duyarlık (presizyon) sonucu komşu dokuların etkilenmemesi, J.Debus /2/

Şek.9.4

'Tanecik hızlandırıcılarının' kullanıldığı ve büyük donanımların gerektiği ağır iyonlarla modern ışınlama tekniği oldukça yeni. Ağır iyonlarla tümörlerin ışınlanması araştırma ve denemeleri 1957 ile 1992 yılları arasında ABD'de, Berkeley-Kaliforniya'da yapılıyor. Bu konudaki bilimsel çalışmalarla bilgisayar programlarının kullanıldığı tekniklerle ilgili gelişmeler Darmstadt'daki GSI-Enstitüsünde 1994' den beri yapılagelen araştırmalara dayanıyor. Bugüne kadar GSI'de, birkaç yüz hasta, ağır iyonlarla ışınlanarak bu yeni tekniğin etkinliği sınanıp olumlu sonuçlar alındı.

Avrupa Birliği'nde bu tekniği içeren modern klinik, Almanya'da 'Heidelberg Ağır İyon Demetiyle Işınlama Merkezi' (HIT) /Bk.Kaynaklar/ olarak 2009'dan beri çalışmaya başladı..

Hızlandırılmış Karbon 12 çekirdekleriyle çekirdek tepkimelerine bir örnek ; Y.Atakan /3/



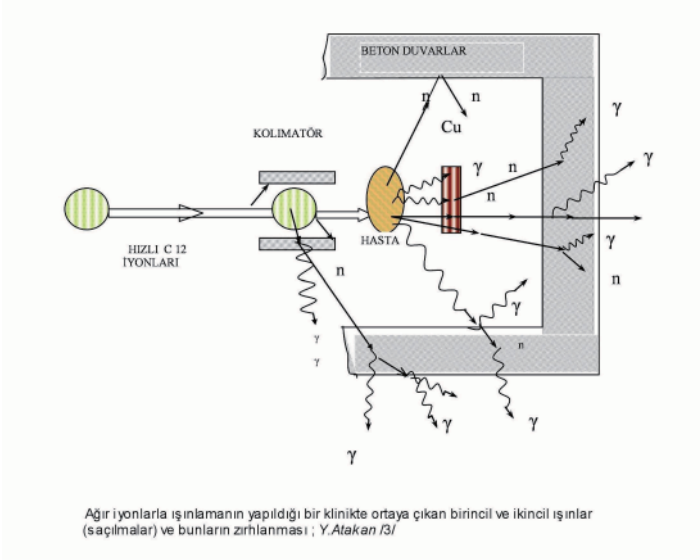
Şek.9.5: Hızlandırılmış Karbon 12 çekirdekleriyle çekirdek tepkimelerine bir örnek; Y. Atakan /3/

Ağır İyonlarla Tümörlerin Işınlanmasının Fiziksel Temelleri Neler?

400 MeV³ kadar yüksek enerjide ve hızları 80.000 km /s ' yi bulan karbon 12 atomu çekirdekleri, saniyede 300 milyon adet kadar 'çekirdek akımı şiddetiyle' tümöre çarptığında, tümördeki atomların çekirdeklerinden parçacıklar

³ MeV: Atomaltı parçacıklar için kullanılan enerji birimi olup 1 MeV=1,6. 10⁻¹³ Joule

koparıyorlar. Bu çeşit bir çekirdek tepkimesinden ortaya çıkan radyoizotoplar, ışınlayan karbon 12 çekirdeklerinden oluşabileceği gibi, tümördeki atom çekirdeklerinden de kaynaklanabiliyorlar. **Şekil 9.5** 'deki örnekteki gibi hızlandırılmış karbon 12 iyonu, tümördeki bir oksijen 16 atom çekirdeğine çarptığında ışınlanan bu atom çekirdeğinden bir oksijen 15 çekirdeği ve bir nötron ortaya çıkıyor.



Sek.9.6

Ya da, karbon 12 iyonu, tümördeki oksijen 16'ya çarptığında, ışınlayan karbon 12 çekirdeği bir nötron salarak karbon 11'e dönüşebiliyor. Ortaya çıkan yeni atom çekirdekleri (C 11) kararsız olduklarından bir 'artı yüklü beta' (= pozitron) bozunumuyla birlikte bir nötrino salıyorlar. Pozitron kararsız olduğundan başka normal bir atomdan bir elektron yakalayarak, birbirinden zıt yönde uzaklaşan ve herbiri 511 keV enerjideki 2 gama ışını ortaya çıkıyor (Bu olay, radyasyon fiziğinde 'pozitron ve elektron yok oluşu ve ışınma' olarak bilinir). Ortaya çıkan bu gama ışınları (yok oluşa radyasyonu) Pozitron Emisyon Tomografisiyle (PET) kanıtlanıyor (Bk.: **Ek 13**). Hızlandırılmış ağır iyonlarla hücrelerdeki DNA ve genlerin molekül ve atomlarına enerji bu fiziksel temellere dayanarak aktarılıyor ve bunların biyolojik işlevlerini göremeyip yok olmaları sağlanıyor.

Ağır İyonlarla Işınlama Kliniğinde Radyasyonlara Karşı Zırhlama Gereksinimi

Tümöre çarpan bu çok yüksek hızdaki ağır iyonlar, çekirdek tepkimeleri sırasında aşırı nötron ve gama ışınları (birincil ışınlar) yayılmasına yol açtıkları gibi, bu birincil ışınların gerek tümör ve gerekse çevredeki alet ve zırhlama malzemelerine çarpması sonucu yüksek dozlarda ikincil ışınlar da ortaya çıkıyor (Bk. **Şekil 9.6**). Tüm birincil ve ikincil ışınların çevredeki insanlara, personele zararlı olabilecek etkilerini önlemek için tesisin uygun bir şekilde planlanması ve zırlı duvarlarla donatılması gerekiyor (Tesisin ışınlama bölümlerinde beton duvarların kalınlığı 2 metre kadar, ışınlama odaları duvarları da ayrıca 50 cm kalınlığındaki ek kurşun, bakır ya da çelik zırhlarla kaplı). Ayrıca yüksek nötron akısının etkisiyle beton duvarlarda eser miktarda bulunan iz elementlerden kobalt ve sezyum gibi bazı elementler radyoaktif hâle geliyorlar. Aktivasyon denilen bu olayı, nötron akısını önleyerek azaltmak için, ana ışın doğrultusundaki beton duvarların bor elementli polietilen plakalarla kaplanması gerekiyor. Bakırın yoğunluğu ($8,9 \text{ g/cm}^3$), demirinkinden ($7,8 \text{ g/cm}^3$) daha büyük olduğundan ikincil gama ve röntgen ışınlarına karşı etkin bir zırhlama maddesi olduğu gibi düşük enerjili (termal) nötronları da zırhlayabildiğinden, duvarlar bakır plakalarla da kaplanabiliyor.

Ağır İyonlarla Işınlama Nasıl Yapılıyor?

Bilgisayar tomografisi (BT: Bilgisayarlı tomografi ya da MRT: Manyetik Rezonans Tomografisi-Bk.: **Ek 13**) yardımıyla önceden tümörün konumu, cinsi ve boyutları çok incelikli olarak belirleniyor. Tümör, birer milimetre kalınlığında sayısal (digital) dilimlere ayrılarak, her bir dilim noktalar ağıyla donatılıp, her nokta için ışınlanması gereken iyon sayısı bilgisayarda hesaplanıp milimetrik bir şablon çıkarılıyor. İyonlar bu şablonun koordinatlarını izleyerek, dilim dilim tümörü ışınıyorlar. Tümör derinlerdeyse, iyonların hızları yükseltilerek bunların vücudun daha derinlerindeki tümörlere enerjilerini aktarması sağlanıyor. Tümörde sağlıklı bölümler bulunuyorsa, alet, iyon akımını buralarda azaltarak bu çeşit organların fazla doz almasını önüyor. Hasta 1 ile 5 dakika kadar ışınlanırken bir acı duymuyor. Algıçlar (sensörler), ışınların saniyede 10.000 kez tümörün tam istenilen noktalarına ulaşmış ulaşmadığını kontrol ediyorlar ve en küçük bir sapmada ışınlama otomatikman kesiliyor. Tümörün tümüyle öldürülebilmesi için hastanın 15 gün süreyle hergün ardsıra ışınlanması gerekiyor. Işınlamadan bir iki ay sonra BT ve MRT ile hasta kontrol edilerek tümörün küçüldüğü ya da yok edilip edilmediği belirleniyor.

Heidelberg'deki Ağır İyonlarla Işınlama Kliniğinin Özellikleri

Kliniğin 'kalbi' bir doğrusal (lineer) hızlandırıcıyla, bir dairesel (sinkrotron) hızlandırıcıdan oluşuyor. Dairesel hızlandırıcıda ağır iyonlar, ışınlama için gerekli olan enerjilere yükseltilene kadar hızlandırılıyorlar (50 ile 430 MeV arası). Bu enerjiler, iyonların vücudun 2 cm ile 30 cm içine kadar girmesini sağlıyor. Bu enerjideki ağır iyonlar üç ışınlama odasına yönlendirilip buralarda hastalar ışınlanıyor. Bu odalardan birindeki alet sistemi hastanın çevresinde döndürülebiliyor. Maliyeti 100 milyon avro'yu geçen Heidelberg'deki klinikte, yılda 1000 hastaya ışınlama uygulanabiliyor ve hasta başına alınan ücret 20.000 avro dolayındadır. Almanya'da yılda 10.000 hastanın ağır iyonlarla ışınlanma gereksinimi olabiliyor.

Not: Yazar, Heidelberg'deki bu kliniğin planlanma ve yapımına başladığı 2004 yılında, tesisin radyasyonlara karşı zırlama önlemlerinin ve radyasyon ölçüm sistemlerinin uygunluğu konusunda danışmanlık yapmıştır.

Kaynaklar (Bk. Şekiller)

1. Heidelberg Ion Beam Therapy Center (HIT), Tel. 0049 622156 5445 veya 7611 e-posta: strahlentherapie@med.uni-heidelberg.de informasyon broşürü için: <http://www.klinikum.uni-heidelberg.de/index.php?id=118199&L=1>
2. J. Debus, Geballe Strahlkraft, Uni Heidelberg, 2003
3. Y. Atakan'ın, HIT'in yapımı sırasındaki teknik özel raporu (2004)
4. E. Marion Dipl. Çalışmasından (Şekil 9.3: Jaeckel O.'dan), Fachhochschule, Giessen, 2005

Uranyumlu Mermilerin Kullanılmasıyla Vücutta Oluşabilecek Radyasyon Dozları ve Kanser Riski? Körfez ve Balkan Savaşları Sendromları (Hastalık Görünümleri)

2001 yılı başlarında, eski Yugoslavya'da savaşlara katılan askerlerde kan kanseri hastalıklarının başgösterdiği haberleri gelmeye başladı. Bunun tartışılan nedeni ise Amerikan tanklarında kullanılan uranyum çekirdekli mermilerdi. 1991 ve 2003 yıllarında Kuveyt ve Irak'taki Körfez Savaşları sonrasında da aynı konu gündeme geldi.

Bu cins birkaç yüz gramlık 'uranyumlu mermilerin' kullanım nedeni, uranyumun yoğunluğunun çok büyük olması sonucu (19 g/cm^3)⁴, düşmanın

⁴ 1 litre suyla dolu şişe 1 kg gelirken, aynı şişe uranyumla doldurulursa 19 kg'lık bir baval ağırlığında! Uranyumun yoğunluğu kuşunun yoğunluğundan % 70 kadar daha fazla.

çok katlı çelik kılıflı tanklarını kolayca delmesiydi. Bu sırada ortaya çıkan ısıyla eriyen mermiden yayılan uranyum buharının çok yanıcı taneciklerinin tutuşmasıyla tankın cephane ve akaryakıtı yanarak tank artık işe yaramaz duruma getiriliyordu. İlk kez 1991 deki Kuveyt ve Irak'taki 'Çöl Fırtınası' savaşında kullanılan uranyumlu mermilerde toplam 330 ton kadar uranyum bulunmaktaydı. Bu savaşta 30 mm'lik GAU-8 silahlarıyla atılan 784.000 merminin büyük bölümü amerikan A-10 savaş uçaklarından atıştı ki bu toplam 230 ton uranyum demektir. Mermilerin atıldığı bölgenin, Irak'ın güney doğusundaki Kuveyt-Suudi Arabistan sınırı boyunca olduğu sanılıyor. 2003 Körfez Savaşlarında da bu cins mermilerden İngilizler ve Amerikalılar kullandılar.

Kosova savaşlarında uranyumlu mermilerden 31.000 adet kadar kullanılarak 10 ton kadar uranyum harcandı. 1994 /1995' de Bosna Hersek'te bunlardan 10.800 adet kullanıldı ki bu 3,3 ton uranyum demektir. 1999'daki Kosova Savaşında da uranyumlu mermiler kullanıldı.

Ayrıca, düşmanın uranyumsuz ve hatta uranyumlu mermilerini etkisiz bırakmak amacıyla, zırhları seyreltilmiş uranyumdan olan tanklar da yapıldı. 1991 deki 'Çöl Fırtınası' savaşında Amerikalıların kullandığı 2054 tankın yaklaşık üçtebiri (654 adedi) uranyum zırhlı tanklardı. 'Sandöviç' denilen tank zırhı, iki çelik kılıf arasına 'seyreltilmiş uranyumun' konulmasından oluşuyordu. Amerikalılar 2003 Körfez Savaşında bu cins seyreltilmiş uranyum zırhlı 'M1 Abrams' Tanklarını kullandılar.

Seyreltilmiş Uranyumlu Mermiler Nasıl Ortaya Çıktı?

Nükleer santraller ve atom bombaları için gereken 'U 235 ile zenginleştirilmiş uranyum', doğal uranyumdan elde edilirken, arta kalan büyük miktardaki uranyumda yoğun miktarda U 238 ve çok az miktarda da U 235 bulunuyor. U 235 miktarı doğal uranyumunkinden çok daha az olması nedeniyle 'Seyreltilmiş Uranyum' (DU)⁵ denilen bu artakalan madde önceleri pek bir işe yaramıyordu.

| | U 238 | U 235 | U 234 |
|---------------------------|---------|--------|----------|
| Doğal Uranyum | 99,28 % | 0,72 % | 0,0054 % |
| Seyreltilmiş Uranyum (DU) | 99,8 % | 0,2 % | ≈ 0 % |
| Zenginleştirilmiş Uranyum | 97 % | 3 % | |

Çizelge 9.1: Doğal, seyreltilmiş ve zenginleştirilmiş uranyumdaki izotoplar ve oranları

⁵ Seyreltilmiş Uranyum (DU): İngilizcedeki DU : Depleted Uranyum : Doğal uranyumda U235 oranı % 0,7 kadar olup U235'i bu oranın altına inmiş uranyuma seyreltilmiş uranyum deniyor (Seyreltilmiş uranyumda U 235 genellikle % 0,2'den de az).

Çizelge 9.1'den görüldüğü gibi hemen hemen saf U 238 ' den oluşan, çok büyük miktardaki seyreltilmiş uranyumun epey bir masrafla güvenli olarak depolanması gerekiyordu. 1 ton zenginleştirilmiş uranyum elde edilirken, 7 ton kadar 'Seyreltilmiş Uranyum' arta kalıyor. Uranyumun yoğunluğunun büyük olması ve ince toz tanecikleri halindeki çabucak yanıcılığı nedenleriyle, Seyreltilmiş Uranyumun mermilerin içine yerleştirilerek kalın zırhlı düşman tanklarına karşı etkin olarak kullanılması ve böylelikle dağ gibi biriken artakalan seyreltilmiş uranyuma da bir kullanım alanı yaratılması düşünöldü (Dünyada 1999'da toplam miktar 1,2 milyon ton olup bu, 100.000 adet, 12 tonluk kamyon yüküne eşdeğer – Bk. **Ek 10** Çizelge E 10.7). Bu çözüm, hem nükleer yakıt üretim endüstrisi ve hem de silah endüstrisi için çok elverişli oldu. Seyreltilmiş Uranyumun hiç değilse bir bölümü çok ucuz fiyatlarla ve hatta ücretsiz silah endüstrisine aktarıncanükleer endüstrinin güvenli depolama giderlerine de gerek kalmıyordu. Mermilerde kullanılan uranyum, ya bu şekilde ortaya çıkan seyreltilmiş uranyumdu ya da nükleer yakıtların reaktörlerde kullanımından sonradaki U 235 izotopu 'özel arıtım tesislerinde' % 0,2 'e indirilerek seyreltilmiş 'kirli uranyum'du. Kirliliği ise reaktörlerde yan madde olarak oluşan Plütonyum izotoplarından kaynaklanıyordu. Mermilerde bu cins 'kirli uranyum'un da kullanıldığı, atılan mermilerin içinde, doğal uranyumda bulunmayan U 236 izotopunun ölçümlerle ortaya çıkarılmasıyla oldu. Mermilerin çarptığı hedeflerde ve çevresinde bu nedenle U 236 ve plütonyum izotoplarının bulunma olasılığı da vardı.

Uranyumlu mermiler çeşitli büyüklükte yapılmakta, 25 mm ve 30 mm çaplı olanları genellikle uçaklardan yerdeki hedeflere, 105 mm ve 120 mm çaplı olan büyükleri ise tanklardan ateşlenmekte (Şekillere bakınız).

Mermilerin, düşman tanklarına giriciliğini artırmak için Seyreltilmiş Uranyuma % 0,75 oranında Titan maddesi katılıyor ve alaşım ayrıca sertleştiriliyor (Uranyum metali aslında yumuşak bir metal). Mermilerin içindeki uranyumun patlayıcı bir özelliği yok. Uranyumlu mermilerin yıkıcı, yakıcı gücü, sadece hareket ya da kinetik enerjisinden kaynaklanıyor. Bir cismin kinetik (hareket) enerjisi, kütlesi ve hızı arttıkça büyüdüğünden, belirli çaplı bir silahtan atılan daha büyük kütleli bir merminin vurucu gücünün ya da etkinliğinin artacağı açık. 30 mm'lik ve 275 gramlık bir uranyum mermisi, saate 3.600 km'lik bir hızla fırlatıldığında bunun hareket enerjisi, saate 72 km hızla giden 700 kg'lık bir otomobilin hareket enerjisine eşdeğer bir enerjisi oluyor ama mermi bu yüksek eşdeğer enerjiyi sadece 1 cm² 'lik bir alana çarparak aktarıncan, katmerli zırhları sorunsuz delip geçiyor. Uranyumlu mermilerin askeri yönden bir üstünlüğü de çarptığı yerde ucunun daha da sivrilip giriciliğinin artması. Halbuki diğer cins mermiler hedefe

çaptığında mantar şekli aldıklarından bunların giriciliği ve dolayısıyla etkinliği fazla olmuyor.



Şekil 9.7: Mermilerin atıldığı yerler (Ölçümlerin yapıldığı, örneklerin alındığı yerler kırmızı kutucuklarla gösteriliyor)

Mermi hedefe çarptığında, aşırı hareket enerjisi (kinetik enerjisi) büyük oranda ısı enerjisine dönüşüyor, uranyumlu mermi yüksek sıcaklıkta erirken, oluşan uranyum buharındaki tanecikler çabucak yanıcı olduğundan tankta yangın çıkıyor, tankın cephane ve yakıtı tutuşup tank sonunda işe yaramaz duruma geliyor.



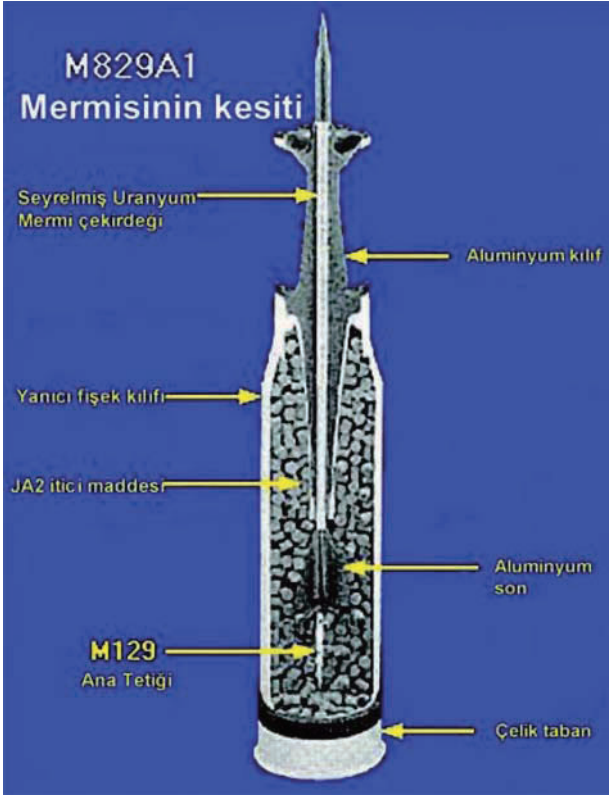
Şekil 9.8: Uranyumlu mermilerin çeşitli tipleri



Şekil 9.9: Uranyumlu merminin uçuş sırasında yan parçalarından ayrılarak ok gibi hedefe yönelmesi



Şekil 9.10: Amerikan A-10 Savaş Uçağı;



Şekil 9.11: M829A1 Uranyum Mermisinin kesiti

GAU-8, PGU-14/B Tipindeki Uranyum Mermisinin sonundaki ateşleyici bölümüyle birlikte toplam uzunluğu 29 cm ve toplam kütlesi 690 gram. Uranyum çekirdeği merminin ön bölümünde 14,5 cm uzunluğunda olup 270 gram. Merminin hızı saniyede 1 km kadar (saate 3640 km).



Uranyum Vücuda Nasıl Giriyor ve Etkileri?

Yukarda belirtildiği gibi mermi hedefe çarptıktan sonra oluşan uranyum buharı (uranyum oksitler halinde) çevreye yayılıyor, tankta çıkan yangın dumanı ve hava akımlarıyla uzaklara taşıyor. Amerika'da yapılan deneyler etkin rüzgâr yönünde uranyumlu parçacıkların 40 km'den daha uzaklara kadar taşınabildiğini göstermiş. Bunların en etkin olduğu bölge ise tankın içi, tankın yüzeyleri ve 50 metrelik çevre. Bu yakın çevrede uranyum tozuyla bulaşmış toprak da oradakileri dıştan etkileyebildiği gibi, buralarda dolaşanların ayakları ve araba tekerlekleriyle de uranyumlu toz parçacıkları daha uzaklara taşınabiliyor. Toprağın 12 cm kalınlığındaki yüzeyinin uranyumlu tozlarla bulaştığı belirlenmiş. Amerikan ordusunda yapılan denemeler, Abrams tankından ateşlenen 120 mm çaplı tek bir merminin 900 ile 3400 gram arasında uranyumoksitli toz oluşturduğunu ve toz taneciklerinin kabaca yarısının vücuttan atılamayan türde olduklarını saptamış (çapları 5 mikrondan çok, 1 mikron: 1 metrenin milyonda biri).

İnce kum taneciklerinin yüzde biri kadar büyüklükte olan uranyumlu toz parçacıkları, tank yakınındaki askerlerin havayı solumaları yoluyla ya da yaranalma yerlerinden doğrudan vücuda giriyorlar. Yanma sıcaklığına bağlı olarak bu parçacıklar vücut sıvısında çözünerek zehirli olabildikleri gibi çözünmeden de seramik tanecikleri şeklinde vücutta kalabiliyorlar ve yıllarca vücutta ışınlayabiliyorlar. Bunlar çoğunlukla akciğerlerde, kemiklerde, böbreklerde ve karaciğerde kalıyor.

Uranyumun, radyoaktivitesinden çok kimyasal zehirliliği, vücuda etkili oluyor, çünkü radyoaktivitesi çok zayıf. Birçok kimyasal maddede olduğu gibi, bir maddenin vücut için tehlikeli olması, vücuda alınan miktarına bağlı. Doğal uranyumun böbreklerde hasara yol açtığı ise eskiden beri biliniyor.

Genellikle tehlike altında olanlar, bu cins mermilerin çarptığı tanklarda olanlar, bunların çarptığı dost ya da düşman tankalarına yaklaşanlar. Yanan tanklardan iç bölgelere doğru taşınan uranyum parçacıkları oralardaki insanları da etkiledi. Körfez (Golf) Bölgesinde ve Kosova Çevresindeki toprak ve sularda bulunan kullanılmış mermiler, bunların parçaları halen kimyasal ve radyoaktivite etkisini göstermekte, bunlarla ilgili olarak Birleşmiş Milletler bilimsel araştırma grubu yıllarca süren ayrıntılı araştırmalar yaptı.¹ (Haritaya bk.).

Plütonyum

Mermilerde seyreltilmiş uranyumun yanı sıra, daha önce reaktörlerde kullanılmış (yanmış) nükleer yakıt maddelerinden kazanılmış uranyumun ('kirli uranyum'un) da kullanılmış olabileceği, Birleşmiş Milletler ilgili Kurulunun raporuna göre 2001 yılından beri biliniyor. Eğer böyleyse, mermilerde az miktarda da olsa plütonyum 239 da var demektir. Nitekim mermilerde yapılan ölçümlerle bu kanıtlandı da (Çizelge 5 ve 6 bk.). Daha çok nükleer reaktörlerde ortaya çıkan Pu 239 transuran grubunda olup, özellikle 5 MeV'luk enerjide alfa ışınları salmakta (Yarılanma süresi 24110 yıl).

Solunumla vücuda giren plütonyum, akciğerlerde, kemik ve karaciğerde birikmekte. Mide ve barsaklarda tutunması akciğerlerden 10.000 kat daha az olduğundan buralarda çok daha az etkin doz oluşmakta (kalani dışarı atıldığından).

¹ Birleşmiş Milletlerin 2003'de yayımlanan 303 sayılı raporuna bakılması : www.unep.org

Diğer yandan 1960'lı yıllarda yapılan atom bombası denemeleri nedeniyle 6.000 ile 8.000 kg Pu 239 yeryüzüne yayıldı. Bunun sonucu olarak, toprağın 20 cm'lik üst tabakasında ortalama olarak her metrekarede 40 Bq'lık bir Pu 239 aktivitesi bulunmakta.

Seyreltilmiş Uranyumun Sivil Alanda Kullanım Yerleri

Diğer yandan 'Seyreltilmiş Uranyum' sivil alanda, deniz yarış motorlarının dip bölümlerine denge sağlayan ağırlık ('safra') olarak, Boeing 747 gibi büyük uçaklarda dümen kapaklarını dengeleyen karşıağırlık olarak kullanılıyor. Ayrıca gama ışınlarını, kurşundan daha iyi zırhlaması nedeniyle, nükleer santrallarda kullanılmış nükleer yakıt elemanlarının içine konduğu varillerde de zırh kılıfı olarak kullanılıyor.



Şekil 9.12 : Arazide ölçümler

Toz Dumana Karışmış Seyreltilmiş Uranyumun Solunum Yoluyla Vücuda Girmesi (UNEP 2000/ 2003):

Merminin çarptığı yerdeki 1000 m²'lik bir alandaki her mg tozda 6 µg (mikro gram) seyreltilmiş uranyum olabileceği hesaplanıyor. Havadaki toz yoğunluğuna bağlı olarak bu 0,3 µg/ m³ (normal hava) ve 30 µg/ m³ (çok tozlu hava) arasında değişiyor. Sürekli solunduğunda bu, yılda 0,3 ile 30 mSv arasında bir doz oluşturuyor.

Diğer yandan Kuveyt'te 1993 yazında yapılan ölçümlerde, Körfez Savaşı'ndan 2 yıl sonra bile havada seyreltilmiş uranyumun çok az da olsa bulunduğunu gösteriyor (0,34 ng/m³ : her metreküpte milyarda 0,34 gram). Bunun insan vücudunda solunumla oluşturabileceği doz ise yılda 0,3 µSv.

Seyreltilmiş Uranyumlu Sebzelerin Yenilmesi (UNEP 2000/2003)

Merminin çapmasının ardından geçen ilk haftada yapraklı sebzelerin yenilmesi sonucu birkaçyüz miligram seyreltilmiş uranyumun vücuda alınabileceği hesaplanıyor. Kimyasal zehirlilik riski kesin olan bu miktarın oluşturacağı radyasyon dozu 0,1 mSv kadar.

Seyreltilmiş Uranyumlu Yeraltısuyunun İçilmesi (UNEP 2000/ 2003)

Merminin çarptığı yer yakınlarındaki yeraltısuyunda litrede 1 mg'a varan seyreltilmiş uranyum olabileceği varsayılıyor. Bu derişimdeki su içildiğinde, bunun kimyasal zehirliliğe de neden olabileceği sanılıyor. Böyle bir su yıl boyunca içildiğinde vücutta oluşabilecek doz 1 mSv kadar.



Mermilerin Etkileriyle ilgili Tıpta Araştırmalar ve Kanser Riski?

Tıpta önemli deneyimler, savaşlarda bu cins mermilerin çarptığı tanklarda bulunan ve kurtulan kişilerle hasar gören tanklarda çalışanların vücutlarının tıbbi kontrollerinden sağlanıyor. Arkadaşlarının mermilerinin yanlışlıkla tanklarına ateşlenip çarpmasıyla ilk Körfez Savaşında ağır yaralan 33 asker 1993 den beri ABD'de tıbbi gözetim altında. Bu askerlerin yarısının vücutlarında bu cins mermilerin parçaları bulunuyor ve idrarlarındaki uranyum miktarı normalin üstünde. Bunlar çeşitli testlerle denenmekte ve vücutlarındaki mermi parçalarının zamanla ne gibi bir etki göstereceği araştırılmakta. Vücutlarında mermi parçaları bulunmayanların ise idrarlarındaki uranyum miktarı normalin üstünde değil. 33 kişinin tümünün böbrekleri normal çalışmakta ve bunların 1991 ile 1997 yılları arasında doğan çocuklarında, doğumda herhangi bir hasar görülmüyor.

Kan kanserinin radyasyonun etkisiyle ortaya çıkması, ışınlanmadan sonraki 5-7 yıl arasında en çok görülebiliyor ki bu, Balkan Savaşı tarihiyle, daha sonra kan kanseri olaylarının ortaya çıkma tarihi arasındaki süreyle kabaca çakiştığından, bir ilişki olabileceği düşünülüyor. Ancak, Uranyum Madenlerinde çalışan işçilerde, çok yüksek radon gazından kaynaklanan doz oluşmuş olmasına ve akciğer kanseri riskinin epey artmış olmasına karşın, kan kanseri hastalıklarının pek artmamış olması, böyle bir ilişkiyi desteklemiyor.

Diğer yandan doğadaki radon'un saldığı alfa ışınları nedeniyle, herbirimizin **akciğerleri yılda 10 mSv'e varabilen** bir organ dozu almaktadır ki bu da **'Tüm Vücut Etkin Dozu' olarak 1,2 mSv'e eşdeğer**.

Endüstri ülkelerinde, yaşları 20 ile 40 arasında olan her 100.000 kişide, ortalama olarak **yılda 8 – 11 kan kanseri** hastalığı görülmektedir. 3 yıllık Balkan Savaşına 100.000 askerin katıldığı gözönüne alındığında, bu sürede, başka hiçbir etkene bağlı olmaksızın 30 kadar askerin normal olarak kan kanserine yakalanabileceği beklenir ki bu da Balkan savaşı sonrası ileri sürülen kan kanseri savlarının, kullanılan uranyumlu mermilere bağlanmasının tutarlı bir dayanağı olmadığını gösteriyor.

Balkan savaşlarına katılmış askerlerde başgösterdiği ve uranyumlu mermilerin etkilerine bağlandığı ileri sürülen kan kanseri hastalıklarının radyolojik yönden incelemek kanser riskinin hesaplanması ve sınanması gerekiyor. Kanser riski hesabıyla ilgili olarak elde daha iyi bir model bulunmadığından W.Jacobi'nin (GSF-Münih) 1995/1997 yıllarında yapmış olduğu ve Wismut Uranyum Madeninde çalışan işçilerin kansere yakalanma riski modeline başvurmak gerekiyor. Bu model doğadaki uranyum için geçerli olduğundan ve doğal uranyumun da özgül aktivitesi, seyreltilmiş uranyumunkinden % 50 kadar fazla olduğundan bu modelle elde edilen sonuçlar seyreltilmiş uranyum için olduğundan yüksek çıkıyor. Ayrıca bu model, uranyumun radyoaktif bozunumundan ortaya çıkan dizideki izotopların birbirleriyle radyoaktif denge hâlinde olduğunu öngörmekte ki bu seyreltilmiş uranyum için geçerli değil. Bu nedenlerle bu modelle hesaplanan kanser riski değerlerinin abartılı olacağı açık. Savaşta sağ kalan örneğin 25 yaşındaki bir asker için, merminin çarpmasının hemen ardından oradaki uranyumlu havayı soluması ve bunu aynı askerin aralarla 10 kez yaşadığı en kötü varsayım olarak düşünülmüş. Aslında bu varsayım, böyle bir olayı yaşayan bir askerin art arda görevlendirilmeyeceği için, pek gerçekçi değil. Buna rağmen bu kötümser varsayıma göre yapılan model hesabı, askerin kan kanserine yakalanmasının uranyumlu havadan ileri gelme riskinin % 1,7 olduğunu göstermiş. Bunun anlamı ise aynı durumu aynı koşullarda yaşayan askerlerden 58'inde kankanseri ortaya çıkarsa bunlardan sadece birindeki kankanserine seyreltilmiş uranyumlu havanın neden olduğu söylenebilir (100/1,7=58).

Asker, kemik kanserine yakalanmış ise bunun seyreltilmiş uranyuma bağlanma olasılığı (riski) bu modele göre % 6,9.

Öte yandan yapılan ayrıntılı doz hesapları, kan kanserine yakalanma riskinin doğal uranyumun radyoaktif bölünme ürünlerinden kaynaklandığını gösteriyor. Bu cins radyoaktif bölünme ürünleri ise seyreltilmiş uranyumda pek bulunmuyor (Seyreltilmiş Uranyumda U 235 çok daha az, U 234 neredeyse yok gibi, radyoaktif bozunma ürünleri ise radyoaktif dengede değil, Çizelge 9.1'e ve yukardaki ilgili Bölüme bkz).

Çizelge 9.2'de doğal ve seyreltilmiş uranyumun 1 gramının solunumla vücuda alınması sonucu bu modelle hesaplanan yaşamboyu riskleri (yüzde olarak) karşılaştırılmakta ve çeşitli organların yaşam boyu riskine olan katkıları gösteriliyor.

Çizelge 9.2: Doğal ve seyreltilmiş uranyumun 1 gram'ının solunumla vücuda alınması sonucu yapılan risk hesapları sonuçları

| | Solunumla vücuda giren | |
|-------------------------------------|---|---|
| | 1 gram Doğal Uranyum (Bölünme ürünleriyle birlikte) | 1 gram Seyreltilmiş Uranyum U (U 235 miktarı % 0,2) |
| Solunumla oluşan Etkin Doz*: | 700 mSv | 120 mSv |
| Yaşamboyu Riski: | % 3,5 (1: 29) | % 0,6 (1: 167) |
| Yukardaki Etkin Doza katkılar: | | |
| Akciğerler | % 88 | % 99,7 |
| Kemik yüzeyi | % 6,2 | % 0,057 |
| Kırmızı Kemikliği | % 3,4 | % 0,072 |
| Karaciğer | % 1,0 | % 0,038 |
| Kalıtım Organları | % 0,96 | % 0,037 |

* ICRP 72'de verilen Solunum Dozları Genel Halk için

Sonuçlar

Yukardaki açıklama ve yaklaşımlardan görüldüğü gibi Seyreltilmiş Uranyumlu Mermilerin ve Tankların, Çevre ve İnsana Etkileri çok yönlü incelenmekte ve tartışılmakta. Tartışılması, mermilerin çarpma sonucu, orada bulunan askerlerin ne kadar süre ve hangi derişimde seyreltilmiş uranyumlu havayı soluduklarıyla ilgili elde tutarlı veri bulunmaması sonucu, yapılan hesaplama ve kestirimlerin bir dizi varsayım ve modellere dayanılarak yapılmasından kaynaklanmakta.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) çerçevesinde yapılan bilimsel araştırmalardan bugüne kadar alınan sonuçlar, Bosna'da çevrenin ve halkın doğrudan bir tehlike içinde olmadığını gösteriyor. Ancak gerek Bosna ve gerekse Irak için Seyreltilmiş Uranyumun savaş sırasında çevreye, havaya ne ölçüde yayıldığıyla ilgili ayrıntılı veri ve bilgiler yok. Yanan tanklardan yükselen seyreltilmiş uranyumlu havanın 40 km kadar uzaklara yayıldığı bulguları gözönüne alınarak, buralardaki korunmasız olarak uzun süre kalmış olanların (bahçelerde oynayan çocuklar gibi) vücutlarında radyoaktif maddelerin birikip, oldukça yüksek dozlar oluşturabileceği de gözardı edilmiyor.

UNEP çevrede kalmış olan uranyum mermi ve artıklarının toplatılmasını önermekte. Mermilerin çarptığı yerler çevresi dışındaki canlılar için ise herhangi bir tehlike bulunmuyor. Bunun nedeni uranyumun, 'toprak-bitki-hayvan-insan' biyolojik çevriminde kötü aktarılması.

Diğer yandan, uranyumlu mermilerin, askerlerin sağlığını etkileme olasılığının çok az olabileceği sonucuna rağmen hiç olmayacağı da, savaş sırasında ölçüm değerleri bulunamayacağından, bilimsel olarak kanıtlanamıyor.

Plütonyumun mermilerde bulunup bulunmadığına ve miktarına göre, plütonyumun sağlığa etkisi ve tehlikesi, uranyumunkinden çok daha olası. Eski Yugoslavyada kullanılmış uranyumlu mermilerden ve uranyumlu tank zırhlarından alınan örneklerin laboratuvar ölçümleri ise plütonyum katkısının çok düşük olduğunu gösteriyor.

Uluslararası halk direncinin, uranyumlu mermilerin ilerde kullanılmasını önleyeceği ise iyice şüpheli. Çünkü gerek uranyumlu mermiler ve gerekse uranyum zırlı tanklar, daha önce kullanılan ve içinde uranyum olmayanlara karşı, savaşta büyük üstünlük gösteriyor. Örneğin Körfez Savaşında Irak Ordusunun T-72 tanklarını amerikalılar uranyumlu mermilerle 3 km uzaklıktan vurup delmelerine ve büyük hasar oluşturmalarına rağmen, Iraklılar, amerikalıların 'sandeviç kılıflı tanklarını' alışılmış mermilerle 400 m'den vurup etkili olmadılar.

Diğer yandan gerek nükleer santraller, gerekse nükleer yakıtla çalışan denizaltılar ve atom bombası yapımı nedeniyle doğal uranyum zenginleştirilirken, arta kalan seyreltilmiş uranyum çıg gibi birikmekte ve bunun büyük giderlerle güvenli olarak depolanması sorunu çözülememekte, askeri amaçlı kullanımı dahi biriken dağı belirgin bir ölçüde azaltamıyor (Ayrıntılar için bk. **Ek 10**).

Kaynaklar:

- Birleşmiş Milletlerin Çevre Programı(UNEP) 2003 raporu : www.unep.org
- Europiant Parliament : Working paper Depleted Uranium, April 2001
- www.physik.uni.oldenburg.de, www.bfs.de, www.gsf.de, www.bundeswehr.de,www.gulfink.osd.mil/du



ANA BÖLÜM III

İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYONLAR (IŞINLAR)



BÖLÜM 10

CEP TELEFONLARI VE BAZ İSTASYONLARININ YAYDIĞI RADYASYONLAR (ELEKTROMANYETİK DALGALAR)

Cep Telefonlarından Yayılan Elektromanyetik Dalgaların Vücut Dokularındaki Etkileri ve Sağlığımız?

Kitabın ilk iki bölümünde 'radyasyon' sözcüğünün, sadece radyoaktif maddelerden yayılan girici ışınlar için değil, tüm ışınlar spektrumundaki farklı frekanstaki (enerji ve dalga boyundaki) ışınlar için de kullanılabileceğini, belirtmiştik (Bk. Bölüm 1, Şek.1.1). Bu bölümde, frekansları oldukça yüksek olmakla birlikte (900 MHz –1800 MHz), radyoaktif maddelerden yayınlanan ışınlarınkinden çok daha düşük olan baz istasyonlarından, cep telefonlarından ve kullandığımız diğer aletlerden yayınlanan elektromanyetik dalgaların, vücudumuza etkilerini inceleyeceğiz.

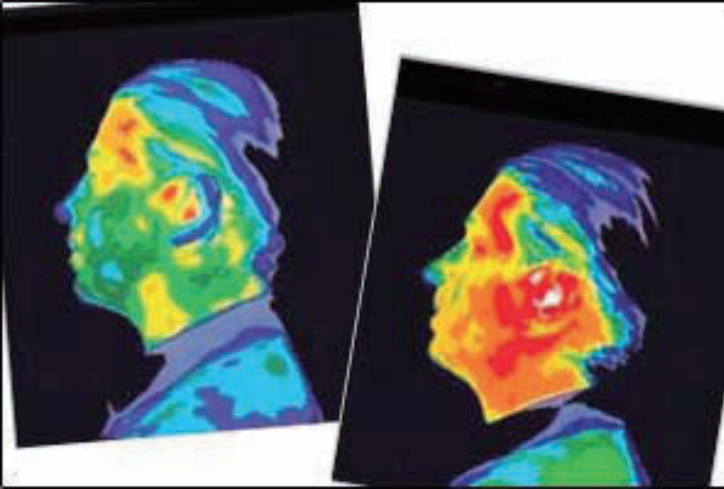
Bugün dünya nüfusunun yarısından çoğu cep telefonu kullanıyor; 2003'teyse bu sayı bir milyar dolayındaydı. Önce telsiz telefon, sonra "walky talky"lerle gelişen teknoloji, 15-20 yıl önceki basit ve 1 kg'lık cep telefonlarının ardından, bugün bir dizi işlevli (telefon konuşması, internet bağlantısı, radyo ve müzik çalma, fotoğraf ve video çekme, takvim, ajanda, çalar saat gibi) 100 gram'lık 'akıllı telefonları' üretti ve bunlar neredeyse ayrılmaz parçamız olarak günlük yaşamımıza girdi. Başlangıçta mesaj göndermek ya da haberleşmek için kullanılması düşünülen cep telefonları, işlevlerinin iyice artması, fiyatların gitgide düşmesi, ücretsiz kontür eklemeleri gibi çekici uygulamalarla, hem evlerde ve hem de işyerlerinde gerekli gereksiz, daha sık ve çok uzun konuşmalar yapılmasına yol açtı. Çoğumuz, yollarda, istasyonlarda, duraklarda, bekleme salonlarında, tren ve vapurlarda hemen cep telefonlarımıza sarılıp uzun uzun konuşuyor ve yazışmalar yapıyor, müzik dinliyoruz. Ev ve işyerlerimizde de çok kez cep telefonu elimizden düşmüyor.

Cep telefonlarından yayılan 'Radyo Frekanslı (RF)' elektromanyetik dalgalar vücudumuzdaki dokuları ve dolayısıyla sağlığımızı nasıl etkiliyor? Bu konuda bugün bilimin eriştiği düzeyde ne gibi bulgular ve bunlardan türetilebilecek ne gibi önlem ve öneriler var?

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların sağlığa olumsuz etkileriyle ilgili (kanser oluşturduğu gibi) çeşitli savlar zaman zaman medyada ve birđok internet sayfasında yer alıyor ve tartişılıyor. Bu yazıda, bilim dűnyasında, yoğun olarak araştırılagelen ve sayısız bilimsel yayının yapıldığı “cep telefonlarının yaydığı RF dalgaların vűcudumuza etkisi”, konuya yabancı okurlar iđin oldukđa basite indirgenerek ağıklanıyor ve yapılmakta olan bilimsel araştırmalardan bugűne kadar elde edilen bulgular, ۆnem ve ۆneriler ۆzetleniyor.

Isıl Etkiler

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların, girdikleri dokulara enerjilerini aktararak onların sıcaklığını artırdığı artık kanıtlanmış bilimsel bir gerđek. Aşırı sıcaklık artımı ise dokuların işlevlerini bozabiliyor. Uluslararası Bilimsel Kurul’un (ICNIRP) ve Dűnya Sağlık ۆrgűtű’nűn (WHO) saptadığı ilgili “sınır değerler”, dokulardaki bu ısıl etkilere dayanıyor. Őekil 10.1a’daki resimlerde bir kişinin cep telefonuyla konuşmadan ۆnceki (soldaki) ve 15 dakikalık konuşma sonrası (sağda) gűrűntűleri yer alıyor. Sađdaki resimdeki kırmızımsı renk, cep telefonuyla konuşma sonucu “başın” dokularındaki “sıcaklık artımını” gűsteriyor. **Isı enerjisinin fiziğiyle ilgili basit ağıklamalar iđin Bk. Ek 15b.**



Şekil 10.1a: Cep telefonuyla 15 dakika konuştuktan sonra baştaki sıcaklık artımı (kırmızımsı renkte, sağdaki resim) ve baştaki dokuların telefon etmeden ۆnceki daha az sıcaklığı (soldaki resim)

Isıl Olmayan Etkiler

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların vücut dokularında sıcaklık artımından başka etkileri de olabiliyor. 'Isıl olmayan etkiler' denilen bu gibi etkilerle ilgili olarak 1970'lerden beri yapılmakta olan birçok bilimsel çalışma,, bu cins elektromanyetik dalgaların etkilerini kesin olarak ortaya koyan bulgu ya da kanıtlardan çok uzak. Zaman zaman yapılan bazı yayınlarda, kanser (tümör) olasılığının artımından uyku bozukluklarına, baş ağrısından iktidarsızlığa kadar bir dizi bulgunun elde edildiği ileri sürülüyor. Ancak IC-NIRP bilimsel kurulunun raporlarına göre bunlar çeşitli nedenlerle (bilimsel yol ve yöntemlerde bazı yanlışlar, veri eksiklikleri, yeterli süre incelenmemiş olmaları gibi) henüz bilimsel olarak sınanamamış durumda. **Cep telefon ve baz istasyonlarında kullanılan RF dalgalar, hücrelerdeki moleküllerin birbirleriyle bağlantısını koparacak ve hücre çekirdeğindeki DNA gibi molekülleri bozacak enerjide olmadıklarından, kansere neden olabilecek etkiyi göstermeleri genellikle beklenmiyor. Ancak, özel durumlarda, dokularda belirgin bir sıcaklık artışı oluşturmadan, büyük moleküllerde, hücre zarlarında ya da hücre organellerinde bunların normal işlevlerini bozan ısıl olmayan olumsuz etkiler beklenebiliyor. Ayrıca yapay olarak gen teknolojisiyle bozunmuş hücrelerin elektromanyetik alanların etkisiyle daha da bozunup çoğalma olasılığı var. Isıl olmayan etkilerle ilgili olarak, bilimsel güvenilirliği sınanmış tek bulgu, elektromanyetik dalgaların, vücuda yerleştirilmiş "kalp pili" ve benzeri aletleri bozabilmesidir. Ayrıca hastane ve uçaklardaki duyarlı bazı aletler de cep telefonlarından olumsuz etkilenebiliyorlar. Buna karşın baz istasyonlarının çevresindeki bölgelerde yaşayan kişilerdeki kalp pillerine, baz istasyonlarının herhangi bir etki yaptığı saptanmamıştır.**



Sınır değerlerin belirlenmesinde izlenen yol Özgül Soğurma Hızı Değerleri, SAR: (Specific Absorption Rate)

70 kilogramlık bir kişinin vücudu, "hareketsiz durumda" yaklaşık olarak saniyede 80 Watt'a eşdeğer bir enerji tüketiyor (80 Watt'lık bir elektrik ampulünün yanarken tükettiği enerji kadar). Buradan, vücudun kilogramı başına güç yoğunluğu olarak kabaca $80/70=1,2$ Watt bulunur. Yürüdüğümüzde, spor yaptığımızda ya da bisiklete bindiğimizde ise vücudumuzun enerji alışverişi artıyor ve güç yoğunluğu vücudumuzun kilogramı başına 3 ile 5 Watt'a ulaşıyor. Bu düzeydeki bir güç yoğunluğu, dışarıdan RF dalgalar yoluyla vücutta oluşursa, bunun, vücuttaki organ ve dokuların normal işlevleri yoluyla giderilebileceği ve vücutta herhangi bir hasar oluşmayacağı düşünülmüş ve ilk sınır değeri böyle belirlenmiştir. Son 30-40 yıldır özellikle hayvanlar üzerinde yapılan deneyler ve çok çeşitli bilimsel çalışmalar, herhangi bir nedenle tüm vücut ve dokulardaki 1 dereceyi (1 °C) aşan sıcaklık artımı sonucu, vücutta bazı bozuklukların (hasarların) ortaya çıktığını gösteriyor. Öte yandan vücutta 30 dakika boyunca 1

derecelik (1 °C) sıcaklık artımına yol açan ve RF dalgalarından kaynaklanan güç yoğunluğu ise kilogram başına 4 Watt kadardır. Bu değer "temel SAR sınır değeri" olarak kabul ediliyor. Korunma (ya da güvenlik) payı da göz önüne alınarak, bu değerinde onda biri olan 0,4 Watt/kg, ilgili mesleklerde çalışanlar için sınır değeri olarak öngörülmüştür. Bunun da beşte biri olan **0,08 Watt/kg** halktan herhangi bir kişinin tüm vücut ışınlanması için sınır değeri olarak ICNIRP bilimsel kurulunca öneriliyor. Bu ise vücutta 1 derecenin 50'de biri (**0,02° C**) kadar bir sıcaklık artışı demek. Vücudun baş bölgesi için sınır değeri 1,6 Watt/kg (Bazı ülkelerde 2 Watt/kg ki bu da **0,5° C sıcaklık artışıdır**).

0,08 Watt/kg'lık sınır değere eşdeğer olarak Volt/m ve Watt/ m² birimlerinde sınır değerler türetilmiştir. Bunlar sırasıyla 900 MHz için 41V/m, 4,5 Watt/m² ve 1800 MHz için 58 V/m ve 9,2 Watt/ m²'dir. 2 GHz ile 300 GHz arasındaki yüksek frekanslar için türev sınır değerleri ise elektriksel alan şiddeti için 61,4 V/m ve güç akısı için 10 Watt/m²'dir (ICNIRP Lyonlayıcı olmayan ışınlardan korunma ölçütlerini belirleyen uluslararası üst kurulun önerisi).

Türkiye'de sınır değerler 2001 yılında yayımlanan ilgili yönetmeliğe göre, ICNIRP "yönlendirici sınır değerlerinin" dörtte biri kadardır ve 900 MHz frekansla yayın yapan baz istasyonları için elektriksel alan şiddeti 10 Volt/m'dir. 1800 MHz frekansı için ise sınır değeri 14 Volt/m'dir (Sınır değerlere göre, Türkiye'deki uygulama daha koruyucudur).

RF dalgaların vücuda aktardığı enerji yoğunluğunun üst sınırlarını belirleyen tüm bu değerler, hayvanlar üzerinde 1970'li ve 1980'li yıllarda yapılan deneylere (özellikle fare ve maymunlarda doku ısınması sonucu davranış bozukluklarının gözlenmesine) dayanıyor. Ayrıca viskoz bir sıvı karışımıyla doldurulan yapay bir kafanın yakınına konup çalıştırılan bir cep telefonunun bu sıvıya aktardığı enerjinin, kafa içindeki çeşitli noktalarda elektronik algılayıcılarla ölçüldüğü deneylerden de yararlanılıyor (Fantomla ya da modellemeye).

Almanya'da yetkili kurumun yaptığı taramada, piyasadaki cep telefonlarının baş bölgesi için 0,10 ile 1,94 W/kg ve tüm vücut ışınlanması için ise 0,003 ve 1,87 W/kg arasında değerler gösterdiği bulunmuştur.

3. kuşak (3G) cep telefon sistemleri, bilindiği gibi yüksek frekansta (mikro dalgalar bölgesinde) 1900 ile 2200 MHz'lik (saniyede 1900 ile 2200 milyar kez titreşim yapan) elektromanyetik dalgalar yayıyorlar.

Not: Watt 'Fizikte '**Güç** birimi' olup 1 Watt, 1 saniyede üretilen ya da tüketilen enerji miktarını (Joule/saniye) gösteriyor.

Cep Telefonlarından Kaynaklanan Düşük Dozun Vücutta Etkisini Belirlemedeki Güçlükler

Tüm bu saptamalardan cep telefonlarından yayılan dalgaların vücutta sıcaklığı artırma dışında başka bir etkisi olmadığı ve olamayacağı anlamı da çıkarılmamalı. Bilim, bilindiği gibi, gözlem (ölçüm), deney, karşılaştırmayla

sonuçlar çıkarmaya ve bulguları sınamaya dayanıyor ve yeni hipotezler, bilimsel yol ve yöntemler sonucu elde edilen bugünkü bulgularla gerçek duruma yaklaşma sürüp gidiyor. RF dalgaların dokuların sıcaklığını artırmasından başka etkilerinin bugüne kadar yapılan çalışmalarla kesinlik kazanmamış olmasının nedenleri özellikle şunlardır: dokularda oluşan çok düşük dozun herhangi bir etkisinin, hücrelerin doğal korunma işlevleriyle önlenerek daha hasar ortaya çıkmadan giderilmesi ya da etkinin RF dalgaların dışındaki daha büyük başka etkilerle perdelenip saptanamaması. Benzer durum radyoaktivite kaynaklı, iyonlaştırıcı düşük radyasyon dozlarının etkilerinde de görülüyor. Bu nedenle, cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların insan vücudunda oluşturabileceği etkilerin çok daha uzun süre bilimsel çalışmalarla araştırılması gereğinin işin doğasında olduğu açık. Gerçekten de bu konuda 13 ülkede 1997'den beri süregelen bilimsel araştırma çalışmalarının (**interfon araştırması**) da bu sonucu doğrulayacağı çeşitli yayınlarda vurgulanıyor. İnterfon araştırmasında bugüne kadar ilgili ülkelerden bazı sonuçlar açıklanmış olmasına karşın, araştırmaya katılan tüm ülkelerden elde edilen verilerin birlikte değerlendirildikleri sonuçlar henüz bulunmuyor.

İnterfon Araştırmasının Ara Sonuçları Özetle Şöyle:

1. Cep telefonunun on yıldan daha az kullanımı sonucu tümör riskinde bir artım görülüyor.
2. Cep telefonunun on yıldan daha uzun süreli kullanımında, işitme siniri ve beyin dokusu tümör riski artımıyla ilgili bazı bulgular elde edilmiş olsa da, veri azlığı (uzun süre cep telefonu kullanmış olan tümörlü az sayıda kişi bulunması) nedeniyle sonuçlar istatistiksel olarak belirgin değil. Bu nedenle tüm ülkelerden gelen verilerin birlikte kullanılacağı bilimsel değerlendirme sonuçlarının beklenmesi gerekiyor. Öte yandan Almanya'da cep telefonlarının sağlığa etkilerinin araştırılmasıyla ilgili 17 milyon avro-luk bir bilimsel araştırma programı başlatılmış olup, bu miktarın yarısını yetkili bakanlık ve diğer yarısını da cep telefonu sistemlerini işleten şirketler üstleniyorlar. Buna rağmen bu kapsamlı bilimsel çalışmada bu şirketlere, seçilecek araştırmalar ve alınacak sonuçların değerlendirmesiyle ilgili herhangi bir söz hakkı tanınmıyor. Bu araştırma, tümüyle Almanya Radyasyon Korunma Kurulu'nun yönetiminde yürütülüyor.



Önerilen Koruyucu Önlemler

Her ne kadar kanser oluşumu ve DNA bozulması gibi etkiler, bugün bilimsel kesinlikle ortaya konamıyorsa da koruyucu önlemler olarak şunları göz önüne almak yararlı olabilir:

1. Cep telefonları daha çok haberleşme için kullanılmalı (olduğunca az ve kısa konuşulmalı, uzun iş konuşmaları ve söyleşiler kablolu telefonlarla yapılmalı),
2. Bina içinde, pencereye yakın durup telefonu pencereyle aramıza alarak konuşmalı (telefonun yayın ya da çalışma gücü azalacağından bize etkisi de azalacaktır ve elektromanyetik dalgalar başımızdan önce telefondan geçecektir),
3. Telefonda görülen sinyalin en yüksek olduğu yerler seçilmeli (baz istasyonuna yakın yerlerde telefon daha az güçle çalışacağından kişiye etkisi az olacaktır). Not: Çoğumuz oturduğumuz yerlere yakın baz istasyonu olsun istemiyoruz. Ancak, baz istasyonu bize uzaktaysa, telefonumuz daha büyük güçle çalışmak zorunda kalacak ve sonuçta bizi daha çok etkileyecek. Yakınıımızdaki bir baz istasyonunun yaydığı radyasyonun bize etkisi, ölçümlerle saptandığı gibi, çok daha az.
4. Telefonda bağlantı kurulurken telefon baştan biraz uzakta tutulmalı (Telefon, yakınlardaki baz istasyonunu ararken daha büyük güçle çalışacağından bu sırada artan etkiyi azaltmak için. Telefon bağlanana kadar konuşamayacağımızdan telefonu kulağımıza çok yaklaştırmamız zaten gereksiz),
5. Telefonu göz, göğüs, (hamilelerde karından) ve üreme bölgelerinden uzakta tutmalı, kemerde ve pantolon cebinde değil, arka cepte taşınmalı,
6. Özellikle küçük çocuklara cep telefonu almamalı, gerektiğinde sadece haberleşme için kısa konuşmaları sağlanmalı,
7. Zorunlu bir durum olmadıkça otomobil ve trende cep telefonu kullanılmamalı, gerekiyorsa ellerin serbest kalacağı sistem kullanılmalı (Telefon metal karoserin iç kısmında oluşan elektriksel alanları yakaladığından konuşurken kulak bölgesindeki radyasyon dozu artıyor),
8. Yeni cep telefonu satın alırken özgül soğurma yoğunluğu (SAR değerleri) daha düşük olanları seçilmeli (Aşağıdaki 'Kaynaklar'daki ilgili internet sayfasına bk.)
9. Cep telefonlarının, insülin pompası, kalp ve kulak aletlerinden en az 25 cm uzaklıkta kullanılması
10. Cep telefonu çalar çalmaz, bağlantı kurulmadan, hemen kulağa yapıştırmamalı, bağlantı kurulduktan sonra kulağa yaklaştırmalı ve konuşurken kulağa 1 cm kadar uzakta tutulmalı (araya parmağımızı dayayarak).

Sonuç:

Bilimsel araştırmalardan bugüne kadar elde edilen sonuçlara göre, sınır değerlerin altında kalındığı ve 'her şeyin çoğu zarar' ilkesi gözönüne alınarak cep telefonları 'bir yaşam boyu, gece gündüz ' aşırı derecede kullanılmadığı sürece, bunların yaydığı elektromanyetik dalgaların vücut dokularımızda oluşturacağı düşük dozdan sağlığımızın olumsuz etkilenmesi beklenmiyor.

Kaynaklar:

- TÜBİTAK Bilim Teknik dergisi Mart 2010 sayısından, Atakan, Y.
- Atakan, Y., "Cep telefonu kullanımı beyinde tümör oluşturuyor mu?" (interfon Araştırması) *Cumhuriyet Bilim Teknoloji*, 22 Ocak 2010
- Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz-300 GHz), ICNIRP 16/2009
- Interphone Study (www.iarc.fr/en/research-groups/RAD/RCAAd.html)
- Cep telefon sistemleri nasıl çalışıyor? Y. Atakan, *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 24.05.2003
- Sevgi, L., *Elektromanyetik Kirlilik, Cep Telefonları ve Baz İstasyonları*, TÜBİTAK MAM, 2000
- Cep telefonları marka ve tiplerine göre SAR değerleri için bk.: <http://www.gnrk.gazi.edu.tr/sar.htm>
- Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu yayınları (www.bfs.de)

Cep Telefon Kulaklıkları Vücuda Etkiyi Azaltıyor mu?

Özellikle kulağa takılan kablosuz 'Bluetooth' kulaklıkları son yıllarda gitgide artmaya başladı. Yollarda bunlarla, sanki kendi kendine konuşarak, elleri boş ya da cebinde yürüyenlere artık daha çok rastlanıyor. Öte yandan, kablolulu kulaklıkların yanısıra, 'hava borulu kablolulu kulaklıklar' da piyasaya çıktı (airtube hands free kits).

Cep telefonlarından yayılan elektromanyetik (EM) dalgaların vücuda olabilecek olumsuz etkilerini bu kulaklıklar azaltıyor mu? Bunların özellikleri, olumlu, olumsuz yanları nelerdir? Bu yazıda bu konudaki gelişmeleri EM dalgaların vücuda etkisi yönünden kısaca inceleyip değerlendireceğiz.

Kablosuz-Bluetooth Kulaklıkları

Bluetooth kulaklıkların dayandığı teknoloji, ilk kez 1994'de İsveç Ericsson şirketinin, bilgisayarlar, ekran, yazıcı ve başka yardımcı aletlerin birbirine bağlanmasıyla ortaya çıkan kablo karmaşasına son vermeyi araştırırken başlıyor. Bu amaçla çeşitli küçük aletlerin birbirlerine kısa uzaklıklarda kablosuz erişimiyle ilgili proje çalışması yürütülüyor. Nokia, IBM, Toshiba ve Intel şirketlerinin katılımıyla yapılan bilimsel çalışmaların sonunda Bluetooth teknolojisi, 1998'de lisanslanıyor ve kurulan Bluetooth-Special Interest Grubu'nda (SIG) bugün birçok şirket birarada araştırma ve geliştirmeler yapıyor ('Bluetooth' adı, İsveç'in bu konudaki yoğun bilimsel çalışmalarının önemini vurgulamak için, 10. Yüzyıl'da yaşamış ve İskandinavya'yı Hristiyanlaştırarak krallığına bağlamış 'Bluetooth' (Mavidiş) takma adlı Viking Kralı Harald Gormson Blatand'dan geliyor).



Şekil 10.1b: Bluetooth kulaklıklarına bir örnek

Bluetooth kablosuz erişim sistemi 3 sınıfa ayrılıyor. Bunlardan 100 metre uzaklığa kadar yayın yapabilenin elektriksel gücü 100, diğerlerinin 2,5 ve 1 miliwatt (1mW). Sonuncusuyla 10 m uzaklığa kadar ulaşılabilmekte. Bluetooth sisteminin frekansı ise 2,5 Giga Hertz dolayında (EM dalga, saniyede 2,5 milyar kez titreşmekte). Bu frekansta dalgaların vücuda girebilme derinliği ise 1,5 cm kadar. Bu frekans bandı, her ne kadar mikrodalgalı fırınlarda kullanılan band ise de, bu çeşit fırınların EM gücü Bluetooth'dan 1 milyon kat daha yüksek olduğundan, bunların birbiriyle karşılaştırılması doğru değil.

Bluetooth kulaklığının, yakınında bulunan cep telefonuyla iletişime geçebilmesi için 1 miliWatt (1mW) güç yetiyor. Bu 1 mW'lık düşük güç, cep telefonunun en çok 1 Watt'a ulaşabilen gücünün binde biri. Bluetooth kulaklığındaki EM vericinin, kulak yerine, giysiye tutturulan, modelleri de bulunuyor. Bunlardan biri kullanıldığında kulağa kısa bir kablo bağlantısı yapılıyor. Ancak bu durumda EM vericisinin ve kablunun bulunduğu vücut bölgesi (örneğin gırtlak ve kalp) etkilenebiliyor.

Kablolu Kulaklıklar

Cep telefonundan uzanan **bir kabloyla** kulağa tutturulan kulaklıklar, kablodan geçen akımın oluşturduğu EM dalgalarla vücuda etkili olabiliyorlar. 1 m kadar uzunluğundaki kablo boyunca yakındaki çeşitli noktalarda yapılan ölçümlerde, buralardaki elektriksel alan şiddetinin cep telefonu anteninden kaynaklanan alan şiddetine oranla, ortalama olarak % 25 düzeyinde olduğu saptanmış.



Şek.10.2: Kablolü kulaklıklara bir örnek

Kablolu Hava Borulu Kulaklıklar

Yurtdışında piyasaya yeni çıkan bu çeşit kulaklıklar, bir uçtan kulağa ince bir plastik hava borusuyla ulaşırken, diğer uçtan kabloyla cep telefonuna bağlanıyor. Böylelikle cep telefonundan, kulağa EM dalga değil, borudan geçen ses dalgası geldiğinden doğrudan kulak bölgesinde herhangi bir etki beklenmiyor. Ancak burada da yukarıda Bluetooth'la ilgili belirtildiği gibi EM vericinin ve alt bölümdeki kablunun bulunduğu vücudun başka bir bölgesi etkilenebiliyor.

Kulaklıklarla İlgili Bilimsel Çalışmalar

Cep telefonlarının doğrudan kulağa yapılandırılmasıyla, kablosuz Bluetooth ya da kablolu kulaklıklarla kullanılması durumları ayrı ayrı, 'insan başı modelleri (fantom)' üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar ve ayrıntılı ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar kulaklık kullanıldığında, cep telefonunun doğrudan kulağa yapılandırılmasına oranla:

1. Kulaklığın cinsine, telefonunun vücutta taşındığı yere ya da vücuttan uzakta bulunma durumuna ve telefonun elektriksel gücüne göre vücuda toplam etki değişiklik gösteriyor. Cep telefonu vücuttan uzaktaysa, vücuda etki önemli oranda (5-10 kat) azalıyor.

2. Kablolu kulaklıkların kulak bölgesinde oluşturabileceği doz (SAR: Specific Absorption Rate/Özgöl Soğurma Hızı), baş bölgesiyle ilgili sınır değer olan 2 Watt/kg'ın beşte birinden daha da az. Ancak en kötü durumda iç kulakta doz artabiliyor.
3. Kulaklık kablosu (bir anten gibi) çevresindeki EM alanların oluşturduğu elektriksel akımları, kulağa iletebildiğinden kablonun, kulağa olduğu yakın ucuna ,ferit zırh bileziği' geçirildiğinde vücuda etki azalıyor ve parazitler önleniyor (demiroksitli seramikli bir alaşım olan ferit maddesi EM dalgaları soğurarak kulağa iletilmesini engellediğinden).
4. Kablosuz Bluetooth kulaklıklardan 1 miliwatt düşük güçte olan modeli 10 metre uzaklığa kadar yayın yapabildiğinden konuşanın cep telefonuyla iletişimi için yeterlidir ve vücuda etkisi de diğerlerinden çok daha azdır. Bluetooth kulaklıklarıyla yapılan ölçümlerde SAR değerleri, sınır değerlerin çok altında kalmıştır.
5. Kablolu kulaklıklarda, kablonun cep telefonuna bağlanan bölümü cep telefonuna sarılmamalı (cep telefonunun içindeki antenin EM alanından oluşacak elektrik akımını, kablonun kulağa iletmemesi için) ya da dış antenli telefonlarda, kablo antenden olduğunca uzakta tutulmalı. Kablonun ayrıca kulak ve yüze yapıştirilmemesi vücuda etkiyi azaltacaktır.
6. Kablolu ya da kablosuz kulaklıklar kullanılırken cep telefonunun elde ya da pantolonun ön cebinde taşınması yerine pantolonun arka cebinde, telefonun ön yüzü vücuda bakacak şekilde, kapalı yerlerde ise yakındaki bir masa, koltuk üzerinde vücuttan olduğu uzakta bulundurulması vücuda etkiyi azaltacaktır (telefonun arka yüzü vücuda bakacak olursa, anten, telefonun arka yüzüne yakın olduğundan telefonun gücü artarak kullanıcıyı daha fazla etkileyeceğinden).
7. Kapalı yerlerde cep telefonuyla (kulaklıklılı, kulaklıksız) uzun konuşmaların sık sık yapılması gerekiyorsa, telefona, bina dışındaki bir antenin bağlanmasıyla vücuda etki azalacaktır. Böylelikle baz istasyonundan gelen sinyal kalın duvarları geçerken zayıflamadan telefona ulaşacak ve cep telefonunun düşük düzeydeki sinyali alabilmesi için gücünü artırıp vücudu daha çok etkilemesi önlenmiş olacaktır.
8. Özellikle baz istasyonu ile iletişimin sorunlu olduğu yerlerde, cep telefonu gücünü otomatik olarak arttıracığından, vücuda etki de artacağından bu durumda uzun konuşmalar yapılmamalı.

9. Cep telefonları için zırlama maddeleri kullanılmaması daha iyidir (zırlama sonucu azalacak sinyali alabilmek için cep telefonu elektriksel gücünü artırmak zorunda kalacağından vücuda etki artacağından).

Sonuçlar

Kulaklık kullanıldığında etki, cep telefonu ancak vücuttan oldukça uzaktaysa azalabilir (örneğin yarım metre kadar uzaktaysa ya da arka cebimizdeyse). Bu sağlanmadığında, vücuda olabilecek etki, iki kaynaktan gelen EM dalgaları, çok az da olsa, bir miktar artabilir.

Her ne kadar kulaklıklar vücuda olabilecek etkiyi önemli oranda azaltıyorlarsa da, bulunulan yere göre, gerek kulaklığın ve gerekse cep telefonunun çevredeki başka EM dalgaları da algılaması sonucu vücutta ısı ve ısı olmayan etkilerin artabileceği düşünülmelidir. Örneğin cep telefonları, otomobilin dış antenine bağlanmadan kullanılırsa vücuda etki artacaktır. Bu nedenle genel olarak otomobillerde, (trenlerde de) kulaklıklı, hopörlü cep telefonları dış antensiz kullanıldığında cep telefonu karoserinin 'Faraday Kafesi' zırlaması sonucu içeriye çok az girebilecek EM dalgaları alabilmek için elektriksel gücünü artırmak zorunda kalacak ve bunun sonucu olarak araçtaki cep telefonunun artan güçteki yayını hem konuşanı ve hem de doğrudan ve metal yüzeylerden yansımalar sonucu araçtakileri daha çok etkileyecektir.

Çok düşük düzeydeki EM dalgaların vücuda etkileri yapılan onbinlerce bilimsel çalışmaya karşın henüz kesinlikle ortaya konamadığından, çok zorunlu olmadıkça koruyucu bir önlem olarak (kablolu ya da kablosuz kulaklıklı) cep telefonlarıyla olduğunca kısa konuşulmalı, mesaj verilmeli, uzun konuşmalar ev ya da bürolardaki kablolu sabit telefonlardan yapılmalı.

Cep telefonlarıyla uzun konuşmalar zorunlu olduğunda, yukardaki açıklamaların gözönüne alınması yararlı olacaktır. Vücutları gelişmekte olduğundan EM dalgalarından daha çok etkilenebilecek bebeklerin ve küçük çocukların çok yakınında cep telefonlarıyla konuşulmamalı. Gebe ve çocuklar cep telefonlarını çok az kullanmalı.



Isıl ve Isıl Olmayan Etkilerin Ayrıntıları

EM dalgalar vücutta ısı ve ısı olmayan etkiler oluşturabiliyorlar.

Isıl etkiler, yüksek frekanslı EM dalgaların hücrelerdeki (su) molekülleri çok hızlı titreştirilerek (osilasyonla) sürtünmeyle, enerjilerini ortama aktararak, ortamın çok çabuk ısınması sonucu ortaya çıkıyor. Vücudun örneğin spor yaparken normal ısınması yavaş olurken EM dalgalar yoluyla ısınma son derece çabuk oluyor. Kulak ve beyin bölgesinde 'sıcak benekler' (hot spot) oluşabiliyor.

Isıl olmayan etkiler ise, daha ısı etki oluşmadan bazı moleküllerin yer değiştirerek moleküllerin ve hücrelerin yapısını ve normal işlevlerini bozması olarak açıklanıyor.

Cep telefonları kulaklıklarında olduğu gibi çok düşük düzeydeki elektromanyetik dozun vücuttaki ısı ve ısı olmayan, 'olumsuz veya olumlu etki olasılığı' çok düşüktür. Öte yandan 'ısı olmayan herhangi bir etki', bugüne kadar yapılan onbinlerce bilimsel çalışmaya rağmen kesinlikle ortaya konabilmiş değil.

Not: Bu konuyla yakından ilgili yukarı ve aşağı bölümlerdeki yazılara bk. Ayrıca: Sven Kuhn et. al. 'Bestimmung von SAR-Werten bei der Verwendung von Headsets für Mobilfunktelefone' Abschlussbericht StSch4526 Zurich, Juli 2008

Mobil İletişim Nasıl Sağlanıyor? Baz İstasyonları Çevrelerindeki Ölçümler ve İnsana Etkileri?

Bugün artık neredeyse herkes cep telefonu kullanıyor. Bilindiği gibi cep telefonlarının yanı sıra tablet, laptop gibi başka taşınabilir aletlerle de internet üzerinden tüm dünyayla iletişim kurulabiliyor, yazı, resim, video aktarımı gibi olanaklardan kablosuz da yararlanılıyor. Cep telefonlarının türleri ve kaliteleriyle ilgili ayrıntılı bilgiler edinilmesine karşın, pek az kişinin bunların ve taşınabilir başka aletlerin iletişimini sağlayan sistemlerin ve "baz istasyonları ağının" teknik yapısıyla ve çalışma sistemiyle ilgili bilgisi var. Bu nedenle, baz istasyonlarının kent dışına çıkarılması gibi teknik olarak yerine getirilemeyecek istekler, zaman zaman medyada yer alıyor.

Bu yazıda, mobil iletişimi sağlayan teknik sistemler, bunların çalışması, baz istasyonlarından ve cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların özellikleri, insana olabilecek etkileri, ilgi sınırı değerler, çevredeki ölçümler, konuya yabancı olanlar için basitleştirilerek ve bir miktar ayrıntıyla girilerek açıklanıyor.

Mobil İletişim

Radyo ve televizyon yayınları bir kule antenden, yüksek elektriksel güçte, genellikle 100 km'den daha büyük uzaklıkları kapsayacak şekilde yapılıyor.

Bilindiği gibi, bu çeşit yayınlar antenden dinleyici ya da izleyiciye doğru tek yönlü yapılıyor, karşılıklı değil. Cep telefonlarının birbirleriyle ya da sabit telefonlarla karşılıklı iletişimi ise baz istasyonlarının bulunduğu sistem ağı aracılığıyla yapıldığından, radyo ve televizyon yayınlarından çok farklı.

İki cep telefonu arasında iletişim nasıl sağlanıyor? Telefonlaşırken bu iki alet-hatta aynı yerde, yan yana dursalar bile-hiçbir zaman doğrudan iletişimde bulunmuyor. Aynı yörede oturan iki kişi arasındaki iletişim, cep telefonları antenleriyle o yöredeki baz istasyonları antenleri arasında gidip gelen elektromanyetik dalgalara modülasyonla yüklenmiş olan bilgilerin, bilgisayarlar aracılığıyla düzenlenip aktarılmasıyla sağlanıyor. Farklı bölge ya da ülkeler arasındaki iletişimde ise cep telefonundan baz istasyonuna aktarılan konuşma (ya da herhangi bir veri) kablo (ya da kablosuz verici antenlerden yayılan dalgalar) aracılığıyla alıcının bulunduğu bölgeye iletilip oradaki yakın bir baz istasyonundan alıcının telefonuna ya da başka bir alete (örneğin tablete, laptopa) ulaştırılıyor.

Baz istasyonları, evlerin çatısına ya da direklerin tepelerine takılan antenler ile bunların alt bölümlerine yerleştirilen, elektronik devrelerin bulunduğu kutulardan oluşuyor. Cep telefonlarıyla karşılıklı iletişim, ancak çok sayıda küçük hücrenin oluşturduğu bal peteği şeklindeki baz istasyonları ağı yardımıyla sağlanıyor. Her bir baz istasyonu, birkaç yüz metreyle onlarca kilometre arasında değişen çevresiyle iletişindedir ve kablolu ya da kablosuz olarak "baz istasyonları ağı"yla bağlantılıdır. Her bir hücrede ancak belirli sayıda kişinin aynı anda konuşabilmesi iletişime sınırlama getiriyor. Her bir baz istasyonu aynı anda 20 ile 90 arasında kişinin konuşmasını sağlayabiliyor, veri (resim) aktarımında ise bu sayı 2 ile 20 arasına iniyor.

Özellikle kent merkezlerindeki yoğun telefonlaşmalarda aynı anda çok sayıda kişinin cep telefonu ile iletişim kurabilme gereksinimi nedeniyle, her birkaç yüz metrede bir baz istasyonu kurulmasını gerektiriyor. Ayrıca cep telefonu aküsünün çabuk bitmemesi ve cep telefonunun yaydığı elektromanyetik dalgaların konuşanı olduğunca az etkilemesi amacıyla cep telefonlarının düşük elektriksel güçte çalışması ve buna rağmen baz istasyonu ile iletişimde olması gerekiyor. Bu ise ancak baz istasyonu yakınlardaysa sağlanabiliyor. Böylelikle baz istasyonu da çok daha düşük elektromanyetik güçte çalışarak cep telefonu ile iletişim kurabiliyor ve halkın baz istasyonlarından etkilenmesi son derece düşük düzeyde tutulabiliyor. Öte yandan, baz istasyonlarının sayısı arttıkça, aynı frekanslar çeşitli bölgelerde tekrar kullanılarak, zaten sınırlı olan frekanslar değerlendirilebiliyor.



Mobil İletişimi Sağlayan Sistemler

GSM: Mobil iletişim için küresel sistem (*Global System for Mobile Communications*)

(Avrupa Birliği'nde GSM frekans aralığı: 900-1800 MHz)

1990'lı yıllarda dünyada yayılmaya başlayan ve bugün de çok kullanılan GSM sistem standardı (2G: 2. Kuşak Teknolojisi) ilk dijital (sayısal) sistem ağıdır; ondan önceki A, B ve C analog sistem ağlarını (1G: 1. Kuşak) devre dışı bırakmıőtır. GSM sisteminde ulaşılabilecek uzaklık en çok 38 km kadardır. Bu sistemde 9,6 ile 14,4 kBit/s (kilobit/saniye) bant geniőliđinde veri aktarma hızlarına ulaőılabiliyor.

UMTS: Evrensel Mobil İletişim Sistemi (*Universal Mobile Telecommunications System*)

Cep telefonu kullanıcıőı konuşmanın yanı sıra veri alıp vermek, örneğin interneti kullanmak, müzik dinlemek, video izlemek, fotoğraf göndermek isteyebilir. Bugünkü modern iletişim çağında GSM'nin sunduğu 14,4 kBit/saniyelik veri aktarma hızı, dakikalarca beklendiği ve iletişimin fiyatını otomatik olarak belirlemede yetersiz kaldığından UMTS (3G: 3. Kuşak Teknolojisi) dođmuőtur. UMTS sistemiyle 384 kBit/s hızında veri aktarımı sağlanabiliyor. 2004'den beri kullanılan bu sistemde fiyatlandırma paket hâlinde yapılıyor. Modern cep telefonları her iki standartla da çalışabiliyor. İlgili bölgede GSM ya da UMTS sisteminin hangisi kurulu ise cep telefonu otomatik olarak o sisteme geçiyor. UMTS sisteminde hücreler çok daha küçük, örneğin binaların içinde bu uzaklıklar çok azalıyor. Bunun sonucunda baz istasyonlarının yayın güçleri de düşüyor (1 Watt'ın altına iniyor), insana etkisi de iyice azalıyor.

HSDPA: Yüksek Hızlı Veri Paketi İndirme Eriőimi (*High Speed Downlink Packet Access*)

UMTS'yi daha da hızlandırmak için gelişmeler sürüyor. **HSDPA**, UMTS'den daha hızlı. Bu sisteme 3,5 Kuşak Teknolojisi de (3,5G) deniyor. Almanya'da bu sistemi bazı sunucular 2006 yılında nüfusu 50.000'den fazla olan yerlerde kullanmaya başladı ve 7200 kBit/s (=7,2 MBit/saniye) hızına ulaőtılar.

Tüm dünyada bugün birçok ölkede iletişim ağları, genişletilmiş UMTS ya da HSDPA ile donanımlı olarak çalışıyor ve bunların sayıları gitgide artıyor. HSDPA'nın, orta sürede, 28,8 MBit/saniye hızına çıkarak DSL ile bağlantı kurması planlanmakta. Kuramsal olarak 50 MBit/saniye değerine ulaőılabiliyor, ki bu da çok yüksek hızlardaki VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line) internet düzeyi demek. UMTS/HSDPA, DSL'nin bulunmadığı yerlerde DSL'ye seçenek olarak kullanılabilir.

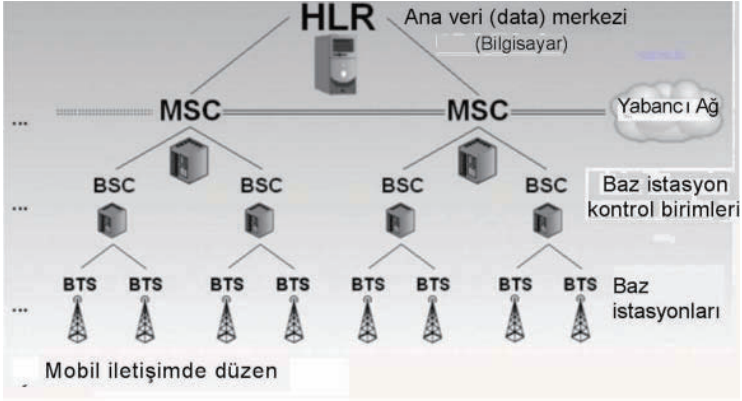
LTE: Uzun Dönemli Evrim (*Long Term Evolution*) Önümüzdeki yıllarda kurulacak bu 4G (4. Kuşak) ağıyla, alıőılagelmiş telefon prizi bağlantıları yavaş yavaş ortadan kalkacak ve bugün DSL'nin ulaştığı 16 MBit/saniye epey geride bırakılarak 300 MBit/saniyelik (downstream) hızlara ulaşılabilecek.

Cep Telefonlarıyla Baz İstasyonlarının İletişim Tekniği

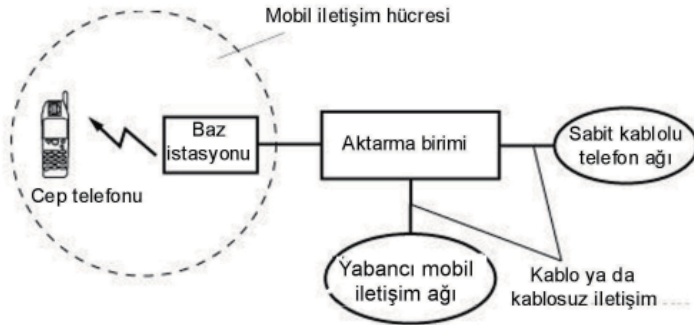
Cep telefonu kullanıldığı anda yakınındaki bir baz istasyonu (BTS: *Base Transceiver Station*) iletilişim kurmaya çalışıyor. Baz istasyonları, genellikle evlerin çatılarına ya da arazide direklerin tepelerine yerleştirilmiş küçük anten ve buna bağlı aletlerden oluşuyor. UMTS ağında buna B-düğüm noktası deniyor (UMTS: *Universal Mobile Telecommunications Service*). Baz istasyonlarından bir bölümü "Baz İstasyon Kontrol" (BSC: *Base Station Controller*) birimiyle bağlantılı. BSC, cep telefonunun çıktısını sistem ağındaki hücrelere aktarma işlevi görüyor. Örneğin otomobile giderken konuşmanın bir baz istasyonundan diğerine aktarılarak kesilmemesini bu BSC'ler sağlıyor. Baz istasyonları ve bunları kontrol eden birimler, mobil anahtarlama noktalarınca (MSC: *Mobil Switching Center*) yönetiliyor. Burada hangi müşterinin o anda "konuk" olarak MSC bölgesinde bulunduğuyula ilgili "konuk yeri veri kaydı" (VLR: *Visitor Location Register*) denilen bir veri tabanı yer alıyor. İşlem için gerekli ana verileri VLR, Ana Veri Merkezi'nden sağlıyor (HLR: *Home Location Register*) (Şekil 10.3 ve 10.4a,b)

Bir cep telefonu kullanılmadan belirli bir yerde durduğu sürece herhangi bir yayın yapmıyor-sadece arada bir (belirli saat aralıklarında, genellikle 1 ile 6 saat arasında) 1 saniye kadar süren kısa bir sinyal yollayarak baz istasyonuna yerini belli ediyor (Sürekli iletişimde olursa aküsü kısa sürede biteceğinden ve gereksiz yere EM radyasyon yayacağından). Cep telefonu, örneğin bir otomobilin içinde uzun bir yolda her yayın hücresinden geçip ayrıldığı anda kısa bir sinyalle yeni yerini haber veriyor. Cep telefonu sadece telefon konuşmaları, yazı resim gibi veri aktarımı sırasında ve yayın hücresini değiştirdiğinde yerini belirli aralıklarla belli ederken baz istasyonu iletilişim kuruyor. Modern iletişim sistemlerinde analog konuşma sinyali digital (sayısal) sinyallere (sıfırlara ve birlere) dönüştürüldüğünden, bunlar antenden doğrudan verilemiyor. Yüksek frekanslı sinyal, digital konuşma bilgisinin modülasyonla yüklendiği taşıyıcı olarak kullanılıyor. Aktarma sırasında kapasite kazanılması için GSM sisteminde konuşma sinyalleri sürekli olmayıp birbirlerini izleyen veri paketleri halindedir. Bu paketler her 4,6 milisaniyede bir (saniyede 217 kez yani 217 Hertz frekansla) baz istasyonuna aktarılıyor ve bu işlem 0,577 milisaniye sürüyor. Buna "pulsu sinyalleme" deniyor (Şekil 1 b). Telefon konuşması sırasında cep telefonu sürenin sekizde biri kadar yayın yaparken, arda kalan sekizde yedi sürede yayın yapmıyor. Baz istasyonu bu 7/8 süreyi kullanarak başka telefonlarla iletişimi sağlıyor. Bu nedenle bir baz istasyonunun yayını genellikle birçok cep telefonu ara vermeden baz istasyonu iletilişim kurduğu için-çok daha süreklidir (özellikle gündüzleri).

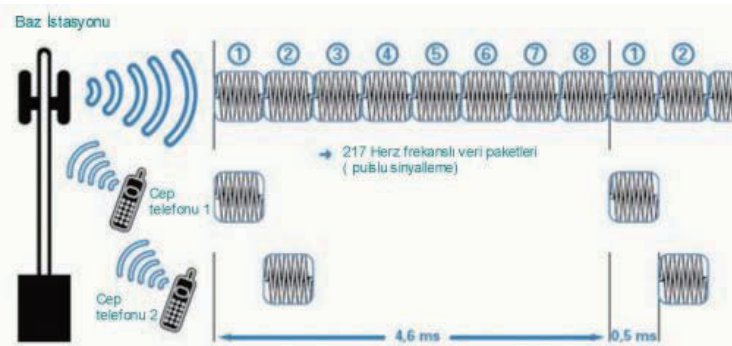
Cep telefonuyla baz istasyonu arasındaki iletişim iyi değilse (örneğin aradaki binalar engel oluşturuyorsa) hem baz istasyonunun hem de cep telefonunun daha yüksek güçte çalışması gerekebilir. GSM cep telefonları en çok 1-2 Watt güçte çalışabiliyor. Konuşmalarda ulaşılabilecek ortalama değer ise 125-250 miliWatt arasındadır.



Şekil 10.3: Mobil iletişimde düzen



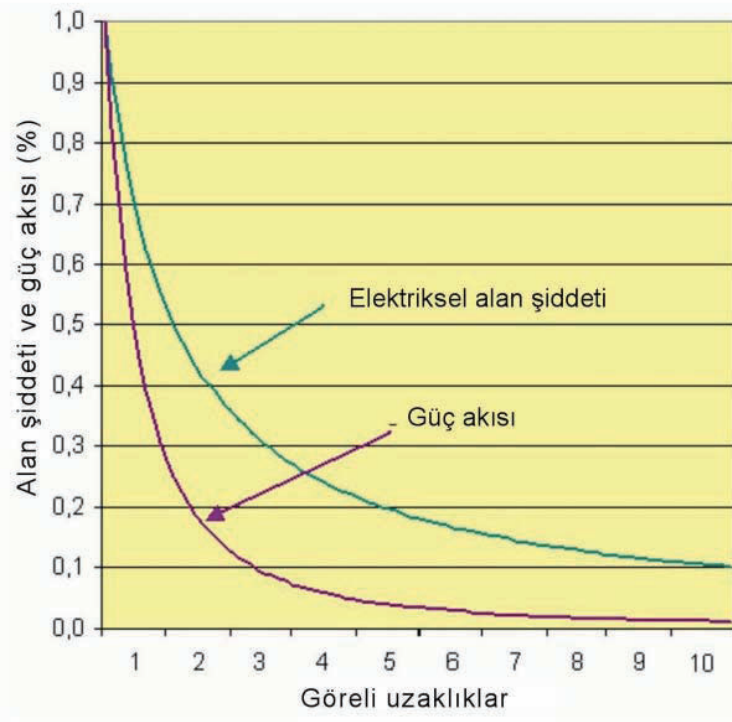
Şekil 10.4a Mobil iletişim (şematik)



Şekil 10.4b: Baz istasyonundan (veri paketleri olarak) yayılan dalgalar

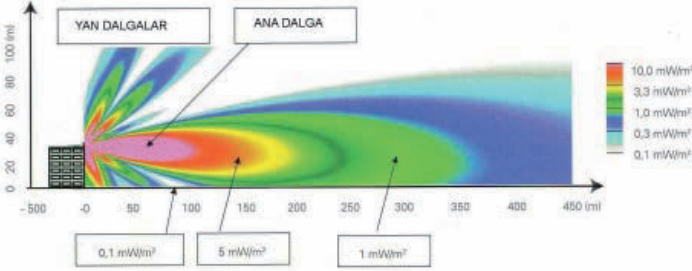
Baz İstasyonlarından Yayınlanan Elektromanyetik Dalga Demetlerinin Özellikleri

Bir baz istasyonu, bir deniz fenerinin yaydığı ışın demetine benzer şekilde, belirli doğrultularda yayın yaptığı için, EM dalgalar antenin dibine ve yanlarına ulaşamaz ve buralarda bir etki beklenemez. Yayın doğrultusunda, antenden uzaklaştıkça elektriksel alan şiddeti (Volt/m) uzaklıkla ters orantılı olarak azalırken, insan vücudunu etkilemede önemli olan elektriksel güç akısı (Watt/m²) uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalıyor (Şekil 10.5 ve 10.6).



Şekil 10.5 Elektriksel alan şiddeti ve güç akısının baz istasyonundan uzaklaştıkça keskin düşüşü

Bu nedenle elektromanyetik dalganın, yayılma doğrultusuna dikey duran bir yüzeye ya da insan vücuduna etkisi hem antenden uzaklaştıkça hem de yayın demetinden yanlara doğru açıldıkça büyük oranda azalıyor.



Şekil 10.6: Baz istasyonu anteninden ileriye ve yanlara doğru gidildikçe elektiksel gücün azalması

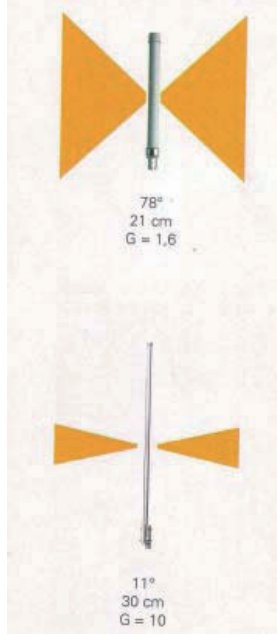
Bir baz istasyonu çevresinde herhangi bir noktadaki elektiksel güç akısı çeşitli değişkenlere bağlı. Bunlar antenin yayın gücü (Watt), elektromanyetik demetin şekli (dar ya da geniş olması, ki bu anten kazancıyla belirleniyor), antenden uzaklık, antenin bulunduğu yükseklik, anten ile kişi (ya da cep telefonu) arasındaki binalar, ağaçlar, tepeler gibi engeller, günün saati ve hava koşullarıdır. GSM 1800 ve UMTS 2000 baz istasyonları ağlarında yayın gücü genellikle her bir kanal için 40 Watt'tır. Antenle kişi ya da cep telefonu arasındaki binalar, beton duvarlar, tepeler ve evlerdeki metal katkılı camlar elektromanyetik dalgaları soğurup geriye yansıtıklarından bunların arkasında elektiksel güç akısı "bindebir"e bile inebilir ve cep telefonu ya çok daha fazla güçle çalışmak zorunda kalır ya da bağlantı kurulamaz.

Her baz istasyonunun günün tüm saatlerinde tam güçte çalışması gerekmediğinden gücün düşürüldüğü saatlerde (örneğin geceleri sadece gerektiğinde yayın yapılabilir) çevredeki etki de bu nedenle düşüyor.

Ulaşılması gereken uzaklığa göre dar ya da geniş yayın demeti oluşturacak antenler seçiliyor (Şekil 10.8a ve b). Bunların anten kazançları 1,6 ile 130 arasında olabilir. Baz istasyonu antenleri genellikle belirli doğrultudaki bir bölgeyi kapsayacak "sektör antenleri"dir, ancak her yönde yayın yapan antenler de olabilir. Sektör antenleri, elektromanyetik dalgaları bir projektör gibi yatay ve dikey doğrultularda, demetler hâlinde yayıyor. Bir anten direğine genellikle 120°lik açıyla 3 adet baz istasyonu takılarak o doğrultudaki bölgeler kapsanıyor (Şek.10.7). Böylelikle belirli bir yayın gücünde aynı anda konuşma sayısı 3 kat artarak 60 ile 90 arasına ulaşılabilir.



Şekil 10.7: Bir baz istasyonunun 120 derece açılarla, 3 bölgeye doğru yönlendirilmiş sektörel antenleri

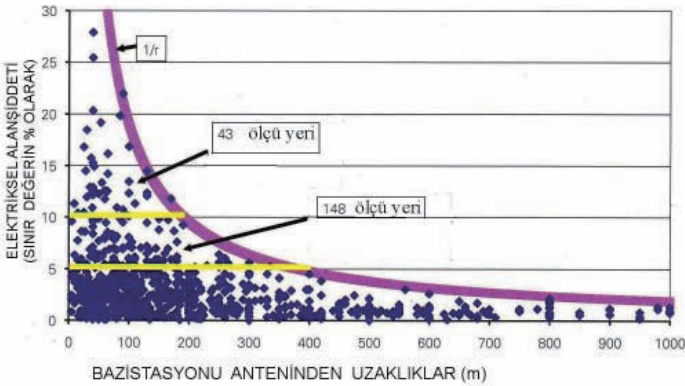


Şekil 10.8a,b : Geniş ve dar açılı dalga demetli antenlere örnekler (düşey kesitler, G: Anten kazancı ve cm olarak anten uzunlukları)

Çoğu zaman bazı baz istasyonlarının büyük antenlerinin çok ışın saçarak antenin tam altındaki yerleri daha çok etkilediği düşünülür. Bu, tümüyle yanlıştır. Örneğin bir binanın çatısındaki böyle bir anten deniz feneri gibi, belirli bir yönde ışın demeti biçiminde dalga yaydığından, antenin altında kalan bina katlarına ve yakın çevreye bu dalgalar ulaşmaz ve etkileri de Şekil 10.5 ve 10.6'da görüldüğü gibi önemsiz derecede azdır.

Almanya'da Baz İstasyonları Çevresinde Yapılan Ölçümler ve Değerlendirmeler

Kentlerde daha sık baz istasyonu bulunması, cep telefonumuzun yakınımdaki baz istasyonu ile daha düşük alan şiddetinde çalışmasını sağlayacak ve telefonumuzdan çok daha az etkilenmemizle sonuçlanacaktır. Bir baz istasyonunun (antenin) yaydığı elektromanyetik dalgaların 20-30 metre yakınında bile vücudumuzda oluşabilecek etki, bunların çevrelerinde yapılan alan şiddeti ve elektriksel güç akısı ölçümlerine göre, genellikle çok düşük. Almanya'da baz istasyonu çevresinde 865 noktada yapılan "elektriksel alan şiddeti" ölçümlerinde, baz istasyonundan 200 metre uzaklığa kadar, ölçümlerin büyük çoğunluğu sınır değerin % 10'undan da daha düşük değerlerle sonuçlanmıştır. Vücut için önemli olan "elektriksel güç akısı" ise sınır değerin sadece % 1'i dir (Şekil 10.9).



Şekil 10.9: Baz istasyonları çevresinde yapılan elektriksel alan şiddeti ölçüm sonuçlarının (sınır değerlerin yüzdeleri olarak) antenden uzaklaştıkça dağılımı (865 ölçüm değerinin sadece 43'ü elektriksel alan şiddeti sınır değerinin % 10'undan ve güç akısı sınır değerinin % 1'inden daha fazla)

ICNIRP rastgele seçilen 127 GSM baz istasyonu çevresinde yapılan elektriksel güç akısı ölçümlerinin, antenden 1 m uzaklıkta 0,02 Watt /m², 10 m uzaklıkta 0,003 Watt /m² ve 100 m uzaklıkta 0,000002 Watt /m² ortalama değerleriyle sonuçlandığını açıklıyor.

Almanya'da yetkili kurumlarca yapılan taramada, piyasadaki cep telefonlarının baş bölgesi için 0,1 ile 1,94 Watt/kg ve tüm vücut ışınlanması için 0,003 ile 1,87 W/kg arasında SAR değerleri gösterdiği ve telefonların % 30'unun baş bölgesiyle ilgili SAR değerlerinin 0,6 Watt/kg'dan daha küçük olduğu bulunmuştur.

Türkiye'de baz istasyonları çevresinde yapılan ölçümler Ulaştırma Bakanlığı Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından denetleniyor. BTK açıklamalarına göre baz istasyonlarının çevrelerinde yapılan ölçümlerde sınır değerler aşılmamış (11.03.2010 tarihli www.turknet.com açıklaması). Örneğin Ege bölgesindeki 11 ilde baz istasyonları yakınlarında yapılan ölçümlerde ortalama elektriksel alan şiddeti değeri 4,5 Volt/m (10 V/m'lik sınır değerinin çok altında).

Bursa Nilüfer Belediyesi'nin Sakarya Üniversitesi ile birlikte yürüttüğü araştırma projesi çerçevesinde gerek baz istasyonları gerekse yüksek gerilim hatları (YGH) ve trafoların yakınlarında yapılan ölçümlerde (2007) baz istasyonlarıyla ilgili sınır değerler aşılmazken, YGH yakınlarında ve altlarında 5000 V/m olan sınır değer birçok yerde iki kat kadar aşılmış. Halkın baz istasyonlarına karşı gösterdiği duyarlılıktan çok daha fazlasını yüksek gerilim hatlarına göstermesi gerektiği proje raporunda vurgulanıyor.

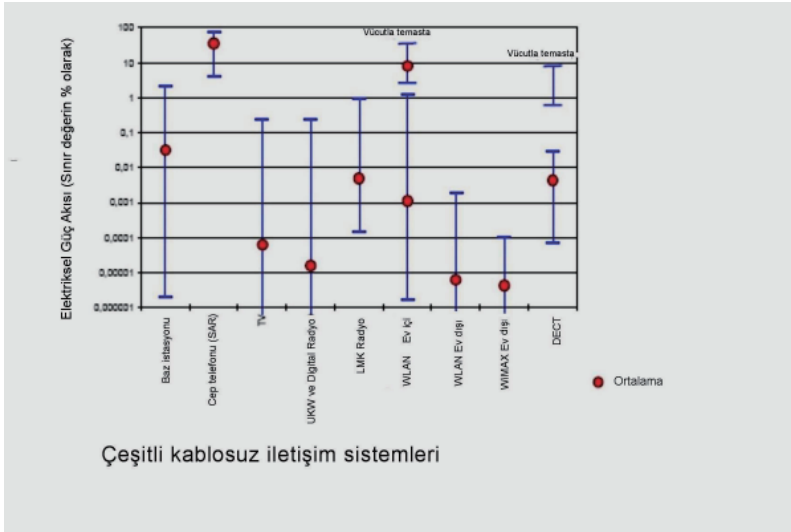
Vücuttaki Etkiler

Baz istasyonlarından yayınlanan yüksek frekanslı dalgaların enerjileri iyon çiftleri oluşturacak kadar yüksek olmadığından, bunlar vücutta "iyonlaştırıcı olmayan" etkilere neden olabiliyor. Bu güne kadar, bu çeşit etkilerin araştırıldığı 50.000 kadar bilimsel çalışma var. Tüm bu araştırmalar, laboratuvar da hücre kültürleri, hayvanlar ve modeller üzerinde yapılan deneylerden ve epidemiyolojik çalışmalardan oluşuyor.

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar (EM alanlar) vücutta hücrelerdeki elektriksel yüklere kuvvet uyguluyor. Ortaya çıkan elektriksel potansiyel farklarıyla oluşan elektriksel akımlar bazı yerlerde, örneğin hücre zarlarında reaksiyonlara neden olarak ısı olmayan etkiler doğurabiliyor. Bu çeşit etkiler 10 MHz'den daha düşük frekanslarda sinir hücreleri için etkili olabiliyor. 10 MHz-300 GHz bandındaki (UMTS) daha yüksek frekanslarda, elektromanyetik alanın çok hızlı değişmesi sonucu bu çeşit etkiler ortaya çıkamıyor. Elektromanyetik dalgaların elektriksel yüklere kuvvet uygulama-

sı, elektronlarda, atomlarda ve örneğin sudaki dipollerde daha hızlı dönme ve titreşimlere yol açıyor. Atomların ve moleküllerin hareket enerjileri sürtünmeyle azalır, ısı enerjisine dönüşüyor ve buldukları ortam (vücut dokuları) ısınır. Vücuttaki ısınma sonucu “ısı etkileri” görülebilir. Isınma, sadece frekansa, alan şiddetine ve etkilenme süresine değil, aynı zamanda vücut dokusunun elektriksel özelliklerine de bağlı. Frekans arttıkça dalganın vücuda girme derinliği azalıyor. UMTS’de bu derinlik 1 cm’den daha az. Isıl etkiler, vücutta sıcaklık artması sonucu ortaya çıkarken, ısıl olmayan etkilerin, elektromanyetik dalgalardan bir miktar enerji alan moleküllerin daha ilk hareketleri sırasında buldukları ortamla reaksiyona girmeleri şeklinde (henüz belirgin bir ısıl etki ortaya çıkmadan) gerçekleşebileceği düşünülüyor. Ancak ısıl olmayan bu çeşit olayların vücuda yapabileceği olumsuz etkilerle ilgili henüz bilimsel kanıtlar bulunmuyor.

Uluslararası ve ulusal yetkili kurumların belirledikleri sınır değerler ısıl etkilere dayanıyor. Bu konuda bugüne kadar bilimsel araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, sınır değerlerin altında kaldığı sürece, bunların yaydığı elektromanyetik dalgaların sağlığını olumsuz etkilemesi beklenmiyor.



Yukardaki Şekil 10.10’da, çeşitli kablosuz iletişim sistemlerinden yayılan elektromanyetik dalgaların çevrelerinde ölçülen elektriksel güç akısı değerleri (Watt/m²), sınır değerlerin yüzdesi olarak karşılaştırılıyor. Ölçümler, tüm sistemlerde sınır değerlerin aşılmadığını, baz istasyonları çevresindeki ölçüm sonuçlarının, cep telefonlarıyla ilgili olan değerlerin çok altında kaldığı görülüyor.

Sonuçlar

Yukardaki açıklamalardan ve şekillerden görüldüğü gibi, mobil iletişim ancak baz istasyonları, bal peteği şeklinde tasarlanmış alanları kapsayacak şekilde ve tüm yardımcı elektronik otomatik sistemlerle birlikte çalıştığında sağlanabiliyor. Bu nedenle baz istasyonlarının kent dışına taşınması ve kule antenlerle yayın yapılması olasılığı, bu sistemin bir bütün olarak çalışmaması ve aynı anda çok sayıda kişinin iletişim kuramamasıyla sonuçlanır. Kaldı ki kule antenlerin daha büyük elektriksel güçte çalışması sonucu hem çevredekiler elektromanyetik dalgalardan çok daha fazla etkilenecek ve hem de sadece çok dar bir bölge kapsanabileceğinden çok kimse 'telefonunun çekmediğinden!' yakınacaktır. Bu nedenlerle daha sık baz istasyonu bulunması, hem baz istasyonlarının ve hem de cep telefonlarımızın çok daha az elektriksel güçte çalışması sonucu, çevredekiler çok daha az etkilenecektir.

Bir baz istasyonunun yayın gücünün, cep telefonunkinden genellikle 100 ile 1000 kat daha yüksek olmasına karşın, baz istasyonundan 20-200 m uzaklıktaki etki (elektromanyetik güç akısı) hem uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak hem de aradaki binalar, ağaçlar gibi engellerle büyük ölçüde azalıyor. Kulağımıza dayadığımız cep telefonunun bize etkisi ise, ölçümlere göre, baz istasyonunun etkisinden en azından 1000 kat daha çok (çerçeve içindeki hesaplama bk.). Çünkü cep telefonu kulağa birkaç milimetre yakın, baz istasyonu ise konuştuğumuz yerden onlarca metre ya da birkaç km uzakta (bk. kaynaklar). Bu nedenle baz istasyonlarından kaygılananların, cep telefonlarını daha az kullanmaları kendilerini daha az etkileyecektir.

Kaynaklar:

- Elektromagnetische Felder im Alltag, LUBW, Juni, 2009 (Şekillerle ilgili kaynak)
- http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/Ireland_2007_EMF_report.pdf
- Moderne Mobilfunknetze, Fachhochschule Deggendorf, Prof.Dr.M.Wuschek, 2004
- und Bericht "Hochfreq-Immissionen durch funkbasierte Breitbanddienste", Band 2, Teil 2 (Şek.6 kaynak)
- Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz-300 GHz), ICNIRP 16/2009
- Bursa Nilüfer ilçesi elektromanyetik kirlilik raporu (Mart – 2010) Prof.Dr. Osman Çerezci Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği ve <http://cevre.nilufer.bel.tr/> ;

Almanya'da Baz İstasyonları Çevresindeki Ölçümlere Örnekler

Giriş

Almanya'da Baz İstasyonları çevresinde yaşayanların dile getirdikleri kaygıları gözönüne alan yetkililer, bağımsız ölçüm laboratuvarlarına, elektriksel alan şiddetleri ölçümleri yaptırmakta ve elde edilen sonuçlar, insan sağlığıyla ilgili sınır değerlerle karşılaştırılarak halkı bilgilendirmek amacıyla yayınlanmaktadır. Bu yazıda bunlardan iki örnek yer almaktadır.

Hazırladığımız bu yazının amacı, herhangi bir şekilde baz istasyonlarını savunmak olmayıp, bilim ve tekniğin bugün eriştiği düzeydeki yol ve yöntemlerin kullanıldığı, bağımsız bir laboratuvarın yaptığı ölçümlerin sonuçlarını nesnel (objektif) olarak Türkiye'ye yansıtmaktır. Bilim, bilindiği gibi gözlemlere (ölçümlere), karşılaştırma, değerlendirmelere dayanır ve elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliğini de sınar. Bazı 'Yeni Teknoloji Karşıtları'nın zaman zaman dile getirdikleri : **'Yeni teknolojilerin, ancak insana zararları olmadığı kanıtlandığında kullanılması gerektiği'** görüş ve isteklerine karşı şu söylenebilir : **'Bilim, herhangi bir teknolojinin insana zararı olabileceğini kanıtlayabilmesine karşılık, hiçbir zararı olmayacağını hiçbir zaman kanıtlayamaz'**. Bu nedenle yukardaki görüş ve isteğin, bilimsel dayanağı olmadığından, bunu bilimsel yol ve yöntemlerle karşılamaya da olanak yoktur.

Bu bakımdan, ölçüm sonuçlarının, bilimsel yöntemlerle belirlenmiş ve uluslararası bilimsel kurullarca kabul edilmiş **'sınır değerlerle'** karşılaştırılması **'bugün bilimin eriştiği düzeydeki tek seçene ve ölçüttür'** ve bu yolla, baz istasyonlarından yayılan radyasyonun insan vücudunda 'belirlenebilen olumsuz bir etki (hasar)' oluşturup oluşturmayacağı kestirilebilir. Bu cins radyasyonlarla ilgili olarak bugüne kadar bilimsel yollarla belirlenebilen en önemli etki olan 'ısı etkinin', örneğin yürümek ya da bisiklete binmek sonucu vücuttaki ısınmayla karşılaştırılması ve vücutta genellikle çok az olan sıcaklık artırımının, organların normal işlevleriyle giderilmesinin gözönüne alınması gibi. Cep Telefonları, Baz İstasyonları ve Sınır Değerlerle ilgili olarak daha ayrıntılı bilgiler için bu bölümdeki diğer yazılarımıza bakılabilir.

Örnek 1: Anten Çevresindeki Ölçümler

En çok 35 Watt'lık Verici Gücünde ve 900 MHz'lik frekans bandında çalışın 40 m yüksekliğindeki bir baz istasyonu anteni çevresinde yaşayan yöre halkının kaygılarını gözönüne alan ilgili kent yönetimi, bağımsız bir ölçüm laboratuvarını, bir dizi ölçüm yapmakla görevlendirmiştir. Antene 100 m ile 400 m uzaklıktaki 20 evde 40'dan çok ve çevredeki boş alanlarda da birkaç

ölüm yapılmıştır. Böylelikle yöre halkına, bilimsel yol ve yöntemlerle yapılan ölçümlerin sonuçları, ilgili uzman raporlarıyla sunulmuştur. Bu ölçümlerden çıkan ilginç sonuçlar aşağıdaki Çizelgede görülmüyor

Almanya'daki ilgili Yönetmeliğe göre (BimSchV) 900 MHz'lik frekans bandı için SINIR DEĞER: 41 Volt/m dir.

| ÖLÇÜ YERİ | ÖLÇÜLEN DEĞER (Volt/metre) (ELEKTRİKSEL ALAN ŞİDDETİ) | ÖLÇÜLEN DEĞER SINIR DEĞERİN YÜZDESİ OLARAK (%) |
|--|--|---|
| Antenden 100 m uzaklıktaki çayırdaki ölçülen değer | 0,23 | 0,56 |
| Boş alanda ölçülen en yüksek değer | 0,4 | 0,98 |
| Yatak odalarında ölçülen en yüksek değer | 0,1 | 0,24 |
| Yatak odalarındaki ölçülen en düşük değer | 0,001 | 0,0024 |
| Yatak odalarında ölçülen ortalama değer | 0,047 | 0,11 |

Çizelgeden görüldüğü gibi, baz istasyonu çevresindeki boş alanda ölçülen değerler, sınır değerinin % 1'den daha azdır. Yatak odalarındaki ortalama ölçüm değerleri ise sınır değerinin ancak binde biri kadardır.

Yukardaki değerler, benzer baz istasyonları için örnek olabilecek değerler olup, benzer özellikteki yerler için de yaklaşık olarak geçerlidir. Yapılan ölçümler, çok daha uzaktaki radyo ve TV vericilerinin, ölçüm yerinde, çok kez, benzer ve hatta daha yüksek değerler oluşturduğunu göstermiştir.

Baz istasyonları çevresindeki ölçümler 'frekans seçmeli' yöntemlerle yapılıyor. Yani spektrum analizatörü ya da ölçü alıcı aygıtıyla ve uygun bir ölçüm anteni yardımıyla, ölçülen noktada aranan elektromanyetik sinyallerin frekansı ve bunların alınma (erişim) düzeyi belirleniyor. Ölçüm anteninin kalibrasyon değerleri ve ölçüm kablosunun soğurması da gözönüne alınarak ölçüm yerindeki alan şiddeti hesaplanıyor.

Örnek 2: Çatılardaki Ölçümler

Baz istasyon antenleri, evlerin çatılarına yerleştirildiğinde, bu evlerde ve komşu yapılarda oturanlardan, elektromanyetik alanın şiddetiyle ilgili sorular çoğalmakta olduğundan buralarda yoğun ölçümler yapılmıştır. Aşağıdaki Çizelgede örnek olarak, ölçüm değerleri gösterilmiştir.

Almanya'daki ilgili Yönetmeliğe göre (BimSchV) 900 MHz'lik frekans bandı için (D İletişim Ağı) SINIR DEĞER : 41 Volt/m ; 1800 MHz'lik frekans bandı için (E İletişim Ağı) ise SINIR DEĞER : 58 Volt/m' dir.

| AYRINTILARIYLA DURUM (Antenler Çatıda) | ÖLÇÜLEN DEĞER (ELEKTRİKSEL ALAN ŞİDDETİ) Volt/m | ÖLÇÜM YERİ (sol yandaki değerlerin ölçüm yerleri, sırasıyla) |
|---|--|--|
| KÖYEVİ/AHIRLI (10 m yüksekliğinde), E ve D Ağında birer anten yerleştirilmiş | 0,43 | Evden 10 m uzaklıkta boş alanda |
| E Ağında bir antenli, tek ailelik bir ev | 0,25/0,048 | Çatı tabanında/Üst kat yatak odasında |
| E Ağında bir antenli, 7 katlı bir yapı | 0,027/0,048/0,013 | 7.kattaki yatak odasında/7.kattaki balkonda/Giriş katındaki Oturma odasında |
| D Ağında bir antenli Okul | 0,85/0,097/0,15/0,36 | Çatı katındaki bir sınıfta/ Üst kattaki bir sınıfta/Giriş katındaki bir sınıfta/Okul bahçesinde (=avluda) |
| E Ağında bir antenli, ahırlı köy evi | 0,061 | Ahırının içinde |

Sonuç:

Görüldüğü gibi tüm ölçüm değerleri sınır değerlerin çok altındadır. **Prof. Dr.Wuschek**'in, son 5 yılda yaptığı 2000 'den çok ölçümden, bugüne kadar oturma odalarında ölçülen en büyük 10 değer 5 Volt/m' nin biraz üzerindedir (Antenin en yüksek gücündeki değer : 8 Volt/m). Ancak bu ölçümlerin yapıldığı yerlerdeki baz istasyonunun (antenin) konumu çok elverişsizdi: Anten oturma odasının çok yakınındaydı ve hemen hemen aynı yükseklikteydi. Bu nedenle, sınır değerin % 10-% 15'i kadar olan bu ölçü değerleri 'kural ya da normal uygulama dışı' olarak görülmelidir. Buna rağmen bu değerler, 'sınır değerin' çok altındadır.

Türkiye'de de yapıldığını düşündüğümüz benzer ölçümlerin, gazete ve dergilerde yayınlanması, halkın çok duyarlı olduğu bu konuda bilgilendirilmesine katkıda bulunacaktır.

Not: Bu yazı, Prof. Dr.Wuschek'in izniyle, kendisinin çalışmalarını içeren aşağıdaki başlıklı yazısından yararlanılarak, *Cumhuriyet Bilim Teknik dergisinde* 19.07.2003 günü yayımlanmıştır: 'Elektromagnetische Felder in der Umgebung von Mobil-funksendeanlagen und Handys, Prof.Dr.-Ing.Matthias Wuschek, Fachhochschule Deggendorf-www.tecchannel.de "

Cep Telefon Kullanımı Beyinde Tümör Oluşturuyor mu? 1997'den beri Süregelen Uluslararası 'İnterfon' Araştırması ve Ara Sonuçları

İnterfon araştırması, cep telefon kullanımı sonucu 'baş bölgesinde' tümör oluşum riskini belirleyebilmek amacıyla 1997'den beri 13 ülkedeki 100 kadar araştırmacının 14.000 kişi üzerinde yapmakta oldukları çok kapsamlı karşılaştırmalı bilimsel bir çalışmadır. 7 milyon avro bütçeli bu araştırmanın parasının yarısı ilgili devletlerce, diğer yarısı da cep telefon sistemleri şirketlerince karşılanmakta olup, şirketlerin gerek projelerin hazırlanmasında ve gerekse sonuçların değerlendirilmesinde bir katkıları ve söz hakları yok. **Bu kapsamlı araştırmaya katkıda bulunan ülkeler: Avustralya, Danimarka, Almanya, Finlandiya, Fransa, İngiltere, İsrail, İtalya, Japonya, Kanada, Yeni Zelanda, Norveç ve İsveç.**

Bu çalışmada, 4 çeşit farklı tümör seçilerek bunlardan birinin bulunduğu toplam 6.500 kadar hasta, bir o kadar da hastalısız kişiyle (kontrol grubuyla) karşılaştırılıyor. **Bu 4 tümör: (1) Beyin derisi tümörü, (2) Beyin dokusu tümörü, (3) İşitme siniri tümörü, (4) Kulak salgı dokusu tümörü.**Gerek hastaların gerekse kontrol grubundakilerin, özel ve iş konuşmaları sonucu, hem cep telefonlarını yoğun kullanmış olabilecekleri ve hem de bunlardan uzun süreyi kapsayan verilerin (data) elde edilebileceği düşünülüyor, her iki grupta da benzer cinsiyetten, 30 ile 60 yaş arasındakiler seçiliyor. Araştırmada amaç, tümürlü hastaların, kontrol grubundaki sağlam kişilerle karşılaştırıldığında cep telefonlarını daha çok kullanıp kullanmadıklarının ortaya çıkarılarak, bu bulgulara bağlı olarak tümör riskinin belirlenebilmesi. İnterfon çalışmasında bugüne kadar ilgili ülkelerden bazı sonuçlar açıklanmış olmasına karşın, tüm ülkelerden elde edilen verilerin harmanlandığı analiz ve değerlendirmeler henüz açıklanmamıştır.**Ara sonuçlar özetle**

Cep Telefonlarının

Cep telefonlarının 10 yıldan daha az kullanımı sonucunda tümör artımı belirlenememiş. 10 yıldan daha çok zamanı kapsayan uzun süreli kullanımda, işitme siniri ve beyin dokusu tümör riski artımıyla ilgili bazı bulgular varsa da, veri azlığı (uzun süre cep telefonu kullanan tümürlü kişilerin sayılarının az olması) nedeniyle sonuçlar istatistiksel olarak belirgin değil. Bu nedenle tüm ülkelerden gelen verilerin hep birlikte değerlendirilmesiyle yapılacak analizlerin ve alınacak sonuçların beklenmesi gerekiyor.

İnterfon bilimsel çalışmasının Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu'nca (BfS) değerlendirilmesi de yukardaki ara sonuçları doğruluyor (Temmuz 2008'e kadar açıklanan İnterfon raporlarına göre). Böylece İnterfon

araştırmasının **ara sonuçları**, tümör riskinin yüksek olduğunu ileri süren daha nceki İsveç araştırma grubunun çalışmasını (Hardell) desteklemiyor (Bk. Kaynaklar).

Kaynaklar:

- Dünya Sağlık rgt'ne (WHO) bağlı Uluslararası Kanser Araştırmaları (www.iarc.fr) raporları
- Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu değerlendirmesi (www.bfs.de)
- Interphone Study (www.iarc.fr/en/research-groups/RAD/RCAd.html),
- Kommentar zur Interphone-Studie, Forschungsstiftung Mobilkommunikation Zürich (Januar 2009)
- Cep telefon kullanımı beyinde tümör oluşturuyor mu? Cumhuriyet Bilim Teknik, Atakan, Y. 22.01.2010
- Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: A case-control study. **Hardell** L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild K, Int. J. Oncol. 1999 Jul.15(1): 113-6.



şek.10.11 Cep telefonlarıyla sık ve uzun süre konuşulduğunda elektromanyetik dalgalar kulak ve beyin bölgesini etkileyebilir

'Baz İstasyonları Tehlikeli mi ?'

Düşük Işınlanma Dozunun Sağlığımıza Etkileriyle İlgili Bilimsel Belirsizlik

Zaman zaman '-baz istasyonları kent dışına çıkarılsın' söylemine karşın, bu istasyonları işletenlerin: '-çıkarılırsa cep telefonlarınızı kullanamazsınız' yanıtı TV'lerde tartışılıyor. Yazının sonunda söyleyeceğimizi başında söylersek: Baz istasyonlarının kent dışına çıkarılmasıyla, uzaklık iyice artaca-

ğından ya kentteki birçok cep telefonu ile iletişim sağlanamayacak ya da bazı noktalarda sınırlı bir iletişim kurulsa bile hem baz istasyonunun ve hem de cep telefonumuzun elektriksel alan şiddetinin artması gerekeceğinden, EM dalgalarla daha çok ışınlanmamıza yol açılarak sağlığımız daha çok etkilenecektir. Bu nedenle kentlerde daha sık baz istasyonu bulunması, cep telefonumuzun yakınımızdaki baz istasyonu ile daha düşük alan şiddetinde çalışmasını sağlayacak ve telefonumuzdan çok daha az radyasyon dozu almamızla sonuçlanacaktır. Baz istasyonunun yaydığı elektromanyetik dalgaların 20-30 metre uzaklıkta bile vücudumuza etkisi ise, bunların çevrelerinde yapılan ölçümlere göre, ilgili sınır değerlerin çok altındadır ya da önemsiz derece azdır.

Öte yandan Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) – 'bugüne kadar edinilen bulgular ışığında baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların kısa ve uzun dönemli insan sağlığı sorunu oluşturduğu belirlenmemiştir' açıklamasına karşın, kendilerini 'bağımsız araştırmacılar' olarak tanıtanların internette ve medyadaki açıklama ve tartışmaları bilindiği gibi sürüyor. Konuya yabancı olan halk ise kime inanacağını bilemiyor.^{1,2}

Bilindiği gibi, bilimde sürekli artan araştırma sonuçlarının ya da 'bulguların' geçerliği, bilimsel olarak tutarlı ilgili verilerle (datalar) her bir araştırmada uygulanan bilimsel yol ve yöntemin yanı sıra, araştırma süresi ve kapsamının da göz önüne alınıp bunların yetkili uluslararası kurullarda uzmanlarca incelendikten, benzerleriyle karşılaştırıldıktan ve sinandıktan sonra ortaya çıkıyor. Baz istasyonları konusunda da gerek WHO'nun, gerekse bununla ilgili saygın uluslararası üst kurul olan 'İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Kurulu'nun (ICNIRP) raporlarında '**bilimsel değeri olan tüm araştırmalar** dikkate alınıyor.'³ Bilimsel yol ve yöntem yanlışları olanlar ayıklanıyor.

Düşük dozlardaki EM dalgaların, insana olabilecek etkilerinin belirlenmesi kolayca ve kısa sürede bilimsel olarak kanıtlanamıyor. Burada, vücutta çok daha yüksek dozlar oluşturan iyonlaştırıcı doğal radyasyonun etkisini de göz ardı etmemek gerekir (Evlerdeki doğal radon gazı gibi). İyonlaştırıcı olsun ya da olmasın, eğer varsa ortaya çıkan etkinin nereden kaynaklandığı (sağlığımıza etkinin elektromanyetik dalgalardan mı, radyoaktiviteden mi yoksa kimyasal ya da başka maddelerden mi geldiği) kesin olarak ayırtılamıyor ya da saptanamıyor.

¹ http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/Ireland_2007_EMF_report.pdf

² <http://www.mast-victimSorg/>

³ Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz), ICNIRP 16/2009

Bu nedenle uluslararası üst bilim kurullarının 'bugüne dek elde edilen bulgular'a dayanarak yüzlerce sayfalık araştırma raporlarında yer alan değerlendirme sonuçlarını, bugün bilimin eriştiği düzey' olarak kabul etmekten başka seçeneğimiz bulunmuyor. Baz istasyonları (antenleri) çevresinde yapılan ölçümler, bunlardan 20 metre uzaklıkta bile elektromanyetik alan şiddetinin büyük ölçüde düştüğünü gösteriyor (Elektriksel güç akısı yoğunluğu kabaca uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalıyor). Baz istasyonlarının 20-30 metre uzağında bunların vücuda etkisi, uzun süre konuşulan cep telefonlarının olumsuz etkisinden genellikle çok daha az.

Baz istasyonların çevresinde yapılan, bazı araştırmalarda kanserli hasta sayısının arttığıyla ilgili istatistik sonuçların ise önce yukarda belirtilen ilgili bilimsel kurullarca incelenip bilimsel yöntem yanlışları olup olmadığının saptanması ve sonuçların geçerliğinin, ancak kapsamlı benzer bilimsel çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmesi gerekiyor. Eğer gerçekten de baz istasyonlarının birkaç yüz metre çevresinde kanserli sayısı, karşıtların genellikle ileri sürdükleri gibi artıyorsa, bugün kentleri pıtrak gibi saran baz istasyonlarının kanserli sayısını neden aşırı ölçüde artırmadığı sorulabilir. Aslında çok sayıda (ya da daha sık) baz istasyonu, telefon ederken baz istasyonu ile aramızdaki uzaklığı kısaltacağından, cep telefonumuzdan yayınlanan dalgaların oluşturduğu elektromanyetik alan şiddetinin düşük olmasıyla sonuçlanacak ve bu da bizim, cep telefonumuzdan, daha az ışınlanmamızı sağlayacaktır.

Almanya'da başının ağrımaya, geceleri uyuyamamasına yakınındaki evin çatısındaki baz istasyonunun neden olduğunu ve bunun sökülmesi gerektiğini ileri süren bir kişi, açtığı davayı kaybetmiştir. Yapılan incelemede 'ilgili baz istasyonunun henüz işletmeye açılmadığı (henüz yayına başlamadığı) sadece antenin dikildiği belirlenmiştir.

Bugün literatürde cep telefonlarının ve baz istasyonlarının insana olumsuz etkileriyle ilgili bulguların ortaya konulduğunu ileri süren her bir araştırmaya karşın, bu çeşit bulguların bulunmadığını ileri süren en azından 2-3 kat daha çok bilimsel araştırma bulunuyor. Bu çok yönlü ve kapsamlı araştırmaların değerlendirilebilmesinin ancak ilgili bilim otoritelerince yapılacağı açıktır. Örneğin interfon araştırması 1997'den beri 13 ülkede 14.000 kişi üzerinde yapılmakta ve henüz ilgili uzmanların üzerinde uzlaştığı bir sonuç raporu yayımlanamamıştır.

Sonuç: Yukardaki nedenlerle karşıtı kanıtlanmadıkça, ilgili üst kurulların bilimsel raporlarında yer alan ve belirli aralıklarla güncellenen bugünkü bilimsel değerlendirmelere, bazı araştırmacıların yaptığı tekil araştırmalardan daha çok güvenilmeli ve radyo frekanslı (RF) EM dalgaların sağlığa etkilerinin kolayca ve kısa sürede (birkaç yıllık kapsamı dar araştırmalarla) ortaya

konulamayacağına işin doğasında olduğu görülmelidir. Hatta hücrelerde çok daha etkin iyonlaştırıcı radyasyonun, çok daha büyük dozlarda, insana etkileriyle ilgili son 60 yıldır Japonya’da atılan atom bombalarından sağ kalan 100 000’ e varan kişi üzerinde süregelen epidemiyolojik çalışmalar bile kan kanseri dışındaki etkileri kanıtlamaktan uzaktır.

Elektromanyetik Dalgaları Tutan Perde İşe Yarar mı?

Cumhuriyet BT’nin 18.06.2010 günlü 1213 Nolu sayısında yayımlanan ‘Elektromanyetik dalgaları tutan perde’ başlıklı bir yazıda, *“geliştirilen özel bir perdenin, baz istasyonları, kablosuz internet modemi, telsiz ve cep telefonu gibi elektronik aletlerin yaydığı elektromanyetik dalgaları büyük ölçüde emerek, zararsız hâle getirdiği açıklanıyor. Sağlığa zararı olduğu bilinen elektromanyetik dalgaları engellediği TÜBİTAK tarafından onaylandığı belirtilen perdenin üretimine Bursa’da başlandı. Ürünün dokumasında elektriksel iletkenliği olan özel iplikler var’ deniyor.*

Pencerelere takılabilen bu çeşit metal lifli bir perde, örneğin baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik dalgaları o pencerede önemli ölçüde tutsa da, bu ‘çok dar kapsamlı yerel perdeleme’nin, hem eve çeşitli yönlerden ve yerlerden giren dalgaların toplam etkisi yanında sınırlı kalması (ki toplam etki de zaten çok düşüktür) ve hem de insanların tüm zamanlarını o pencere arkasında geçirmemeleri nedeniyle, vücuda etkinin azaltılmasına önemli bir katkıda bulunacağı beklenemez.

Baz istasyonları çevresinde yapılmış çok sayıdaki ölçümlere göre, bu dalgaların oluşturduğu etki (elektromanyetik güç yoğunlukları) uluslararası standartlara göre belirlenmiş olan sınır değerlerin genellikle yüzde 5’inden de azdır. Yazıda: *“Bu perde takıldığı zaman, elektromanyetik dalgalar, yaşam alanımızda cep telefonu ile normal görüşme yapabilecek düzeyde zayıflatılmış olacak”,* deniyor. Bu anlatım yanıltıcı: Çünkü kulağa dayadığımız cep telefonunun bize etkisi, ölçümlere göre, baz istasyonunun etkisinden en azından 1000 kat daha çok. Çünkü cep telefonu kulağa birkaç milimetre yakın, baz istasyonu ise konuştuğumuz yerden onlarca metre ya da birkaç km uzakta.

Bir baz istasyonunun yayın gücü, cep telefonunkinden genellikle 100 ile 1000 kat daha yüksek olmasına karşın, baz istasyonundan 20-30 m uzaklıkta bile etki büyük ölçüde azalıyor. Oysa perdeyle zırlı pencere arkasında yapılan bir cep telefonu konuşmasında, dalgaların oraya çok daha az girebilmesi sonucu, cep telefonu, baz istasyonu ile iletişim kurmakta zorlanacağından daha büyük güçte çalışacak ve vücudumuz elektromanyetik dalgalardan daha çok etkilenecektir (Perde olmadan da baz istasyonundan vücudumuza etki çok az, ancak cep telefonumuzun çalışabilmesi için sinyal yeterli).

Bu nedenle 'yağmurdan kaçarken doluya tutulmamak' için bu çeşit perdeli bir odada cep telefonu kullanılmaması, telefonun kapatılması doğru olur ve bunu perdeyi kullananlara söylemek gerekir. Ayrıca ilgili yazıda: '*...ürünü kullanacak kişinin evi baz istasyonu yakınında bulunuyorsa, bu perdeyi taktığı zaman pencereden içeri giren elektromanyetik radyasyonu bin misli azaltır. Bin misli azaltmanın manası şudur; 30 metre yakınıımızda bulunan bir baz istasyonunu pencereden giren radyasyon bakımından yaklaşık 1 kilometreye taşımış gibi oluyoruz*' deniyor.

Hesapla doğru görünen bu yaklaşımın pratikte anlamı; zaten son derece düşük olan etkiyi (yani elektromanyetik güç yoğunluğunu) perdeyle daha da azaltmaya çalışmaktır. Elektromanyetik alan şiddeti baz istasyonundan uzaklaştıkça, uzaklıkla ters orantılı olarak azalırken vücudu etkileyen enerji aktarımı için önemli olan 'elektromanyetik güç yoğunluğu' bu uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azaldığından, baz istasyonuna yakın yerlerde de etki son derece azdır. (5-10 mW/m²) Başka konularda olduğu gibi, radyasyon fiziğinde de, 'mümkün olduğunca azaltmak' yerine, 'mantıklı ise azaltmak' (as low as reasonable) yaklaşımı geçerli olduğundan, çok çok düşük elektromanyetik güç yoğunluğunu daha da fazla azaltmanın bir önemi olmayacağı açıktır.

Bugün örneğin Almanya'da da elektromanyetik dalgaların etkisini azaltmak amacıyla bu çeşit metal lifli perdelerin yanı sıra, metal lifli yatak, yorganlar ile elektromanyetik dalgalara karşı zırhlayıcı duvar ve çatı malzemeleri, metal katkılı çift pencereci camlar satılıyor. Bu çeşit malzemelerin ayrı ayrı zırhlama sağlamalarına karşın, bugün modern yaşam sonucu çeşitli yerlerde (evlerde, işyerlerinde, açık havada, spor tesislerinde, araba ve uçaklarda) isteyerek (cep telefonları, evlerde: radyo, TV, WLAN) ya da istemeyerek (bunların antenleri, yüksek gerilim hatları, trafolar) hedef olduğumuz elektromanyetik dalgalardan vücudumuzun etkilenmesi bütünüyle gözönüne alındığında, evde bir iki pencereye takılacak perdenin vücuda olabilecek tüm etkiyi azaltmadaki katkısının önemsiz ölçüde az olacağı anlaşılır.

Kaldı ki tüm bunların vücuda toplam etkisi genellikle standartlarla belirlenen sınır değerlerin çok altındadır (Sınır değerlerle ilgili bu bölümdeki yazıya bk.). Sınır değerlerin altında kalındığı sürece sağlığımızın olumsuz yönde etkilendiğiyle ilgili bilimsel olarak sınılanmış, kanıtlanmış bulgular bugüne kadar, onlarca yıldır yapılmakta olan çok kapsamlı yoğun bilimsel araştırmalara rağmen elde edilememiştir (Aşağıdaki kaynaklara bk.).

Öte yandan sadece yapay kaynaklardan değil, kendi vücudumuzdan ve yeryüzünden yayılan (ısı dalgaları/kızıl ötesi ışınları ya da '**doğal elektromanyetik dalgalarla**') ve güneş ışığının bileşiminde bulunan mor ötesi ışınların yanı sıra **uzaydan gelen kozmik** ışınlarla da iç içe yaşamakta olduğumuz da unutulmamalıdır.

Kaynaklar:

ICNIRP 16/2009 Raporu;

Baz istasyonlarıyla ilgili internet sayfalarından alıntılar... Yanlışlar ve doğrular, Cumhuriyet BT, 18.06.2010 Y.Atakan;

Çatılardaki Baz İstasyonları Çatı Altında Oturanların Sağlığını Etkiliyor mu?

Çatılarında baz istasyonları bulunan yüksek binaların özellikle en üst katlarında oturanlar zaman zaman baş ağrısından, uykusuzluktan, kansere kadar çeşitli hastalıkların nedenini, baz istasyonuna bağlayıp, kaygılanıyorlar. Bazıları bunların sökülmesi için ilgili kurumlara ve hatta yargıya başvurup dava açıyor, apartıman yöneticileriyle tartışıyor. Başka bir eve taşınmaya kalkanlar da var. Bunlarla ilgili çeşitli haber ve yorumlar TV'lerde, gazete ve internet sayfalarında yoğun olarak yer alıyor (Örneğin: 'Çatıdaki düşman: Baz istasyonu' http://www.iyibilgi.com/haber.php?haber_id=81585%20). Bu yazıda bu konuda bugünkü bilimsel düzeye göre ulaşılan sonuçları, konuya yabancı olanların bilgi edinebilecekleri şekilde oldukça basite indirgeyip açıklamaya çalışacağız.



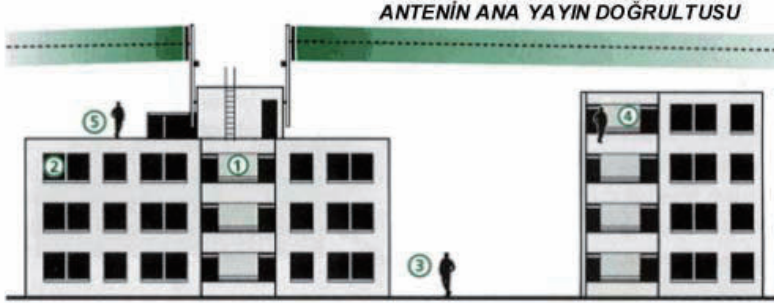
Şek.10.12 ve 10.13: Çatılardaki baz istasyonlarına örnekler

Baz İstasyonu Elektromanyetik Dalgaları Nasıl Yayıyor ve Nereleri, Ne Ölçüde Etkiliyor?

Çatıdaki baz istasyonu, bir gemi projektörünün ışın demeti yayarak gittiği doğrultuyu gece aydınlatması gibi, belirli doğrultularda elektromanyetik dalgalar yayıyor. Açık denizde gece ilerlerken önünü aydınlatan gemi projektörünün dibine ve arkasına ışık saçmaması ve yanlarda da etkisinin gitgide azalması gibi, yayını elektronik olarak yönlendirilmiş (direksiyonel) bir baz istasyonu antenin de dibine, yan ve arka bölümlerine elektromanyetik dalgalar pek az ulaşabildiğinden buralarda uzun süre de kalınsa etki yok denecek kadar azalıyor (antene yakın az kapsamlı birkaç yan demet ve yansımalar dışında).

Yayın doğrultusunda, antenden uzaklaştıkça elektriksel alan şiddeti (Volt/m) uzaklıkla ters orantılı olarak azalırken, insan vücudunu etkilemede önemli olan elektriksel güç akısı (Watt/m²) uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalıyor. Örneğın 10 metre uzaklıkta elektriksel alan şiddeti 1 metre uzaklığa göre kabaca onda bire düşerken, elektriksel güç akısı ise yüzde bire iniyor). Çatısında baz istasyonları bulunan binalar birbirine çok yakınsa, bunlardan birinin diğeri üst katındakileri etkileme olasılığı (az olmakla birlikte), kendi bulunduğu binadakinin üst katındakileri etkileme olasılığından genellikle daha yüksektir. Bu nedenle baz istasyonları konuşlandırılırken yakınındaki binalarda ve okul bahçeleri, parklar gibi sık bulunulan yerlerde ilgili sınır değerlerinin altında kalınması gerekir. Öte yandan bir baz istasyonu çevresinde herhangi bir noktadaki elektriksel güç akısının büyüklüğü çeşitli değişkenlere bağlı. Örneğın beton tavan ve duvarlar, hatta metal katkılı çift camlı pencereler bu frekanslardaki elektromanyetik dalgaları önemli ölçüde azaltıyor. Bu nedenlerle çatı altındaki katta, çatıdaki baz istasyonundan kaynaklanan elektromanyetik dalgaların etkisi genel olarak çok azdır. **Şekil 10.13** ve çizelge bunlarla ilgili ayrıntıları gösteriyor.

Çatıdaki baz istasyonlarının tam altındaki 1 numaralı gösterilen katta, elektriksel güç akısının diğeri ölçüm yerlerine göre en az değerde olduğu görülüyor (sınır değerın sadece % 0,001 kadar). Diğeri ölçüm yerlerinde saçılma ve yansımalarla değerlerin arttığı görülmele birlikte, komşu binadaki çatı altındaki katta, ölçüm değerı baz istasyonunun bulunduğu binadakin-den çok daha fazladır. Bina dışındaki 5 ve 3 numaralı yerlerde ölçüm değerleri daha yüksektir, ancak buralarda insanların kalma süreleri genellikle çok daha kısa olduğundan vücuda etki de daha az olacaktır. Buna rağmen çatıdaki 5 numaralı yerdeki en yüksek değer, sınır değerın binde biridir (% 0,1).



Şek.10.14: Çok katlı evlerin çatısındaki baz istasyon (antenleri) yayınlarından çatının altındaki kat en az etkileniyor (Aşağıdaki çizelgeye bkz)

Çizelge:

| Şekildeki Ölçüm yeri no. | Elektriksel Güç Akısı (W/m ²) | Sınır değerın yüzdesi olarak Güç Akısı (%) Sınır değer: 9,2 W/m ² (1800 MHz için) |
|--------------------------|--|---|
| 1 | 0,0001 | 0,001 |
| 2 | 0,0005 | 0,005 |
| 3 | 0,001 | 0,01 |
| 4 | 0,005 | 0,05 |
| 5 | 0,01 | 0,1 |

Çizelge: Çatıdaki baz istasyonundan yayılan (ya da yerine göre yansıyan) elektromanyetik dalgaların şekildeki binanın gösterilen noktalarında, oluşturduğu maksimum elektriksel akı yoğunlukları (W/m²) ve bunların sınır (limit) değerlere göre yüzdeleri çizelgede bulunuyor (Almanya'daki bir mobil iletişim şirketinin ölçüm ve hesaplama verileri olan bu değerler yerine göre bir miktar değişebilir).

Baz İstasyonları Neden Kent Dışında Değil de, Kentteki Binaların Çatısına Kuruluyor?

Cep telefon sisteminin çalışma tekniği gereği, baz istasyonları kentin uygun yerlerine 'bal peteği modelindeki hücrelerin köşelerine' konuluyor. Ancak böylelikle her bir baz istasyonunun kapsama alanında, aynı anda belirli sayıda cep telefonuyla iletişim kurulabiliyor (Bu bölümün başındaki yazıya bkz).. Baz istasyonları, sanayi tesisleri ya da otobüs garajları gibi kent dışına çıkarılmaz, çıkarıldığında cep telefon sisteminin teknik yapısı kökünden bozulur. Bazı yerleşim yerlerinde kent dışında baz istasyon kuleleri kurularak kentteki cep telefonlarıyla iletişim sağlanması öneriliyor. Bu ise kulelerin çok daha

yüksek güçle yayın yapması gereğinin yanı sıra, cep telefonlarının kulelerle iletişim kurabilmeleri için bunların da güçlerinin artmasıyla sonuçlanır. Bu durumda ise, cep telefon kullanıcıları çok daha fazla radyasyon dozu alacaklarından istenilenin tam tersi sonuç alınacak ve ‘yağmurdan kaçılırken doluya tutululacaktır’. Ayrıca bu durumda bunlarla aynı anda çok kişinin konuşmaması bir yana, çok dar kapsamlı bölgeler dışında pek kimse konuşamayacak ve herkes “ telefonum çekmiyor!” diye de yakınacaktır.

Sağlığımıza Etki? Isıl ve Isıl Olmayan Etkiler

Baz istasyonlarından yayınlanan yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların enerjileri radyoaktif maddelerden yayılan alfa, beta ve gama ışınları gibi hücrelerdeki atomlardan elektron sökecek (iyon çiftleri oluşturacak) kadar yüksek olmadığından, bunlar vücutta “iyonlaştırıcı olmayan” etkilere neden olabiliyor. Bugüne kadar, bu çeşit etkilerin araştırıldığı 50.000 kadar bilimsel çalışma var. Tüm bu araştırmalar, laboratuvarında hücre kültürleri, hayvanlar ve modeller üzerinde yapılan deneylerden ve halk kitleleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı (epidemiolojik) gözlemlerden oluşuyor. Bu çalışmalar içinden bilimsel yol ve yöntemleri ‘**karşılaştırmalarla sınanmış olanlardan elde edilen bulguları**’ aşağıda özetlersek:

Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar (alanlar) hücrelerdeki elektrik yüklerine kuvvet uyguluyorlar. Ortaya çıkan potansiyel farklarıyla oluşan elektrik akımları bazı yerlerde, örneğin hücre zarlarında tepkimelere neden olarak ısı olmayan etkiler doğurabiliyor. Bu çeşit etkiler 10 MHz’den daha düşük frekanslarda sinir hücreleri için etkili olabiliyor. Baz istasyonları yayın frekanslarında ise (10 MHz-300 GHz bandı) elektromanyetik alanın çok hızlı değişmesi sonucu bu çeşit etkiler ortaya çıkamıyor.

Elektromanyetik dalgaların elektriksel yüklerle kuvvet uygulaması, elektronlarda, atomlarda ve örneğin sudaki moleküllerde (dipollerde) daha hızlı dönme ve titreşimlere yol açıyor. Atom ve moleküllerin hareket enerjileri sürtünmeyle, buldukları ortamı ısıtıyor (Hareket enerjisinin bir bölümü, ısı enerjisine dönüşüyor). Böylece vücuttaki ısınma sonucu “ısı etkiler” ortaya çıkabiliyor. Isınma, sadece frekansa, alan şiddetine ve etkilenme süresine değil, aynı zamanda vücut dokusunun elektriksel özelliklerine de bağlı. Frekans arttıkça dalganın vücuda girme derinliği azalıyor. Baz istasyon yayın frekanslarındaki dalgalarda bu derinlik 1 cm’den daha az. ‘Isıl etkiler’, vücutta sıcaklık artması sonucu ortaya çıkarken, ‘ısı olmayan etkiler’in, elektromanyetik dalgalardan bir miktar enerji alan moleküllerin daha ilk hareketleri sırasında buldukları ortamla tepkimeye girmeleri şeklinde (henüz belirgin bir ısı etkisi ortaya çıkmadan) gerçekleşebileceği düşünülmüyor. Ancak ısı olmayan bu çeşit olayların vücuda yapabileceği olumsuz etkilerle ilgili olarak,

doğruluğu karşılaştırmalarla sınanmış, bilimsel kanıtlar henüz yok.

Uluslararası ve ulusal yetkili kurumların belirledikleri sınır değerler ısıl etkilere dayanıyor. Bu konuda bugüne kadar bilimsel araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, sınır değerlerin altında kaldığı sürece, bunların yaydığı elektromanyetik dalgaların sağlığını olumsuz etkilemesi beklenmiyor.

Bir baz istasyonunun yayın gücünün, cep telefonunununkinden genellikle 100 ile 1000 kat daha yüksek olmasına karşın, baz istasyonundan 20-200m uzaklıktaki etki (elektromanyetik güç akısı) hem uzaklıkla hem de aradaki binalar, ağaçlar gibi engellerle büyük ölçüde azalıyor. Kulağımıza dayadığımız cep telefonunun bize etkisi ise, ölçümlere göre, baz istasyonunun etkisinden en azından bin kat daha çok. Bunun nedeni cep telefonu kulağa birkaç milimetre yakın tutulurken, baz istasyonu ise konuştuğumuz yerden onlarca metre ya da birkaç km uzakta. Bu nedenle baz istasyonlarından kaygılananların, cep telefonlarını çok daha az kullanmaları kendilerini daha az etkileyecektir.

Yapılabilecek Ölçümler ve Sonuç

Bugünkü bilimsel ve teknolojik düzeye dayanan bu açıklamalara rağmen, eğer kaygı duyuluyorsa, baz istasyonu çevresinde oturan ya da uzun süre bulunan yerlerde ölçümler yapılarak etki belirlenebilir. Sonuçlar sınır değerlerle karşılaştırılıp etkinin büyüklüğü uzmanlarca değerlendirilebilir. Ölçüm yapan şirket ya da laboratuvarlar ve bu konularla ilgili ayrıntılar Bilgi ve İletişim Kurum'undan edinilebilir (<http://www.tk.gov.tr>).

Bilim ve teknoloji, bildiği gibi gözlem ve karşılaştırmalara dayanıyor. Bu nedenle ölçüm ve karşılaştırmalara dayanarak sonuçlar çıkarmak ve önyargılı olmamak doğru olur.

Güvenilir ölçümlerden ve bugünkü bilimsel, teknolojik düzeyden başka tutanağımız, dayanağımız ise bulunmuyor.

Bu konularda daha ayrıntılı bilgiler için, yukardaki bölümlere bk.

Kaynaklar

- TÜBİTAK Bilim Teknik dergisi Temmuz 2012 /Atakan/. Çatılardaki baz istasyonları çatı altında oturanların sağlığını etkiliyor mu?
- Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100kHz-300 GHz), ICNIRP 16/2009 The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
- Health Physics, September 2009, Volume 97, Number 3
- Cell Phones and Cancer Risk, US National Institut of Health, www.cancer.gov.

Bina İçlerinde Kullanılan Kablosuz (DECT) Telefonların ve Küçük Baz İstasyonlarının Yaydığı Elektromanyetik Dalgaların Vücuda Etkisi

Kablosuz bu çeşit telefonlar (DECT: Digital Enhanced Cordless Telephone) bina içindeki küçük bir baz istasyonu aleti aracılığıyla sabit telefon hatlarına bağlanarak gerek telefon konuşmalarını gerekse e-posta/internet iletişimleri sağlıyor.

Bunların yaydığı elektromanyetik dalgaların (EM) vücuda aktardığı enerji sonucu oluşabilecek hasarın ls olarak da, bu bölümün başında açıklanan 'zgl Soğurma Hızı' SAR (Specific Absorption Rate) geçerli. DECT telefonlarının kulanıldığı sırada kulak bölgesinde belirlenen SAR değerleri genellikle 0,1 Watt/kg dolayında olup bu değer, 2 Watt/kg'lık sınır değerin çok altında olduğundan, bugünkü bilimsel düzeyde elde edilen bilgilere göre, vücutta herhangi bir hasar beklenmiyor. Buna rağmen, vücutta oluşan doz konuşma süresince artacağından, DECT telefonlarıyla hergün saatlerce konuşma yapılmamalı.



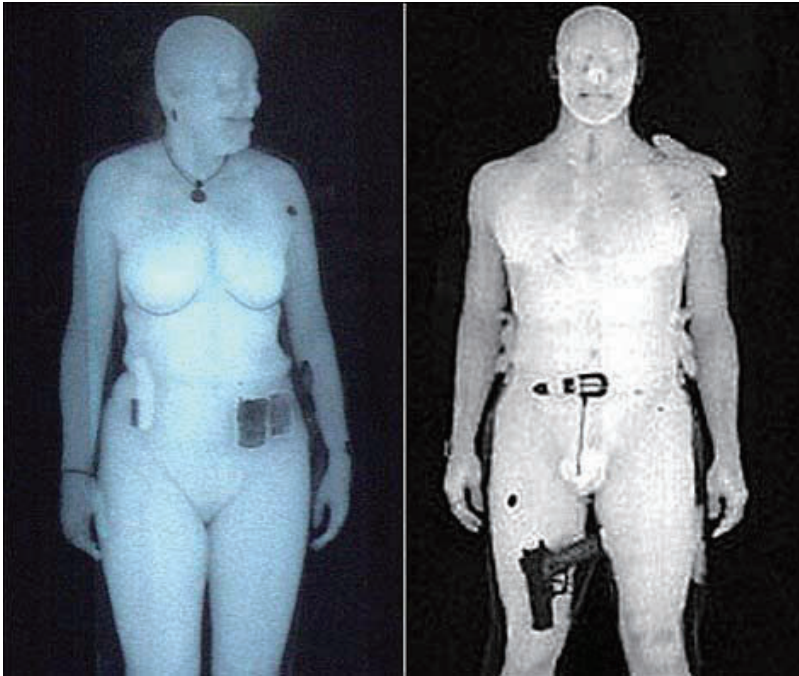
şekil 10.15a: Bina içlerinde kullanılan kablosuz bir (DECT) telefon

Hava alanlarındaki 'Tüm Vücut Tarayıcıları' ne Kadar Tehlikeli?

Havaalanlarına güvenlik kontrolü için yeni kuşak 'tam vücut tarayıcıları' konulması ve yolcuların çıplak görüntülenmesi tartışılıyor. Bazı havaalan-

larında bunlar deniyor ya da kullanılıyor. Giysilerin içine gizlenmiş her türlü maddeyi bu çeşit tarayıcılar gösterebiliyor. Alışıldık tarayıcılarla fark edilmeden geçirilebilen metalik olmayan seramik bıçak gibi nesnelere, silahlar ve bazı patlayıcılar, ekranda görülebiliyor. Tartışmalarda özellikle çıplak resimlerin insan onurunu kıracağı ve kişisel gizliliği gözler önüne sereceği üzerinde duruluyor. Ayrıca tarayıcıların, ağız, kulak ve rektum içine yerleştirilmiş maddeleri bulamayacağı da vurgulanıyor.

Çıplak tarayıcılar Avrupa'da, yolculardan izin alınarak şimdilik deneme amaçlı olarak kullanılıyor. 2008'de AB-Komisyonu çıplak tarayıcılara izin verilmesini önerdiyse de Avrupa Parlamentosu bunu durdurdu. Fiyatları 100.000 ile 200.000 dolar arasında değişen bu yeni kuşak çıplak tarayıcılar bugün Londra, Amsterdam, Zürih, Moskova ile ABD'nin, Avustralya'nın ve İsrail'in çeşitli havaalanlarında deniyor ve sanıldığından daha çok sayıda kullanılıyor. ABD'de bu çeşit tarayıcılardan 200 kadar var ve 300 adet de ismarlanmış.



Şekil 10.15b: Hava alanı vücut tarayıcı görüntülerine bir örnek

Aletlerin Kullanımı Neden Tartışmalı?

Uzmanların açıklamalarına gore, çıplak tarayıcılar tümüyle otomatik olup resimler bilgisayarın içinde, kimse gormeden, inceleniyor. Vücutta gizlenmiş tehlikeli bir maddeyi alet bulur bulmaz, alet alarm veriyor ve ancak ondan sonra resim izleniyor, sonra da resimler hemen siliniyor. Bilgisayarın sabit diski sıfır kapasiteli olup, izleyen kişinin resmî kaydetme, kopyalama, kğıda bastırma gibi bir seçeneği yok.

Alet karşıtları ise, başka modellerde bu resimlerin bilgisayarda kaydedilip sonradan kot amaçlı kullanılmayacağının da bilinemeyeceğini belirtiyorlar. Yolcular arasında da düşünceler farklı. Bazıları bunların havaalanlarında kullanılmasında – “benim için hiçbir sorun yok, çıplak gornemem, l gornememden daha iyidir!” derken, başkalarıysa çok ileri gidildiğini, ya da dini çekinceleri olduğunu ileri sürüyorlar.

Vücutlarında silikon ve protez taşıyanlarla, yapay bağırsak ıkışları bulunanların ve başka yapay maddeleri olanların bunları başlangıçta bildirmeleri gerekecek. Bu gibilerin terorist şüphesiyle her yerlerinin aranması ise büyük sorunlar oluşturabilecek.

Bir şirketin son model bir tarayıcısında ise gornt çizgili kesitlerle verildiğinden ekranda çıplak kimse gornmyor.

Tam vücut tarayıcıları  çeşit: Rontgen işını yayan tarayıcı, Pasif tarayıcı (pasif terahertz tarayıcılar) ve Aktif tarayıcı (Gigahertz ve terahertz tarayıcılar).

Nasıl alışıyorlar?

Rontgen Işını Yayan Tarayıcılar:

Alışıldık bir rontgen makinesi vücudu delip geçen rontgen işınlarının (hedef dokuların yoğunluğuna gore) az ya da çok soğurulmaları sonucu rontgen filminde karartılar oluşturmasını sağlıyor. Vücut tarayıcılarında ise vücuttan bir miktar geri saçılan ‘**yüksek enerjili ama düşük şiddetteki**’ rontgen işın demetiyle, vücut yüzeyinin analizi sağlanabiliyor. Sulu, oksijenli ve karbonlu maddelerden kolayca geri saçılan rontgen işınlarının duyarlı (hassas) detektorlerle tutulması sonucunda, vücudun ve vücuda bitişik herhangi bir maddenin gornts elde edilebiliyor. Bir rontgen tarayıcısında, rontgen makinesinden yüksek enerjili işınlara gerek olmasına karşın, kullanılan işın demetinin şiddeti, detektorlerin çok duyarlı olması nedeniyle çok düşük olup vücutta yol açtığı doz son derece az (Yıllık doğal radyasyon dozunun on binde birinden daha da az).

Röntgen ışını yayan tarayıcılar, hücrelerdeki atomlardan elektron sökülmesine ve atomların elektriksel yüklü duruma geçirilmesine (ya da iyonlanmasına) yol açabiliyorlar. İyonlar, hücre içindeki işlevleri bozabileceğinden röntgen ışını yayan tarayıcıların havaalanlarında kullanılmasına, alınan doz az da olsa, ışınlanan yolcuların sayısının çok olması nedeniyle risk artacağından, bazı ülkelerin yetkili kurumlarınca izin verilmiyor.

Pasif tarayıcılar (pasif terahertz tarayıcılar): Terahertz (THz) ışınları kızılötesiyle mikrodalga bölgesi arasında (1 ile 10 terahertz arasında) yer alan ışınlardır, vücudumuz da bu ışınları 'doğal ısı radyasyonu' şeklinde yayıyor. Bu çeşit ışınlar 'pasif terahertz tarayıcıları detektörleriyle' tutulup görüntülenebiliyor.

Aktif tarayıcılar (Gigahertz ve terahertz tarayıcılar): Tarayıcıdan vücuda yöneltilen terahertz frekansındaki ışın demetinden geri saçılmaları algılayıp görüntüleyen alet sistemi ise aktif terahertz tarayıcılarını oluşturuyor. Bunların pasiflere üstünlüğü, kontrast ya da daha net görüntü elde edilebilmesi. Aktif terahertz tarayıcıları bilgisayar tomografı gibi çalışmakta; vücut, ışın ve detektörle her noktasında taranmaktadır. Modern tarayıcılarda, aletin yanından geçerken görüntü elde edilebiliyor. Çeşitli alet sistemlerinin teknik özellikleri henüz tam açıklanmamakla birlikte bu çeşit tarayıcıların 10 ile 30 gigahertzlik (GHz), (terahertz bölgesinin epey altında) frekanslarda çalıştıkları kestiriliyor.

Radyasyondan korunma kurumları, vücutta ek bir radyasyon dozu oluşturmayan pasif terahertz tarayıcıları öneriyorlar.

Biyolojik etkileri: İyonlaştırıcı olmayan EM dalgalar vücudun çok derinliklerine giremiyor. 10 GHz'lik radyasyon vücuda sadece milimetre derinliğe kadar girebiliyor, daha derinlerdeki organlara ulaşmıyor.

Yine de bu derinlik, deri ve deriyi besleyen kılcal damarların etkilenebilmesi için yeterli. Buralarda ortaya çıkan bozulma, yöresel ve tüm vücut için önemli olabiliyor. Dokuda soğurulan ışınların enerjisi (ya da dozu) yeterli miktarda ise, bunun vücutta ısı etkileri oluşturduğu bilim çevrelerince tartışmasız kabul görüyor.

Isıl etkiler sınır değerlerin temelini oluşturuyor. 10 GHz'e kadar olan mikrodalga bölgesinde, çeşitli hücrel ve hücre içi sistemlerde yeterli laboratuvar araştırmaları yapılmış olmasına karşın, daha yüksek frekanslar için bu çeşit çalışmaların sayısı çok az.

'Milimetre ve terahertz frekansındaki EM dalgaların' hücrel sistemlere etkisi henüz az sayıda çalışma grubunca araştırılabildi. Bunlardan ilki 'THz köprüsü' adındaki AB-araştırma projesidir. Bu projede DNA'ya etkiler ile kromozom bölünmesi araştırılıyor. 1 saatten daha az ışınlanmalarda herhangi bir etki gözlenemiyor. İsraili bir araştırma grubu en az 2 saat süreli 100

GHz'lik ışınlanmalarda kromozom bölünmelerinde bozulmalarla ilgili belirtiler gördüklerini açıklıyorlar.

Ancak bu sonuç, bugüne kadar başka araştırmalarla doğrulanmıyor. Terahertz bölgesindeki ışınların insana etkileriyle ilgili araştırmalar ve veriler (data) çok az olduğundan, Almanya'da bu konudaki çalışmalarla yetkili kurumlarca başlanmıştır.

Değerlendirme ve Sonuç

ABD'de yetkili kurumlar, röntgen tarayıcılarının kullanımıyla alınabilecek radyasyon dozunun iki dakika uçuş süresince kozmik ışınlardan alınacak doz kadar olabileceğini belirtiyorlar. Terahertz bölgesinde çalışan tarayıcıların insan vücudunda oluşturabileceği doz, röntgen tarayıcılarıyla karşılaştırılırsa çok daha düşük.

Milimetre ve terahertz frekans bölgesinde çalışan tam vücut tarayıcılarıyla ışınlanandaki etkilerle ilgili yeterli bilgi ve veri bulunmadığından yetkili kurumlar kesin bir değerlendirme yapamıyor. Bu frekans bölgesiyle ilgili olarak gerek AB Komisyonu'nca ve gerekse iyonlaştırıcı olmayan radyasyondan korunma kurulunca (ICNIRP) önerilen sınır değerler, bugüne kadar yapılabilen sadece birkaç bilimsel araştırmaya dayanıyor. Buna göre halk için 'elektriksel güç akısı yoğunluğu'nu 10 W/m² ile sınırlamak gerekiyor. Sağlığı koruyucu bir önlem olarak epey yüksek tutulmuş olan bu değerin, bugün denenmekte olan tarayıcılarla ve ilerde kullanılacak olanlarla aşılamayacağı düşünülüyor. Radyasyondan korunma yönünden, Almanya'da bu çeşit tarayıcıların kullanımına, ancak bu sınır değerin aşılmaması koşuluyla izin verilebiliyor.

Bu açıklamaların ışığında, hava alanlarındaki 'röntgen' ve 'aktif terahertz' tarayıcılarından çok ışınlanmayacağımız beklenmekteyse de "bu çeşit tarayıcıları henüz edinmemiş ülkelerin", pasif vücut tarayıcılarını da inceleyip değerlendirmeleri, az da olsa, gereksiz yere ek bir doz alınmasını önleyecektir.

Kaynaklar:

- Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu açıklaması (Bundesamt für Strahlenschutz, Almanya – www.bfs.de)
- http://www.tsa.gov/approach/tech/imaging_technology.shtm
- http://www.usatoday.com/travel/flights/2008-06-05-bodyscan_N.htm
- ABD Transport Güvenlik Kurumu (TSA) açıklamaları
- 1 Terahertz= 10³ x 1 Gigahertz (10⁹) = 10¹² Hertz (Frekans: saniyedeki titreşim sayısı)
- Korenstein et al., Radiation Research 170, 224-234

Kalp Pili ya da Metal Kapakçıklı Bir Gitarist Elektrogitarın Manyetik Alanından Ne Ölçüde Etkilenir? Bir Soruya Yanıt

Soru: 1.5 sene önce bir kalp ameliyatı geçirdim ve aort kalp kapakçığım değiştirildi; yerine protez metal bir kalp kapakçığı takıldı. Kapakçık metal olduğundan dolayı manyetik alanlardan uzak durmam söylendi. Her ne kadar manyetik alanlardan uzak durmaya çalışsam dabilinçli ya da bilinçsiz olarak manyetiğe maruz kaldığım bir gerçek. Özellikle elektro gitar, telefon ve kulaklığın metali etkileme konusunda nasıl bir etkisi olur? Bu saydığım cisimlerin manyetik büyüklükleri nelerdir? Telefonu ve kulaklığı günlük hayatta mecburen kullanıyorum. Elektro gitarı çok çalmak istediğim halde, etkisini bilemediğimden dolayı çalmaktan korkuyorum.

Kalplerinde 'kalp pili' ya da metal kalp kapakçığı gibi aygıtlar taşıyanların trafo ve yüksek gerilim hatlarından, büyük iş motorlarından, büyük güçteki elektrikli aletlerden, baz istasyonlarından uzak durmalarını ve cep telefonlarını az kullanmalarını doktorların önerdiği biliniyor. Kalbinde bu çeşit aygıtlar taşıyan bir gitarist için, 'elektrogitarın manyetik alanı ne derece etkilidir ve etki önemliyse, manyetik alandan korunmanın yolu nedir?' sorusunun yanıtına ise literatürde rastlanmıyor.

Bir elektrogitarın çalgı telleri altındaki küçük elektromanyetik bobinlerin çekirdekleri dışardan bir etki olmadan (örneğin tellere dokunulmadan) kararlı (statik/değişmeyen) manyetik alanlar oluşturuyor ve bobinlerden elektrik akımı geçmiyor.

Ancak tel, gitar çalınırken, titreştiğinde bu kararlı manyetik alanın kararlılığı bozuluyor ve telin titreşim frekansı ile uyumlu olarak değişen 'dinamik manyetik alan' elektromıknatısın sarımlarında, elektriksel endüksiyon akımı doğuruyor.

1 cm kadar boydaki bu küçücük elektromıknatıslar, bazı gitarlarda her bir telin altında 1 adet olmak üzere 6 adetlik bir diziyken başkalarında 2, 3 ve 4 dizi (4 x 6=24 adet) ve hatta çift saplı gitarlarda bunun iki katı olabiliyor. Manyetik alan değişimi küçük olmasına karşın, bobinin uçları arasında birkaç milivolt'tan 100 milivolt'a kadar bir potansiyel (voltaaj) farkı doğuyor ve bu da elektrogitarın işlevi için yeterli oluyor. Bobinde oluşan bu elektrik akımı, yükselteçle (amplifikatör) yükseltildikten sonra hoporlörde tekrar sese çevriliyor.

Manyetik alandaki değişim, iletkenlerde elektrik akımı oluştururken -in- san vücutu da iletken olduğundan- vücutta da elektrik akımları oluşturuyor. Vücuttaki elektrik akımlarının büyüklüğü, manyetik alanın frekansına, manyetik akı yoğunluğuna, kapsama alanına göre değişiyor. Düşük frekanslı bir manyetik alan vücutun derinliklerine kadar kolayca girerek vücutta endüksiyon akımları oluşturuyor. Değişken manyetik alanların oldukça zor olan zırhlanması ancak özel malzemeyle sağlanabiliyor ve ölçümlerle etkinliğinin denenmesi gerekiyor.

Elektrogitarın cinsine ve çalınışına göre tellerin frekansı 80 ile 1200 Hertz arasında değişebiliyor. Gitar içindeki ses boşluğunda manyetik akı yoğunluğu literatürde genellikle 10 ile 100 miliTesla dolayında veriliyor. 2 dizi elektromıknatısın bulunduğu bir gitarın arka ve ön yüzünde gitar çalınırken yaptığımız ölçümlerde manyetik akı yoğunluğu 200 ile 500 nanoTesla arasında değişiyor.

Tesla: Manyetik alan akı yoğunluğu birimi,
1 Tesla = 1 Volt.s/m² (1 mikroTesla = 10⁻⁶ Tesla)
Manyetik malzemenin bulunmadığı bir ortamdaki
(örneğin vücuttaki) manyetik alan şiddetiyle
(Ampere/metre) manyetik akı (Tesla) arasındaki bağıntı:
1 mikroTesla= 4π.10⁻⁷ Amp/m)

Gitarın 30-40 cm yakınında bu değerler yarıdan da aza iniyor. Çalınırken gitarın vücutta genellikle tutulduğu yere göre, manyetik akı yoğunluğunun ne kadar azaldığı gitarın cinsine (kaç dizi elektromıknatısın hangi manyetik akı yoğunluğunda olmasına) yaydığı manyetik alanların frekanslarına, yapıldığı malzemeye göre değişmekle birlikte 1000 nanoTesla (=1 mikroTesla)'nın pek aşılmayacağı beklenir.

Buna rağmen çok dizili elektrogitarlarda ölçümler özel elektromanyetik ölçüm aletleriyle yapıldıktan sonra, gerekirse ya da istenirse, vücuda takılan dozimetrelerle de günlük alınan dozlar belirlenebilir. Bu frekanslarda vücutta etki yönünden, elektromanyetik alanlarda görevli olan kişiler için, yönlendirici sınır değer' 50 mikroTesla kadar olmakla birlikte kalplerinde kalp pili ve diğer elektronik aletler taşıyanlar için 20 mikroTesla'nın altında kalınması öneriliyor.



Şek 10.16: Elektrogitar ve çevresindeki manyetik alanın ölçümü

Gitaristin, gitarı vücudun genellikle neresinde tuttuğu ve günde kaç saat kullandığı da, önlemlerin gerekip gerekmediği konusunda karar vermede önemlidir. Gitarın, çalınırken vücuda dayanan arka yüzünde ve kalp bölgesinde yapılacak elektromanyetik alan şiddeti ve akı yoğunlukları ölçümleri, 5 mikroTesla'dan daha yüksek değerler gösteriyorsa, koruyucu bir önlem olarak, elektromanyetik dalgaları yansıtıcı ya da soğurucu uygun malzemelerin, ya gitarda bobinlerin bulunduğu bölümün arka yüzüne ya da örneğin bir yeleğin - kalp bölgesine denk gelen- iç cebine konması yararlı olabilir (örneğin 10 cm. x 15 cm. kadar büyüklükte ve birkaç mm eninde bir plaka ya da folyo).

Manyetik alanları soğurmak pek kolay olmadığından piyasadaki metal karışıklı "işlev polimerleri" gibi malzemeleri ancak ölçümlerle deneyerek satın almak ve kullanmak yerinde olur (Polimerlerle ilgili aşağıdaki yazımıza bk.).

Hatta bu amaçla satılan özel boyalar önce bir kartona sürülüp gitarın arkasında denenmeli, gitar çalınırken ölçümler yaparak manyetik alanları ne ölçüde tuttuğu saptanmalı. Elektrogitarın yaydığı genellikle düşük düzeydeki manyetik alanların, çevremizdeki çok çeşitli kaynaklardan gelen manyetik alanlarla karşılaştırıldığında fazla olmayacağı beklenir. Örneğin düşük voltajda çalışan halojen elektrik ampullerinden geçen akım şiddetinin yüksek olması sonucu oluşan manyetik alan şiddeti, elektrogitarinkinden çok daha fazla olabilir. Burada belirleyici olan uzaklık ve etkilenme süresidir. Yarım metre uzaklıkta bile bunların etkisi çok azalıyor. Elektrogitarın arka yüzünde ölçülen manyetik akı yoğunluğu kalp bölgesinde nano Tesla

düzeyinde kalıyorsa ve elektrogitar aşırı derece kullanılmıyorsa genellikle herhangi olumsuz bir etki beklenmiyor ve önlem de gerekmiyor.

Polimer Malzemeler Elektromanyetik Dalgaları Nasıl Zırlıyor?

Soru: Polimerlerin elektromanyetik radyasyondan koruyucu özelliği var mıdır? Varsa çalışma sistemi nasıldır? Piyasada satılan ürünlere güvenebilir miyiz?

Yanıt: Polietilen, polistiren ve polivinilklorür (PVC) gibi alışlagelmiş sentetik polimerler elektriği iletmediklerinden örneğin kablo üretiminde yalıtkan kılıf olarak kullanılabilir. Polimer bir malzemenin yalıtkanlığının nedeni, elektriksel direncinin çok yüksek (10^{14} ohm kadar) olmasıdır. Sürtünme ve başka etkenlerle polimer yüzeyde birikebilen elektriksel yükler (statik elektrikleme) bu nedenle iletilemiyor. Buna karşın, polimer bir malzeme elektromanyetik dalgaları herhangi bir direnç göstermeden ön yüzünden arka yüzüne geçiriyor. Bu çeşit bir malzeme elektromanyetik dalgalara karşı koruyucu bir zırlama aracı olarak kullanılmak istenirse, çözüm uygun bazı iletken maddelerle bu polimer malzemeyi iletkenleştirerek elektromanyetik dalgaların enerjisini iletken polimer malzemeye aktarmasını sağlamaktır. Böylelikle elektromanyetik dalgaların polimer malzemenin arka yüzüne geçmesi önlenmiş olur. Bu yöntemi ayrıntılı olarak açıklarsak:

Elektromanyetik dalgaların enerjisiyle ortamdaki elektronlar ya hızlandırılarak iletiliyor (özellikle ortamda topraklama varsa) ya da ortamın elektriksel direncine göre elektromanyetik dalga enerjisi atom ve moleküllere aktarılıyor. Bunların kazandıkları kinetik enerji, hareketleri sırasında sürtünmeyle ısıya çevrilerek havaya aktarılıp soğurulmuş oluyor. Başka bir yol da grafit ya da bazı metal katkı maddeleriyle elektromanyetik dalgaları yansıtıp geri saçmak ve bunların polimer malzemenin arka yüzüne geçmesini önlemektir.

Bu amaçla, işlev polimerleri (fonksiyon polimerleri) denilen polimerler üretiliyor. İletken tuz iyonları, metalik toz ve metal iplikçikler gibi katkı maddelerinin karmaşık bir şekilde bir araya gelmesiyle oluşan bu cins polimerlerden çok çeşitli malzeme ve ürünler yapılıyor.⁴ Kullanılan katkı maddeleri arasında demir oksit, alüminyum parçacıkları, gümüş tozu, paslanmaz çelik ve karbon iplikçikleri, lityum, sodyum, potasyum bulunabiliyor. Elektromanyetik dalgaları zırlama amaçlı tekstil perdeler, giysiler ve daha birçok malzeme, işlev polimerlerinden üretiliyor. Öğütülüp toz haline getirilmiş polimer

⁴ Polimerler konusunda ayrıntılı bilgi için Prof. Dr. Mehmet Saçak'ın TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisinin 2010 yılı Şubat sayısındaki yazısına bakınız.

malzeme boyalara katılıyor ve elektromanyetik dalgalara karşı bir çeşit zırhlama işlevi üstleniyor.

Elektromanyetik dalgaları yansıtan grafit, özellikle duyarlı elektronik aletlerin dış yüzlerinin kaplanması, aletlerin kasalarında ve paketlenmesinde kullanılıyor.

Çevremizdeki her çeşit elektrikli alet (çamaşır makinesi, fırın, buzdolabı, TV, radyo) ve bunların kabloları, bilgisayarlar, WLAN, kablosuz ev telefonları, cep telefonları vb. az da olsa elektromanyetik dalga yayıyor. Ayrıca dışardan, örneğin yüksek gerilim hatlarından, baz istasyonlarından, radyo ve TV verici antenlerinden az da olsa bir miktar elektromanyetik dalga, bulunduğumuz yere ulaşabiliyor.

Çevremizdeki tüm EM dalgaların düşük düzeydeki etkilerinden kendimizi korumamız düşünülemez. Eğer elektromanyetik alan şiddetinin ve güç yoğunluğunun normalin üstünde (sınır değerler dolayında ya da üstünde) olduğu ölçümlerle belirlenirse o zaman uygun korunma önlemleri alınabilir. Bu durumda, zırhlama ya elektromanyetik dalganın kaynağında (örneğin oturduğumuz yere yakın bir yerdeki bir trafonun, bir jeneratörün uygun bir metal kasayla zırhlaması gibi) ya da elektromanyetik dalgaların bize ulaştığı yerlerde yapılabilir (Aşağıdaki, trafo ile ilgili yazımıza bk.).

Piyasada elektromanyetik dalgalardan koruyucu olduğu savıyla tanıtılan, vücuda takılabilen malzemelerin ise bir yararının olmayacağı yukardaki açıklamalardan anlaşılabilir.

Cep telefonu ya da kulaklığıyla kulak arasına konabilecek zırh plakası ya da zırh bezi, baz istasyonundan gelen sinyali azaltacağından, cep telefonumuz iletişimi sağlayabilmek için elektriksel gücünü artıracaktır, bu da cep telefonumuzdan daha çok etkilenmemizle sonuçlanacağından bu gibi zırhlama maddelerinin yararından çok ancak zararı olabilir.⁵

Trafo ve Yüksek Gerilim Hatlarının Yayıdığı Elektromanyetik Dalgaların Sağlığı Etkisi Nedir?

Kentlerin çeşitli yerlerinde bulunan 'Trafo İstasyonları' (transformatörler), genellikle 10.000 ile 36.000 Volt arasındaki yüksek gerilimi 400 ile 230 Volt'a indiren voltaj düşürücü ya da dönüştürücülerdir. Bunlar çokçası metal ya da beton duvarlı küçük kulübelerdir (Şek.10.17). Transformatörlerin yapısında bulunan büyük metal çekirdeklerin yaydığı ve 50 Hertz'lik alçak frekansla

⁵ Yukardaki bölümlerdeki mobil iletişim ve cep telefonu kulaklıklarıyla ilgili yazılarımıza ve bu yazılardaki kaynaklara bk. Kaynak: TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi, Ocak 2011 Y.Atakan.

(saniyede 50 kez titreşimle) sürekli değişken manyetik alanlar, çok yakındaki her türlü iletken ve insanların vücutlarında endüksiyonla elektriksel akımlar oluştururlar.

Ancak 'değişken manyetik alanların' bu etkisi trafoların 5-10 metre uzağında büyük ölçüde düştüğünden, insana etkisi genellikle çok azdır. Portatif bir aletle çeşitli trafolar yakınında yaptığımız ölçümler bunların yüzeylerinde (duvarlarında) en çok 2 mikroTesla (μT) değerini gösterirken bu değerler 1-2 m uzaklıkta onda bire iniyor. Trafolar genellikle permeabilitesi yüksek (elektrik yükler için akışkan) 'Mu' malzeme denilen bir alaşım ile zırhlanıyorlar (Mu malzeme: % 80 nikel, % 15 demir, % 5 molibden ve çok az miktarlarda da silisyum, mangan ve karbon'dan oluşuyor).

Trafolardan çıkan ve sokaklara dağılan ana kablolar daha çok yeraltından geçiyor ve bunlardaki akım değişimi kablo yakınında manyetik alanlar oluşturarak çevredekilere etkili olabiliyor. Kablolar evlerin çok yakınında ise etkileri, daha uzaktaki trafolardan daha çok olabiliyor.

Trafoya gelen örneğin 33.000 ya da 11.000 Volt'luk (Şek.10.18) ve trafodan çıkan 400 Volt'luk gerilimdeki toprağın yarım metre derinliğindeki kabloların bulunduğu yerde toprak yüzeyinden 5 m, 10 m, 20 m uzaklıklarda hesaplanan manyetik akı yoğunlukları mikroTesla (μT) (*) olarak aşığıdaki çizelgede yer alıyor (Dünya Sağlık Örgütü EHC 238, WHO 2007 yayınından):

| Volt | Kablonun tam üstüdeki Toprak yüzeyinde (μT) | Kablodan 5 m uzakta (μT) | Kablodan 10 m uzakta (μT) | Kablodan 20 m uzakta (μT) |
|--------|--|---------------------------------------|--|--|
| 33.000 | 1 | 0,29 | 0,15 | 0,07 |
| 11.000 | 0,75 | 0,22 | 0,11 | 0,06 |
| 400 | 0,50 | 0,14 | 0,07 | 0,04 |

50 Hz frekansı için manyetik akı yoğunluğu sınır değeri 100 mikroTesla'dır. Bu frekansta elektriksel alan şiddetinin sınır değerine ise 5000 Volt/metre'dir.

Koruyucu bir önlem olarak, trafo ve kabloların yakınında yaşayanlar için 20 mikroTesla'nın altında kalınması özellikle kalp pili gibi vücutlarında elektronik aygıtlar taşıyanlara öneriliyor. Yukardaki çizelgeden görüldüğü gibi kablonun geçtiği yerin tam üstünde dahi hesaplanan değerler, bu değerlerin çok altında. Sınır değerlerinin altında kalındığı sürece vücutta herhangi olumsuz bir etki beklenmiyor. Ancak çizelgedeki bu hesap değerleri, çevredeki ev ve işyerlerindeki elektrik gereksinimine ve günün saatlerine göre, ilgili ev yakınındaki kablodan farklı akım şiddetinin (Ampere) çekilmesi nedeniyle farklılık gösterebiliyor.

Kablodaki farklı şiddetteki elektrik akımı ise farklı şiddette manyetik alan oluşturuyor. Öte yandan bulunulan noktada vücudun alacağı dozun büyük-

lüğü ancak o noktadaki manyetik akı yoğunluğu ve orada ne süre kaldığıyla birlikte belirlenebileceğinden 'süre' çok önemli. Örneğin trafo ya da kablo alt kattaki oturma ya da yatak odasına çok yakınsa buralarda kalma süresi oldukça uzun olduğundan vücudun alacağı doz da fazla olabilir.



Şek.10.17 Kent sokak ve yeşil alanlarındaki trafolara bir örnek



Şek.10.18 Yüksek gerilim hatları (YGH) ve direkleri

Doğal Manyetik Alan

Bu nedenle, trafo ve bunların (yeraltından ve yerüstünden geçen) kablolarına çok yakın yerlerde evleri bulunanların, yetkililerden ayrıntılı bilgi almaları ve özel durumlarda manyetik akı yoğunluğu ölçümleri yaptırmaları gerçek durumu ortaya koyabilir (Bunları çeşitli elektronik ölçüm şirketleri yapıyor



ve ilgili şirketler internetten bulunabilir). Ölçü sonuçlarına ve kalma sürelerine göre yapılacak değerlendirmede, ya herhangi bir önlem gerekmez ya da trafonun, evin duvarlarının zırhlanmasından odaları değiştirmeye kadar çeşitli önlemler alınabilir.

Dünya'nın doğal manyetik alanı belirli bir frekansta titreşmediğinden buna 'statik manyetik alan' deniyor ve iletkenlerde/insan vücudunda endüksiyonla elektrik akımları doğurmuyor. Doğal manyetik akı yoğunluğu, enlem derecelerine göre 30 ile 60 mikroTesla arasında değişiyor. (Almanya'da: 40 mikroTesla.) İnsanların bunu duyumsamamasına karşın göçmen kuşların ve bazı balıkların bu doğal manyetik alanla yönlerini buldukları biliniyor. Şimşek çaktığında, yakın yerlerde akı yoğunluğu oldukça yüksek bir değer olan 1 Tesla'yı bulabiliyor.

Öte yandan tıpta, manyetik rezonans tomografisi sırasında (MRT) 1.5 ile 3 Tesla arasında statik manyetik alanlar oluşuyor (Bk. Ek 13). 4 Tesla değerinin altında vücuda herhangi bir etkinin olduğu belirlenmemiştir.

Elektriksel Alanlar

Elektromanyetik dalgalar, manyetik alanların yanısıra, elektriksel alanlar da oluşturuyor. 50 Hertz'lik düşük frekansta insan vücudunun dış yüzeyi iyi bir iletken olduğundan, elektriksel alanlar, enerjilerini vücut yüzeyindeki elektrik yüklerini harekete geçirerek yitirdiklerinden vücuda pek giremiyor (girme oranı ancak milyonda bir kadar). **Bu nedenle elektriksel alanların vücuda etkisi manyetik alanlara oranla çok daha az.** Gerek trafolardan gerekse yeraltı kablolarından 5-10 metre uzaklıkta bunların etkileri iyice düşüyor. Evlerdeki çeşitli aletlerin oluşturabileceği elektriksel alan şiddetleri **5000 Volt/m'lik sınır değer** in onda biriyle yüzde biri arasında.

- Bu yazıdaki açıklamalar, temelde, kentlerde 10-15 m. yükseklikteki direklere gerilen (örneğin 36.000 Volt'luk) yüksek gerilim hatları (YGH) için de geçerli. Bunların çevresindeki manyetik ve elektriksel alan şiddetleri genellikle sınır değerlerin altında olmasına rağmen bazı yerlerde daha yüksek değerler de ölçülmüştür. Örneğin Bursa Nilüfer Belediye bölgesindeki YGH'yı yakınlarında sınır değer in iki katı düzeyinde olan yerler vardır (Aşağıdaki 'Elektromanyetik kirlilik ve kanser riski?' yazısına bk.).

Bu nedenle, özellikle halkın yoğun olarak bulunduğu dinlence, eğlence yerleri, oyun alanları ve çocuk parkları, okul, hastane bahçeleri yüksek gerilim hatlarının altında bulunmamalıdır. Böyle yerlerde elektriksel alan şiddeti ölçümleri yapılmalı, duruma göre önlemler alınmalı, aşırı ölçüm değerlerinde ise buralara halkın girmesi önlenmelidir. Yeni YGH'nin bu gibi yerlerden geçirmemesi planlama sırasında göz önüne alınmalıdır. YGH'nin 5 m kadar al-

ında yaptığımız bazı ölçümlerde elektriksel alan şiddeti 500 V/m ile 1000 V/m arasında kalmıştır. **YGH'den 20-50 m kadar uzakta bu değerler onda bire kadar düşüyor. Trafo kulübelerinin duvarlarında elektriksel alan şiddeti 500 V/m altında kalırken 1-2 m uzakta bu değerler onda bire iniyor.**

Alçak Frekanstaki Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Etkileri:

Elektromanyetik dalgaların etkisiyle vücutta endüksiyonla oluşan elektriksel akı ancak 10 miliAmper/m² değerini aşarsa deri ve gözlerdeki duymayıncılar (reseptörler) bunları algılayabiliyor ve etki arttıkça rahatsızlık artıyor. Sinir sisteminin, **kas ve kalbin etkilenmesi** ancak bu organlarda elektriksel akı 100 miliAmper/m² değerini geçerse görülebiliyor. Vücutta doğal olarak oluşan elektriksel akı 10 miliAmper/m² değerinin altında olmakla birlikte kalp kaslarında ve beyinde daha yüksek doğal elektriksel akı değerleri de görülebiliyor.

Vücuttaki elektriksel akı, temel sınır değerlerin belirlenmesinde gözönüne alınıyor. 4 ile 1000 Hertz arasındaki frekanslarda halk için 'sınır değer' 2 miliAmper/ m², görevliler için 10 miliAmper/m² ve tıbbi uygulamalarda ise 100 miliAmper/m² . Temel sınır değerler ölçülemediğinden pratikte bunlardan türetilen 'türev değerler' kullanılıyor. Temel değerlerin aşılması için, dış elektromanyetik alanların büyüklüğüne getirilen sınırlamalar türev değerleri oluşturuyor. **50 Hertz frekansında vücutta olabilecek göz kırpması gibi zararsız bir etki 15 miliTesla manyetik akı yoğunluğunda başlıyor.**

Kalp kaslarını biraz etkileme (tahriş etme) 500 miliTesla gibi oldukça yüksek bir değer üstünde olabiliyor. Kol ve bacaklardaki sinir ve kasların etkilenmesi ise ancak 2.5 Tesla üzerinde bekleniyor. Bu değerlerin, 100 mikroTesla sınır değerine göre çok yüksek olduğu görülüyor ve sınır değer aşılmadığı sürece vücutta herhangi olumsuz bir etki beklenmiyor.

Evlerinin Yakınında Trafo Bulunanlar Ne Yapmalı?

Evlerinin yakınlarında trafo bulunanlardan bize gelen sorular. – ***Yakınımda trafo var, bizi olumsuz etkiler mi?-Ya da evin yanı başında trafo var, evi satın alayım mı? Yakınıma trafo yapılacak, ne uzaklıkta yapılması uygun olur? Kaldığımız evin çatısında baz istasyonu vardı, evi değiştirdik, şimdi de yanı başımıza trafo yapılıyor, ne yapmalıyız?***

Bu çeşit sorulara verilecek genel yanıtlar yukardaki bölümde bulunmakla birlikte, her bir trafo (varsa nikel ve demirli alaşımdan zırlamasıyla birlikte)

teknik olarak farklı olduğundan, belirli bir trafoya ilgili ayrıntılı teknik bilgiler incelenmeden bir yanıt verilemez.

Bu konuda genellikle şunlar göz önüne alınmalı:

1. Trafodan 8-10 metre kadar uzaklıkta elektriksel alan şiddeti (Volt/m) ve manyetik akı yoğunluğu (mikro Tesla) genellikle çok düştüğünden, daha uzaklarda olumsuz bir etki beklenmemeli. Trafonun etkisinden çok, genellikle toprak altından binalara dağılan kabloların etkisi üzerinde durulmalı.
2. Vücuda olumsuz bir etkinin ancak, trafonun ve kabloların çok yakınlarında ve çok uzun süre kalındığında ortaya çıkabileceği gözönüne alınmalı (çocukların trafonun duvarına yaslanarak sık sık oturmaları ya da çok yakınında oynamaları gibi).
3. İstenirse, trafoyu kablolarıyla birlikte kuran ve işleten kurumdan teknik bilgi alınmalı, trafo ve kablolar yakınlarında yaptıkları ölçüm sonuçlarının sınır değerlerin ne kadar altında kaldığı sorulup öğrenilmeli (**Trafolardan yayılan elektromanyetik dalgalar için sınır değerler yukarıda verildiği gibi: manyetik akı yoğunluğu için 100 mikroTesla ve elektriksel alan şiddeti için 5000 Volt/metre**).
4. Çeşitli büyüklükte (güçte) ve zırlamada trafolar bulunduğundan, ayrıntılı bilgiler ancak trafo ve evlere dağılan kabloların teknik çizimleri ve trafoyu kuran kurumun ölçüm sonuçlarıyla birlikte incelenerek, çok kalınan yerlerdeki (yatak odaları, bürolar gibi) olabilecek etki hesaplanabilir. Trafolarla çok yakın evlerde, çocuk parklarında, okul bahçelerinde, elektrik alan şiddeti (Volt/m) ve manyetik akı yoğunluğu (mikro Tesla) ölçümlerinin yapılması, sınır değerlerle karşılaştırılması, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) Müdürlüklerinden istenebilir, ilgili ölçüm laboratuvarları öğrenilebilir ya da kontrol ölçümleri için ilgili şirketler internetten bulunabilir.

Sonuç:

Çevremiz az da olsa doğal ve insan yapısı kaynaklardan gelen birçok elektromanyetik dalgaların etkisi altında ve bunların tümünü etkisiz kılmak olanaksız. Trafolara, bunların evlere dağılan kablolarına ve yüksek gerilim hatlarına çok yakın yerlerde (bürolar, yatak odaları gibi) çok uzun süre kalınıyorsa buralarda ölçümler yapılmalı ve sonuçlara göre gerekiyorsa sınır değerlerle karşılaştırma yapılarak önlemler alınmalı ama aşırıya kaçılmamalı.

Çünkü zaten her yerde elektromanyetik dalgalarla birlikte yaşıyoruz. Çeşitli elektrikli ev aletleri kullanıyoruz. Örneğin **saç kurutucusu** başımızda 2.000 mikroTesla'ya, traş makinesi 1.500 mikroTesla'ya varan manyetik akı yoğunlukları oluşturabiliyorlar (Bk. Çizelge).

Trafo ve YGH'ı yakınlarındaki manyetik akı yoğunluklarıyla karşılaştırmak için, Almanya'da çeşitli ev aletleri yakınlarında yapılan manyetik akı

yoğunluğu ölçüm sonuçları aşağıdaki çizelgede bulunuyor (Alternatif 'değişken' manyetik alan frekansı: 50 Hz).

| Ev aletlerinden yayınlanan elektromanyetik dalgaların çevrelerinde oluşturdukları manyetik akı yoğunlukları (ölçüm değerleri) mikroTesla (μT), (normal kullanım uzaklıklarına göre: koyu siyah, www.bfs.de) | | | |
|--|---------|-----------|-----------|
| Aletler | 3 cm | 30 cm | 1 m |
| Saç kurutucu | 6-2000 | 0,01-7 | 0,01-0,3 |
| Tıraş makinesi | 15-1500 | 0,08-9 | 0,01-0,3 |
| Matkap | 400-800 | 2-3,5 | 0,08-0,2 |
| Elekrikli süpürge | 200-800 | 2-20 | 0,13-2 |
| Florasana lamba | 40-400 | 0,5-2 | 0,02-0,25 |
| Mikrodalga fırın | 73-200 | 4-8 | 0,25-0,6 |
| Radyo (taşınan) | 16-56 | 1 | < 0,01 |
| Mutfak fırını | 1-50 | 0,15-0,5 | 0,01-0,04 |
| Çamaşır makinesi | 0,8-50 | 0,15-3 | 0,01-0,15 |
| Ütü | 8-30 | 0,12-0,3 | 0,01-0,03 |
| Bulaşık makinesi | 3,5-20 | 0,6-3 | 0,07-0,3 |
| Bilgisayar | 0,5-30 | < 0,01 | |
| Buzdolabı | 0,5-1,7 | 0,01-0,25 | < 0,01 |
| TV (Tüplü) | 2,5-50 | 0,04-2 | 0,01-0,15 |

Yukarıdaki birçok alette 30 cm uzaklıkta 100 μT 'lık sınır değerinin çok altında kalındığı görülüyor

Çizelgedeki bazı aletlerle ilgili ölçü değerlerinin trafo ve kablolarıyla ilgili olanlardan çok daha fazla olduğu görülüyor (**Ancak bunlarda etki süresi genellikle çok daha kısa olduğundan vücuda etki de daha azdır**).

Düşük alan şiddetindeki elektromanyetik dalgaların vücuda etkisiyle ilgili bilimsel araştırmalar tüm dünyada sürmekle birlikte bugüne kadar bilimselliği kesin olarak saptanmış bulgular elde edilmiş değil. Buna rağmen, koruyucu bir önlem olarak, elektromanyetik dalga yayan aygıtların yanında olduğunca kısa süre kalınmalı, bunlar daha az kullanılmalı. Özellikle kalp pili gibi vücutlarında elektronik aletler taşıyanlar bunlardan iyice uzak durmalı.

(*) Tesla: Manyetik alan akı yoğunluğu birimi, 1 Tesla = 1 Volt.s/m²
(1 mikroTesla = 10⁻⁶ Tesla)

Kaynak: Trafo ve yüksek gerilim hatlarının yaydığı elektromanyetik dalgaların sağlığa etkisi nedir? 22.07.2011 günlü Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji dergisi, Atakan, Y.

Elektromanyetik Kirlilik ve Kanseri Riski?

Bursa Nilüfer Belediyesi'nin bazı istasyonları ve yüksek gerilim hatları yakınlarında yaptırdığı ölçümlerle ve yapılabilecek benzer araştırmalarla ilgili görüş ve önerilerimiz:

Bursa Nilüfer Belediyesi'sinin, Sakarya Üniversitesi elektronik bölümüne belediye bölgesinde bulunan baz istasyonları ve yüksek gerilim hatları yakınlarında ayrıntılı elektromanyetik (EM) alan şiddeti ölçümleri ve değerlendirmeleri yaptırdığını belediyenin internet sayfasından öğreniyoruz (<http://cevre.nilufer.bel.tr>). Her şeyden önce Nilüfer Belediyesi'ni, halkı bilgilendirmeyi ve gerekiyorsa önlemler olarak halkı korumayı amaçladığı bu çeşit ölçüm ve bilimsel değerlendirmeleri yaptırdığı için kutlar, bu çalışmaların diğer belediyelerimize de örnek olmasını dileriz.Yapılan ölçümlerle ilgili önemli bulduğumuz bazı noktaları aşağıda açıklayıp tartışmanın, hem bu çalışmalardan elde edilen sonuçların uygulanmasına ve hem de başka yerlerdeki benzer çalışmalara katkıda bulunabileceğini umuyoruz. 90 kadar baz istasyonu çevresinde yapılan ölçümler, elektriksel alan şiddeti değerlerinin, uluslararası ve ulusal sınır değerlerin çok altında kaldığını; yüksek gerilim hatları yakınlarındaki ölçümlerde ise, ilgili sınır değerlerin yer yer aşıldığı bu raporlarda yer alıyor ve bazı önlemler öneriliyor.

Raporlarda açıklanmayan, özellikle 'sınır değerlerin iki katına varan' değerler gösteren yüksek gerilim hatları yakınlarında bulunan insanların korunmasıyla ilgili yapılabilecek çalışmaların ve alınabilecek somut önlemlerin neler olduğudur? Önlemlerin gerekip gerekmediğini ve gerekiyorsa neler olabileceğini belirleyebilmek ancak, aşırı değerler gösteren yüksek gerilim hatları çevresindeki binaların, büro, oturma ve yatak odaları gibi uzun süre kalınan bölümlerinde ayrıntılı ölçümler yapılmasıyla ortaya çıkarılabilir.

Ölçümlerin yanı sıra, binalarda yaşayanların buralarda geçen süreleri, gün ve saat olarak araştırılıp vücutlarında oluşabilecek ışınlanma dozlarının (SAR: Özgül Soğurma Hızı'nın) hesaplanması, gerekiyorsa gerekli koruyucu önlemler alınması ve bunların yetkililerce yaptırımı yararlı olur. Elektromanyetik alan şiddeti, kaynaktan uzaklaştıkça uzaklıkla ters orantılı olarak azalırken, vücuda etkide önemli olan elektromanyetik güç akısı yoğunluğu bu uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azaldığından, oralardaki insanlara etki çok düşebilir ve belki de önlemler gerekemeyebilir. Ancak bunun ölçümlerle ve hesaplamalarla değerlendirilmesi sonra da gerekiyorsa önlem alınması izlenecek yol olmalıdır. Bu nedenlerle bu konuda henüz yapılmadıysa yeni bir ölçüm ve değerlendirme programının başlatılması önerilir.

Öte yandan gerek Sakarya Üniversitesi'nin ve gerekse Uludağ Üniversitesi'nin, yukarıdaki internet sayfasında açıklanan rapor ve sunumlarında, elektromanyetik dalgaların bilimsel olarak henüz kanıtlanamayan beyin tümörü (kanser), bağışıklık sistemi bozukluğu, uykusuzluk gibi daha bir dizi olumsuz etkilere neden olduğu, çeşitli çalışmalar kaynak gösterilerek, sanki doğruluğu bilimsel olarak kanıtlanmış gibi açıklanıyor.

EM dalgaların kanser oluşturması gibi ısıl olmayan etkilerinin araştırıl-

masıyla ilgili olarak 1970'li yıllardan beri 50.000 dolayında bilimsel çalışma yapılmış olmasına ve bunlardan bazılarında yukardaki gibi olumsuz etkiler saptandığı ileri sürülmesine karşın, bu çeşit etkiler bilimsel olarak henüz sınanıp kanıtlanamıyor. Bugün bu çeşit olumsuz etkilerin belirlendiğini ileri süren her bir bilimsel çalışmaya karşın, bu çeşit bulguların belirlenemediğini ileri süren en azından iki bilimsel çalışma bulunuyor (Bu konuyla ilgili ayrıntılar için bu bölümdeki önceki yazılarımıza bk.).

Öte yandan 13 ülkenin katıldığı ve 10 yıldan daha uzun süren interfon bilimsel araştırmasının ara sonuçları da ısı etkiler dışındaki bu çeşit etkileri kanıtlayamamıştır.^{6,7}

⁶ 04.03.2011 Cumhuriyet, Bilim Teknik dergisi, Atakan Y.

⁷ Cep telefonu kullanımı beyinde tümör oluşturuyor mu? Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji dergisi 22.01.2010, Atakan, Y.



ANA BÖLÜM IV

ENERJİ SORUNU



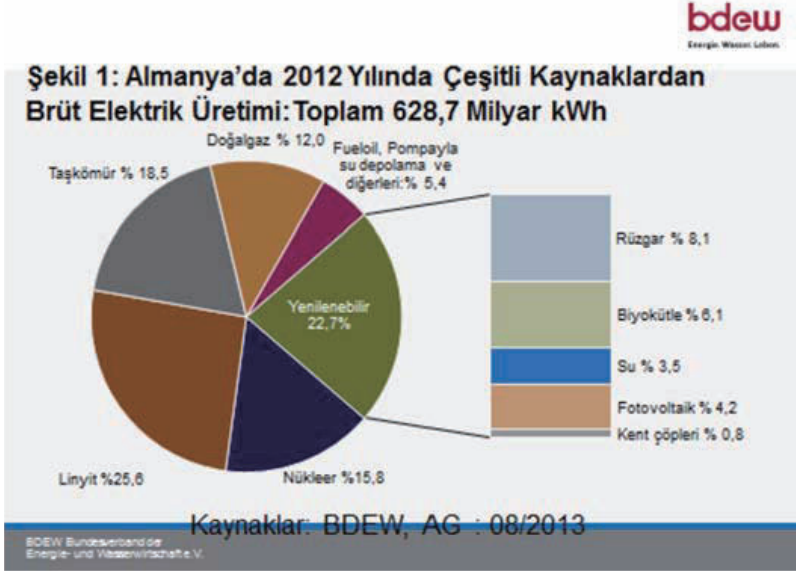
BÖLÜM 11

ALMANYA'DA NÜKLEER ENERJİDEN ÇIKIŞ, YENİLENEBİLİR ENERJİLER ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ SORUNLAR VE TÜRKİYE'DEKİ ELEKTRİK ÜRETİMİYLE KARŞILAŞTIRMALAR

Almanya'daki Durum

Almanya Başbakanı Merkel, Mart 2011'deki Fukuşima kazasından sonra Mecliste yaptığı konuşmada nükleer santrallerin 2023 yılına kadar art arda kapatılacağını ve nükleer enerjiden çıkılacağını söyledi ve ekledi: "Geleceğin elektriğini üretmede dönüm noktasını belirleyen dünyanın ilk endüstri ülkesi olabiliriz" dedi ve ekledi; "Her ne kadar nükleer santralsız 'yeterli elektriği sağlayabilmek büyük sorunları içeren bir proje ise de hep birlikte bunun üstesinden geleceğiz." Daha sonra Meclis'in aldığı kararlar, çalışmakta olan 17 nükleer santraldan 8'i durduruldu. Arta kalan 9 nükleer santralın 2015 ile 2023 arasında kapatılması planlanıyor. 2020 yılına kadar gerekli elektrik enerjisinin % 35'inin yenilenebilir enerjilerden sağlanması amaçlanıyor. Bunun yanı sıra, ülkede ileride daha az enerji kullanımı öngörülüyor. Binalar için gereken enerji, tüm enerji kullanımının % 40'ı kadar çok olduğundan, özellikle binaların 'enerji korunumlu' olması, önemini koruyor. 2020'den başlayarak yeni yapılacak binaların enerji gereksinimi düşük olacak ve binalar fazla enerji yitirmeyecek şekilde ilgili standarta göre yapılacak. Yeni binalar için vergi indirimi getirilecek. Bunun karşılığı ise 1,5 milyar avro kadar. Bugünkü binaların enerji kayıplarının azaltılması, mantolanması, ısı korunumlu pencereler takılması gibi önlemler için devlet her yıl vergi indirimi yoluyla ayrıca 1,5 milyar avro destek sağlayacak.

Almanya'da, kaynaklarına göre üretilen ve tüketilen elektrik



Yazıda geçen birimlerle ilgili açıklamalar:

Elektriksel Güç birimi: 1 Watt: 1 saniyede üretilen ya da tüketilen 1 Joule''luk enerji miktarıdır (1 Watt= 1 Joule (enerji)/1 saniye).

Gözümüzde canlandırmak için bir örnek: 100 gramlık bir ukulata paketini 1 metre yukarı kaldırmak için 1 Joule''lk enerji gerekiyor (Enerji= iş yapabilme yeteneği).

1 Watt, pratikte çok küçük olduğundan bunun katları kullanılıyor.

1 kiloWatt(1kW) = 1000 W; 1 MegaWatt = 1 MilyonWatt(1MW);

1 GigaWatt= 1000 MegaWatt= 1 Milyon kilo Watt = 1 MilyarWatt

1 GigaWattsaat= 1 Milyon kWh = 1 MilyarWh (=1000 MegaWh)

1 TeraWattsaat (1 Trilyon Wh)=1000 Milyar Wh
(= 1000 GWh=10¹² Watt h)=10⁹ kWh =1 Milyar kWh

Ülkelerin ürettikleri ve tükettikleri elektrik enerjisi genellikle Terawatt saat (TWh) ya da milyar kiloWatt saat (1 milyar kWsaat = 1 TWh) ile açıklanıyor(*). Almanya'da son yıllarda tüketilen brüt (**) elektrik enerjisi miktarı

yılda ortalama olarak 600 TWh = 600 milyar kWh dolayında. Yılda 20 milyar kWh kadar net enerji de başka ülkelere satılmaktaydı. Ancak Fukushima kazasından sonra devreden çıkarılan 8 nükleer santral sonucu, Almanya elektrik enerjisinin bir bölümünü, komşularından almakla birlikte, aşırı enerjinin üretildiği bazı aylarda 'fazla elektrik', AB elektrik ağına aktarılıyor. 2010 yılında üretilen toplam 620 TWh (=620 milyar kWh)'ın içinde 17 nükleer santralin payı 140 milyar kWh (140/620=%22,6) kadardı. 8 nükleer santralin 2011 yılında durdurulması ve yenilenebilir enerjilerden üretilen elektriğin öncelikle şebekeye beslenmesi zorunlu olduğu nedeniyle, 2012 yılında üretilen brüt 629 milyar kWh'lık toplam elektrik enerjisinin içinde nükleer enerjinin payı %15,8'e düşerek 99 milyar kWh'a indi (Bk. Şekil 1, Çizelge 1). 2008 ve 2009 yıllarının her birinde yenilenebilir enerjilerin toplam katkısı 94 milyar kWh kadar iken, 2012'de bu katkı 143 milyar kWh'a yükseldiğinden, tüm enerji gereksinimini karşılayabilmek için ileride tüm nükleer santraller çalıştırılmazsa, fosil yakıtlı santrallerin (taşkömür, linyit, doğal gaz, fueloil yakıtlı olanlar) 500 milyar kWh kadar enerjiji devreye (şebekeye) beslemesi gerekiyor. Almanya'daki fosil yakıtlı santrallerin **toplam elektriksel gücü 79,5 GigaWatt** (= 79, 5 milyar kiloWatt) olup bu güç, yılda: 79,5 GW x 8760 saat = 696,4 milyar kWh elektrik enerjisine karşılık geliyor. Santrallerin bakım, onarım nedeniyle birkaç ay durdurulması ve ayrıca santrallerin ve pompaların çalışması sırasında kullandıkları enerjinin yanı sıra şebeke kayıpları da gözönüne alındığında fosil yakıtlardan kaynaklanan elektrik enerjisinin ancak %72'si olan 501 TWh (= 501 milyar kWh) kadarının, yılda, elektrik ağına verilebilecek net enerji miktarı olduğu hesaplanıyor. Buradan tüm nükleer santraller durdurulsa bile, fosil yakıtlı kaynaklardan elde edilebilecek bu miktardaki enerjiye, yenilenebilir kaynaklarla zamanla artarak elde edilecek enerji de eklendiğinde Almanya'da ileride enerji açığı olmayacağı kestirilebilir. Görüldüğü gibi Almanya, ileride nükleer enerjiden tümüyle çıktığında, fosil yakıtlı santrallara gereksinme sürece ve yenilenebilir enerjilerin elektrik açığını kapatması olası değil. Ayrıca yapılan yukardaki hesap ileride tutar mı ve fosil yakıtlı santrallerin saldıkları zehirli gazlarla çevreyi ve CO₂ ile de iklimi olumsuz yönde etkilemesi sorunları çözülebilecek mi? 3600 km'lik yeni 'elektrik iletim ağına' da gereksinme var. Bunları ve başka sorunları son bölümde inceleyeceğiz.

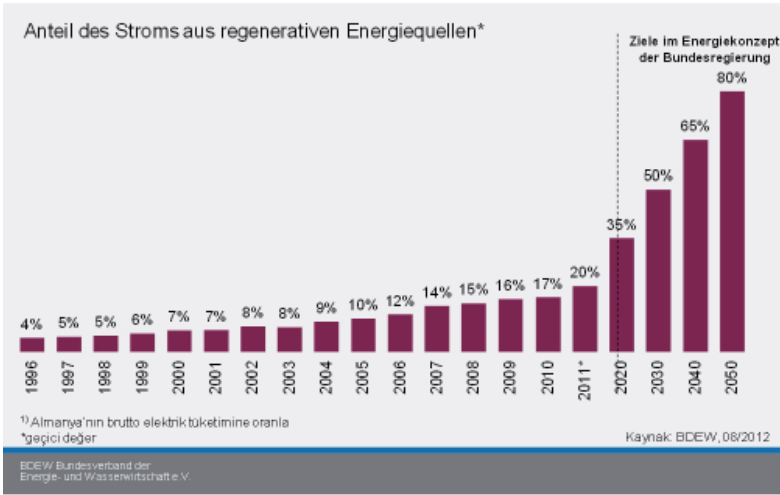
Almanya'da Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimindeki Gelişmeler

Almanya'da 1 Nisan 2000'de Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nın yürürlüğe girmesi sonrasındaki 10 yılda, bu yolla üretilen elektrik enerjisindeki artışın, toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı %7'den %17'ye yükseldi. Bu pay,

2012'de %22,7'yi buldu (Bk. Grafik 1YE ve Şekil 1). Bu artışın sağlanmasındaki tüm giderler, elektrik kullanıcılarının elektrik faturalarına kiloWattsaat (kWh) başına 3,5 avro sent'lik, çevre (ekoloji) vergisi eklemesiyle gerçekleşti. Bu vergi 2013'te 5,2 avro sent'e yükseltildi. Bunun sonucu olarak her geçen yıl, elektrik kWh fiyatının artacağı ve artışın 2011 fiyatına göre ileride %50'yi bulması bekleniyor. 2011 yılında devlet sadece fotovoltaik kaynaklı elektrik üretimine toplam 13,5 milyar avro'luk destek sağladı. Çatılarına güneş enerji panelleri yerleştirilip tüm ilgili sistemleri kurulmuş evlerden genel elektrik ağına (şebekeye) aktarılan her kWh için devlet 25 avro-sent'lik destek verdi.

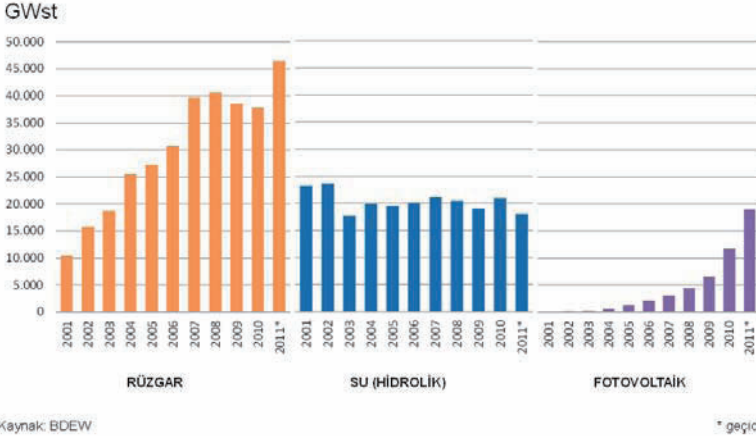
Grafik 1YE: Almanya'da Yenilenebilir Enerjilerin Toplam Elektrik Üretimine Oranla Yıllara Göre Gelişimi ve İlerisi için Planlanan Değerler (%) 1)

bdeW
Energie, Wasser, Leben.



Grafik 1YE'de, Almanya'da **Yenilenebilir Enerjilerden (YE)** üretilen elektrik enerjisinin toplam üretimdeki payının, sürekli olarak arttığı görülüyor. Almanya, YE'nin payını 2020'de %35'e, 2030'da %50 ve 2050'de de %80'e çıkarmayı öngörüyor. Grafik 2YE'de, Almanya'da son 10 yıldır rüzgar, su (hidrolik) ve güneş (fotovoltaik) enerjilerinden üretilen elektrik enerjisindeki gelişmeler (yıllara göre, GigaWattsaat) gösteriliyor.

Grafik 2YE: Almanya'da son 10 yıldır yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik enerjisindeki gelişmeler (yıllara göre, GigaWattsaat)



Almanya'da Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi

Rüzgâr'dan elde edilen elektrik enerjisi 2001'de 10.000 GWh (=10 milyar kWh) iken bu değer 2011'de 4,5 kat artarak 45 milyar kWh'ı bulmuştur. 2010 yılında 27 GW'lık kurulu rüzgâr gücünden elektrik ağına verilebilen net elektrik enerjisi 38 Milyar kWh olmuştur. 27 GW kurulu güç yıl boyunca elektrik ağına kesintisiz elektrik verebilseydi 38.000 GWh yerine, 236.000 GWh (= 27 GW x 365 gün/yıl x 24 saat/gün) çok daha büyük miktarda elektrik elde edilebilecekti. Buradan rüzgâr enerjisinin verim ya da kapasite kullanım oranı olarak % 16 = 38.000/236.000 hesaplanır. Verimin düşük olmasının nedeni her an rüzgâr olmaması, santrallerin bakım, onarım nedeniyle durdurulması ve istek (talep) azlığı ya da elektrik ağına çeşitli nedenlerle elektriğin verilememesidir. 2012'de rüzgâr kurulu gücü 31 GW olmuş ve rüzgâr kaynaklı 51 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir (Bk. Çizelge 1). 31 GW'lık rüzgâr kurulu gücü, tüm dünyadaki kurulu gücün %10'u kadardır.

Almanya'da Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemiyle Elektrik Üretimi

Fotovoltaik kurulu güç 2001'de neredeyse sıfır iken 2011'de bu kaynaktan elde edilen elektrik enerjisi 19.000 GWh (= 19 milyar kWh)'a yükselmiştir. Almanya'da 2010 yılında 17,5 GW'lık fotovoltaik kurulu güçten net 11,7 mil-

yar kWh ve 2012'de ise 32 GW 'lık kurulu güçten, 26 milyar kWh'lık elektrik üretiştir. Almanya'daki fotovoltaik kurulu gücü, tüm dünyadaki kurulu gücün yarısını geçmiştir.

Geceleri güneşin olmayışı, güneşli günlerin az ya da çok olmasına göre ve ayrıca, elektrik ağına çeşitli nedenlerle elektriğin verilememesi nedeniyle bu oldukça yüksek kurulu güçten elektrik ağına verilebilen fotovoltaik kaynaklı net elektrik enerjisi ise çok azdır ya da verim sadece % 8 kadardır. Buradan, fotovoltaik enerjinin veriminin, rüzgâr enerjisi veriminin ancak yarısı kadar olduğu görülüyor. Fosil yakıtlı ve nükleer enerjilerin verimi ise %72 kadardır.

Gerek rüzgâr gerekse fotovoltaik kaynaklı elektrik enerjisi üretimindeki son yıllardaki artışın nedeni ise, havanın daha rüzgârlı ya da daha güneşli olmasından çok, devreye giren yeni rüzgâr ve güneş enerjisi santralleridir.

Su (hidrolik) kaynaklı elektrik enerjisi, son 10 yılda salınımlarla yılda 24 milyar kWh'tan 17 milyar kWh'a düşmüştür (Almanya'da su kaynakları daha fazla kullanılmıyor).

2003-2011 yılları arasında nükleer kaynaklı elektrik üretimindeki, **aylık ortalama** 12.5 milyar kWh olmuştur. Rüzgâr kaynaklı elektrik üretiminde son yılların, **aylık ortalaması** 3.1 milyar kWh ve fotovoltaik kaynaklı enerjide ise aylık ortalama 1.6 milyar kWh kadardır. Rüzgâr ve fotovoltaik kaynaklı üretim bazı aylarda oldukça yüksekken, yıl boyunca hesaplanan aylık ortalama değerler, nükleer kaynaklı aylık ortalamanın çok altında kalıyor.

Türkiye'de Üretilen ve Tüketilen Elektrik

Türkiye'de kişi başına **yıllık** elektrik tüketimi 3.200 kWh düzeylerinde olup, bu miktar kalkınmış ve kalkınmakta olan ülkeler ortalamasının çok altındadır. Türkiye'de 1950'lerde yılda sadece 0,800 milyar kWh enerji üretimi kapasitesi varken, 2012 yılında bu oran yaklaşık 406 misli artarak yılda 325 Milyar kWh düzeylerine ulaşmıştır. 2012 yılında **57.452 MW'a ulaşan toplam kurulu güç ile** arızalar, bakım onarım ve diğer nedenlerle **ancak 239 Milyar kWh enerji üretilebilmiştir**. Enerji üretiminin %26,8'i yenilenebilir (%24'ü hidrolik, %2,8'i rüzgâr ve jeotermal), %73,2'si ise fosil yakıt olarak adlandırılan termik (doğal gaz, linyit, kömür, fueloil, motorin, asfaltit, nafta gibi) kaynaklardır. Son yıllarda rüzgâr ve jeotermal kaynakların enerji üretiminde kullanımına ilişkin yoğun çalışmalar yapıldığı ayrıca nükleer enerji kullanımı için de Akkuyu'nun yanı sıra başka projelerin de yürütüldüğü biliniyor.

Türkiye'de kuramsal **hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh**, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 milyar kWh olarak hesaplanıyor.

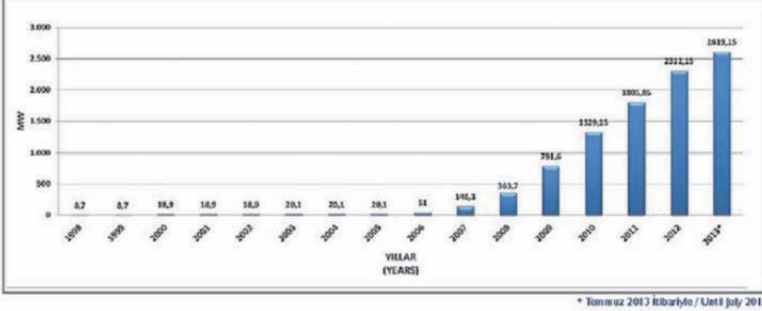
DSİ 2012 çalışma raporuna göre işletmede olan 370 adet irili ufaklı hidroelektrik santralının (HES) **kurulu gücü yaklaşık olarak 20 GW ve ortalama yıllık üretimi ise 71 milyar kWh olmasına rağmen 2012 yılında hidrolik kaynaklı elektrik üretimi 57 milyar kWh kadardır**. Yapımı süren 212 ve planlanan da 1.058 adet çoğu küçük hidroelektrik santralını (HES) bitirildiğinde bunlarla birlikte **toplam su (hidrolik) kurulu gücünün ileride 47 GW olması** ve bundan sağlanabilecek elektrik enerjisinin de yılda **165 milyar kWh** düzeyine yükseltilmesi amaçlanıyor'. Ancak, HES'lere karşı Türkiye'de çevrecilerin çok duyarlı oldukları ve bunların bir çoğunun yapımını önleyebilecekleri de biliniyor.

Türkiye'de Rüzgâr Enerjisinden Elektrik Üretimi

Türkiye'de, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi projeleri ve rüzgâr santrallerinin yapımı sürüyor. Bugüne kadar birçok yerde kurulan ve işletmeye açılan 1 ile 135 MW arasında rüzgâr santralını bulunuyor. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği'nin (TÜREB) Temmuz 2013 raporuna göre 2012'de toplam **kurulu güç her yıl artarak 2012'de 2,3 GW olmuş** ve 2013'de de bunu biraz geçmiştir (Bk. Grafik 3YE). TÜREB'in Mart 2011'deki değerlerine göre her bir rüzgâr santralında 1 ile 54 arası türbin bulunuyor. Yapımı süren rüzgâr santrallerinin kurulu gücü ise 0,750 GW kadar. TÜREB yayınlarında bu kurulu güçlerden, yılda Gigawattsaat olarak ne kadar elektrik üretilebildiği ise açıklanmıyor. Öte yandan DSİ 2012 çalışma raporunda, Türkiye'de 2012'de üretilen toplam elektriğin %2,8'inin rüzgâr ve jeotermal kaynaklardan sağlandığı açıklanıyor. Rüzgâr gücüyle üretilen net elektriğin, % 1,5 kadar olduğu varsayılırsa, bunun Türkiye'de toplam üretilen elektrik içindeki miktarının $(239 \times 0,015=)$ 3,6 ya da kabaca 4 milyar kWh kadar olabileceği kestirilebilir. Öte yandan, 2,3 GW'lık rüzgâr kurulu gücünden 2012 yılı boyunca rüzgâr santralleri sürekli çalışacak olabilselerdi: $2,3 \times 8760 \text{ saat/yıl} = 20$ milyar kWh elektrik üretebilirlerdi. Rüzgâr, yıl boyunca her an bulunmadığından, ayrıca bakım ve onarım çalışmaları nedenleriyle santrallerin zaman zaman durdurulması gerektiğinden, 2012'de ancak 4 milyar kWh kadar elektrik üretilebilmiş olabildiğine göre rüzgâr enerjisinin veriminin %20 $(=4/20)$ kadar olduğu çıkarılabilir. Bu hesaplama sonucu, rüzgârı daha bol Almanya'da hesaplanan rüzgâr kaynaklı elektrik üretim verimi olan %16'dan epey yüksektir ve Türkiye'deki gerçek verimin daha düşük olması beklenir. TÜREB'in ileride gerçek verim değerlerini açıklaması beklenir.

Türkiye'deki kuramsal rüzgâr enerjisi potansiyeli 48 GW dolayında olup, bunun 38 GW'ı karasal bölgelerde ve 10 GW' da deniz üzerinde bulunuyor. Bugünkü (2012/2013) elektrik ağının (sebekesinin) ise ancak 10 GW düzeyinde rüzgâr kurulu gücünü kaldırabileceği hesaplanıyor. 2023 yılına kadar

elektrik ağı genişletilebilir ya da yenilenebilirse, elektriksel gücün, 2023'de iki katına (20 GW) çıkabileceği bekleniyor.



Grafik 3YE: Türkiye Rüzgâr Enerjisi santralleri kurulu güçlerinin (MW), yıllara göre gelişimi (Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği /TUREB/ Temmuz 2013 raporundan)

Türkiye'de Fotovoltaik Kaynaklı Elektrik Üretimi

Türkiye'de 8 Ocak 2011 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanan yenilenebilir enerji yasasına göre güneş enerjisi sistemleri ile üretilen elektrige, devlet alım garantisi sağlıyor. Buna göre, güneş enerjisi sistemlerinin ürettiği her kWh için 13,3 dolar-sent verilmekte, sistem elemanlarında yerli malı kullanıldığında ise toplam destek 16 sent'e yükseliyor (ilk 10 yıl için). Ülke çapında toplam kurulu güç tam olarak hesaplanamıyor, 3-5 MW arası olduğu sanılıyor. Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Derneği (EPIA)'nin verilerine göre Türkiye'de toplam kurulu güç 2020'de 20 GW' a ulaşabilir. Ancak bunun nasıl sağlanacağı ve projeler açıklanmıyor. Öte yandan güneşi bol Türkiye'de, ülke çapında, daha çok çatıya paneller konularak güneş enerjisinden hem fotovoltaik hem de su ısıtılması yollarıyla yararlanılması, diğer enerjilerin daha az kullanılmasını sağlayacaktır.

Resim: Türkiye'de üretilen fotovoltaik kollektör örneği
(IEA, 2011 raporundan)



Almanya ve Türkiye'deki Elektrik Üretimini Karşılaştırılması

Aşağıdaki Çizelge 1'de 2012 yılında Almanya ve Türkiye'deki brüt elektrik enerjisi üretiminde kaynakların katkıları karşılaştırılıyor. Buradan nüfusu Almanya'ninkine yaklaşan Türkiye'nin, Almanya'nın sadece %38'i kadar elektrik enerjisi ürettiği görülüyor ($239/629=0,38$). 75 milyon nüfusu olan Türkiye'de kişi başına yılda üretilen brüt elektrik 3200 kWh'ın altındadır ($=239000/75$).

Çizelge 1 : 2012 yılında Almanya ve Türkiye’de üretilen brüt elektrik (yaklaşık değerler)

| | Almanya’da | | Türkiye’de | |
|---|------------------|---|---|------------------|
| | Kurulu Güç GW | Üretilen Brüt Elektrik Enerjisi Milyar kWh | Üretilen Brüt Elektrik Enerjisi Milyar kWh | Kurulu Güç GW |
| Fosil yakıtlardan (taş kömür linyit, doğal gaz, fueloil) | 79 | 353 | 175 | 33 |
| Su enerjisi (hidrolik) | 11 | 22 | 57 | 20 |
| Nükleer | 12 | 99 | - | |
| Rüzgar | 31 | 51 | 3,6 | 2,3 |
| Fotovoltaik | 32 | 26 | ? | |
| Biyokütle, çöp | 6 | 40 | ? | |
| Su pompalama (+), jeotermal ve diğerlerinden | 7 | 38 | 3,1 ? | 1,7 ? |
| Toplam Brüt Elektrik Üretimi | 178 | 629 | 239 | 57 |

Nükleer Santraller Kapatılırken Almanya’da Elektrik Üretimindeki Sorunlar

Almanya’da bugün yapımı süren ya da planlanan küçük büyüklü 51 adet fosil yakıtlı santral bulunuyor. Nükleer santraller kapatılırken, yenilenebilir enerji üretimi kısa sürede açığı kapatamayacağından, bunların art arda devreye girmesi bekleniyor. Ancak fosil yakıtlı santrallerden sadece bir kaç, kapatılan nükleer santrallara yakın ve aynı elektrik ağını kullanabiliyorlar. Uzaklarda olan diğerleri için yeni yüksek gerilim hatları (YGH) yapılması ve kapatılan 8 nükleer santraldan doğan açığın kapatılması için elektrik enerjisinin kuzeyden güneye aktarılması gerekiyor. YGH ise henüz projelendirilmiş değil. Gerek fosil yakıtlı santrallara gerekse yeni elektrik ağlarına karşı çevrecilerin direnişlerinin gitgide artma olasılığı da var. Yeni yapılan kömürlü santrallerin yüksek kazanlarında da ince çatlaklar belirlendiğinden bunların zamanında devreye girmesinde de gecikmeler bekleniyor.

Baca Gazlarıyla Çevreye Olumsuz Etkiler

Bilindiği gibi nükleer santraller normal işletme sırasında bacalarından çevreye çok az miktarda karbon dioksit (CO₂) gazı salarken, fosil yakıtlı olanlar çok fazla CO₂ salıyor. CO₂ gibi sera gazlarının iklime olumsuz etkisi biliniyor. Taşkömür yakıtlı bir santralda üretilen elektriğin kWh'i başına 900 gram CO₂, doğal gazlı olanda ise bunun yarısı kadar CO₂ havaya salınıyor. Almanya'da toplam salınan CO₂ miktarı yılda 700 milyon ton. Tüm nükleer santrallerin şebekeye verebileceği 140 TWh'lık enerji, fosil yakıtlı olan santrallerden elde edilecek olursa CO₂ miktarı %20 kadar artacak.

Kömür yakıtlı 800 MW'lık bir santral çevreye yılda 5 milyon ton kadar CO₂ salıyor. Bu kadar çok CO₂, santralda kullanılan aşırı miktardaki kömürden kaynaklanıyor. Linyit yakıtlı bir santralda önceden öğütülüp toz haline getirilmiş olan kömür, saniyede ortalama 250 kg'lık miktarda, fırına püskürtülüp yakılarak elde edilen ısı enerjisiyle su, buhara çevrilip türbinlere iletiliyor. Bu, dakikada 15 ton, saatte 900 ton ve günde 21.600 ton ve 300 günde 6,5 milyon ton linyit kullanımı demek. Linyit kömürlü büyük bir elektrik santralının 1 dakikada kullandığı kömür miktarı neredeyse 10 ailenin evlerini ısıtmak için 1 yılda kullandığı kömür miktarına eşdeğer.

Fosil yakıtlı santrallerde bacadan salınan CO₂'den başka, dumandaki kükürt dioksit, azot oksit gibi çeşitli zararlı kimyasal maddelerin yanı sıra, kurum ve külde bulunan ağır doğal radyoaktif maddeler de çevre ve sağlık için büyük sorunlar oluşturuyor (Periyodik cetvelde kütle numaraları büyük elementlerin radyoizotopları). Taşkömürü ve linyit kömürünün bileşiminde, az miktarda da olsa, uranyum 238 ve toryum 232'den türeyen radyum 226, polonyum 210 ve kurşun 210 ve ayrıca potasyum 40 gibi doğal radyoaktif maddeler, kömürün cinsine göre, daha az ya da daha çok var. Vücutta kemiklerde, başka organlarda uzun süre biriken ve insanı içten ışınlayan bu gibi ağır radyoizotoplardan yayınlanan ışınlar nükleer santrallerden çevreye salınmıyor. Nükleer santrallerden çevreye, uranyum 235'in bölünmesiyle ortaya çıkan çok daha hafif bölünme (filyon) ürünleri filtrelendikten sonra çok az miktarlarda salınıyor. Öte yandan bazı kömürlü santrallerden filtrasyona rağmen çevreye atılan küllerin içindeki uranyum derişiminin, uranyumun elde edildiği madenlerdeki derişimden daha büyük olduğu ve küllerden uranyum elde edilmesi seçeneği düşünülüyor.

Taşkömür yakıtlı büyük (800 MW kadar) bir elektrik santralının bacasından çeşitli eleme (filtrasyon) tekniklerine rağmen, çevreye yılda 500 kg kadmiyum, 500 kg talyum, 600 kg civa, 1.000 kg arsenik, 2.000 kg nikel, 6.000 kg kurşun ve 400 ton toz, 4.000 ton kükürtoksit ve 4.000 ton azotoksit yayılabiliyor. Bu gibi zehirli ağır metaller, gazlar ve tanecikler insan vücuduna ulaştığında kanser yapabiliyor. Zehirli bu gibi maddeler sonucu her bir kömür santralının 40 yıllık işletme süresince çevrede yavaş yavaş 1000

kişinin kanserden ölümünden sorumlu olduğunu ileri süren araştırmacılar var. Bu nedenlerle Almanya'da nükleer santrallerin durdurulmasıyla elektrik açığını kapatması düşünölen çok sayıda kömürlü santral yapılmasına da çevredekiler karşı çıkıyor.

Almanya'da Elektrik Enerjisinin İletimiyle İlgili Sorunlar

Nükleer santraller art arda kapatılırken uzak bölgelerden getirilmesi zorunlu olacak elektrik için yeni yüksek gerilim hatları (YGH) yapımı gerekiyor. Almanya'nın güneyine kuzeyden getirilecek elektrik bugün ancak Çek Cumhuriyetinin hatları kullanılırsa olası. Öte yandan bugünkü elektrik ağı (şebekesi), yenilenebilir enerjinin üretildiği noktalardan iletimi için uygun değil. Bu nedenle yeni 3.600 km uzunluğunda elektrik ağının yapımı zorunlu. Bunun hem maliyeti çok, hem de çevreciler bir çok yerde bunlara da karşı olduğundan sorunlar büyük. Ayrıca güneş enerji panelli yüz binlerce evden ve binlerce rüzgâr türbininden elektrik ağlarına bağlanacak kablolarla, bu ağların yeniden yapımı gerekiyor. Elektrik ağında kullanıma göre heran değişen gerekli enerji akımını sağlayabilmek için büyük bilgisayar programlarıyla enerji akımının en elverişli duruma getirilmesi (optime edilmesi) amacıyla yeni tekniklerin denenmesi ve tüm bunların gerçekleştirilebilmesi için büyük yatırımlar gerekiyor (Rüzgâr ve güneş enerjisi her saat değişebileceğinden duruma göre eksik enerjinin başka kaynaklardan anında devreye aktarılması nedeniyle).

Rüzgâr Jeneratörlerini Kimse Yanı Başında İstemiyor

Yeni enerji hatlarının istenmemesindeki durum rüzgâr santralleri (jeneratörleri) için de söz konusu. Almanya'da büyük çoğunluk nükleer enerjiye karşıyken, kimse yanıbaşında rüzgâr santral kuleleri de istemiyor. Hem çevrenin görünümü bozulacak ve hem de gürültü nedenleriyle. Bu da büyük bir sorun.

Sonuç

Almanya'da nükleer santrallerin 2023 yılına kadar art arda kapatılması planlanırken yukarıda sadece önemlilerini verdiğimiz sorunların ilerde nasıl çözümleneceği bilinmiyor. Her ne kadar AB'deki elektrik ağı enerji eksiği olan ölkeye diğerlerinden aktarmayı olası kılıyorsa da özellikle çok sıcak yaz aylarında bazı elektrik hatlarının artan elektrik enerjisini taşıyamayacağı (Almanya'daki 8 nükleer santralin kapatılması sonucu bunlara bağlı elektrik ağları devre dışı kaldığından) özellikle Almanya'nın güneyine elektriğın iletilmesinde büyük sorunlar yaşanacağı özellikle yaz aylarında bekleniyor. Fukushima kazasından önce komşularına, fazla elektriğini satan Almanya, bu

kazadan sonra diğerlerinden bazı aylarda elektrik satın almaya başlamıştır. Üstelik nükleer santrallardan üretilen Fransız, Belçika ve Çek elektriği de AB şebekesinde zaten var. Bu ve diğer nedenlerle komşuları, Almanya'yı, nükleer enerjiden çıkmakta, acele ettikleri için eleştiriyorlar. Almanya'da yukarıda özetle verdiğimiz sorunların nasıl çözülebileceği ancak önümüzdeki yıllarda görülebilecek.

Almanya'da nükleer santralların 2023 yılına kadar art arda kapatılması planlanırken yukarıda sadece önemlilerini verdiğimiz sorunların ilerde nasıl çözümleneceği belirsiz.

(*) 1 kWh, örneğin 100 Watt'lık bir ampülün 10 saat yanmasıyla tükettiği enerji. Bu örnekten giderek 100 Watt'lık 1 milyon ampül 10 saat yakabilmek için 1 milyon kWh'lık ya da 1 GWh'lık enerji gerekiyor.

(**) Üretilen 'brüt' enerjiden, santralların ve pompaların çalışırken kullandıkları enerji ile elektrik ağındaki (şebekede) kayıplarının düşülmesiyle 'net enerjinin' bulunması gerekiyor ki bu her yıl değişiyor.

(+) Su pompalama: Elektriğin bol ve ucuz olduğu saatlerde alçak bir göletten/havuzdan yüksek bir yerdeki havuza suyun pompalanarak, elektriğe çok gereksinme olduğunda yüksekteki havuzdan suyun salınarak türbinlerin çalıştırılmasıyla elektrik üretimi (kazanılan potansiyel enerjinin, kinetik enerjiye dönüştürülmesi yoluyla)

Kaynaklar:

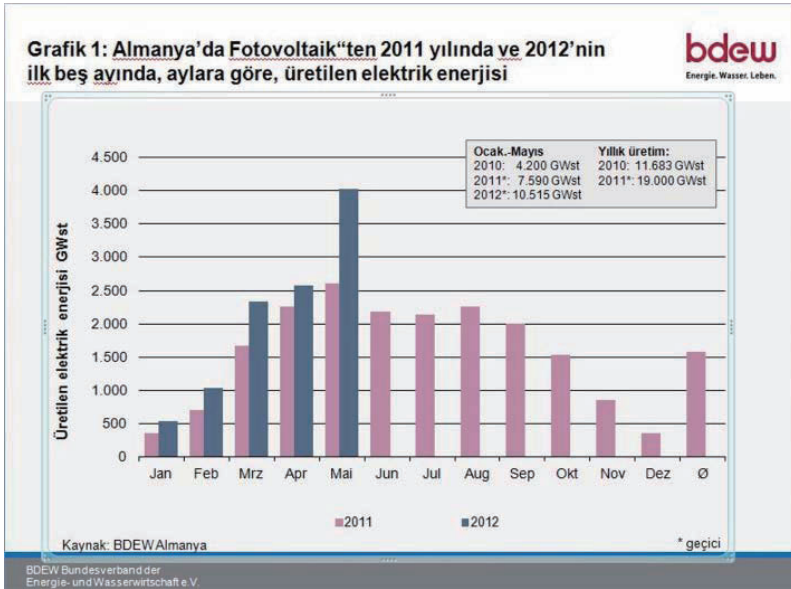
- /1/ BDEW Bundesverband der Energie-und Wasserwirtschaft eV. Juli 2012,
- /2/ EPIA (European Photovoltaic Industry Association, <http://www.epia.org/>),
- /3/ Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Dönüşüm, Prof.Dr.Metin Çolak, TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisi, Mayıs 2008,
- /4/ DSI 2009 ,2010 ve 2012 Çalışma Raporları:www.dsi.gov.tr,
- /5/ World Energy Outlook 2011 ve solar energy perspektives 2011 raporları, IEA
- /6/ Wind in Power 2011 European Statistics, EWEA
- /7/ Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)
- /8/ Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği raporları
- /9/ 19.10.2012 günü Cumhuriyet Bilim Teknik dergisi, Atakan,Y.
- /10/ www.leopoldina.org
- /11/ www.wwindea.org World Wind Energy half year 2013 report

'Almanya Fotovoltaik Enerjide Dünya Rekoru Kırdı!' Haberiyle İlgili Doğrular ve Yanlışlar.

Almanya'nın 25 Mayıs 2012 günü öğle saatlerinde güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle sağladığı 22 GigaWatt'lık (= 22.000 MegaWatt) 'elektrik gücün bir dünya rekoru olduğu Reuters ajansınca duyuruldu. Bu elektrik gücün 20 kadar nükleer santralin sağlayacağı elektrik gücüne eşdeğer olduğu da haberde vurgulandı. Sonradan bu haber çeşitli basın yayın organlarında ve internet sitelerinde yer aldı.

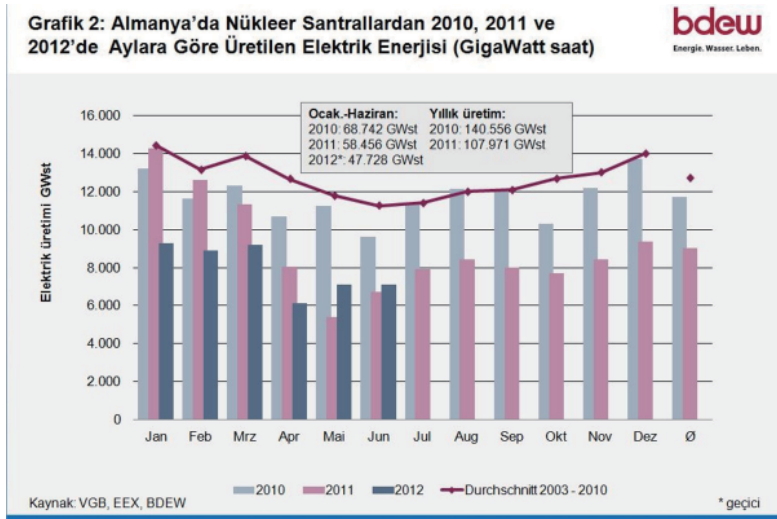
Bu haberdeki doğru ve yanlışları, bu konuyla ilgili basit hesaplamalarla birlikte, Almanya'da 2011 ve 2012 (Mayıs sonuna kadar) yıllarında gerçekleşen enerji üretim değerlerini gözönüne alarak açıklayalım:

Almanya'nın son 10-15 yıldır güneş enerjisinden elektrik üretimine hız verdiği ve bugün mevcut 1.100.000 adet fotovoltaik panel sistemiyle 25 Mayıs 2012 günü ulaşılan 22 GigaWatt'la bir dünya rekoru kırdığı haberi doğrudur ve bu övgüye değerdir. Ancak bu elektrik gücün, 20 kadar nükleer santraldan elde edilebilecek güce eşdeğer olduğu tümüyle yanlıştır. Bu, neden böyledir? Çünkü, Watt elektriksel güç birimidir ya da birim zamanda, saniyede, jeneratörle üretilen ya da örneğin elektrik ampulüyle tüketilen elektrik enerjisidir. Bu bir anlık (saniyelik) elektrik enerjisi (ya da daha doğrusu 'elektrik gücü'), ancak yıl boyunca bu düzeyde sürüyorsa, nükleer ya da fosil yakıtlarla üretilen enerjiyle karşılaştırmada bir anlam taşır. Bu açıklamayı, Grafik 1'deki değerlerle somutlaştırsak: 2011 ve 2012 yıllarında fotovoltaik yoluyla üretilen elektrik enerjisi miktarları Gigawatt-saat(GWh) olarak grafikte gösteriliyor.



22 Gigawatt'lık rekor elektriksel gücün yer aldığı Mayıs 2012'de bu yolla üretilen toplam elektrik enerjisi ise gerçekte 4.000 GigaWatt-saat'tir. Eğer 22 GigaWatt'lık elektriksel güç Mayıs ayı boyunca kesintisiz sürseydi: 22 x 30 gün/ay x 24 saat/gün = 15.840 GigaWatt-saat'lik elektrik enerjisi üretilmesi gerekirdi. Buradan güneşli Mayıs 2012'nin fotovoltaik veriminin: 4.000/15.840 = % 25 olduğu ortaya çıkar. Nükleer kaynaklı elektrik enerjisi

üretiminde ise uzun yılların aylık ortalaması 13.000 GW-saat'tir. 2011 yılında 8 nükleer santralin devreden çıkarılması sonucu Mayıs 2012'de üretim 7000 GW-saat'e düşmüş olmasına rağmen fotovoltaik'in Mayıs 2012'deki en yüksek değeri olan 4.000 GW-saat'ten çok daha yüksektir. Güneş ışınları şiddetinin, özellikle yaz günlerinin öğle saatlerinde en yüksek değerde olduğu bilinir. Güneşli olmayan günlerde enerjinin azalacağı ve geceleri de olmayacağı açıktır. Bu nedenlerle, Almanya'da 2011 yılında 24,8 GigaWatt'lık kurulu fotovoltaik güçle, 2011 sonunda $24,8 \times 8.760 \text{ saat/yıl} = 217.000$ GigaWsaat'lık elektrik enerjisi üretimi yerine sadece 19.000 GigaW-saat'lik elektrik üretilmiştir. (Bk.:Önceki yazıdaki Grafik 2YE). Buradan fotovoltaik yolla elektrik üretiminin 2011 yılındaki veriminin ya da kapasite kullanım oranının sadece $19/217 = \% 9$ kadar olduğu sonucu çıkar. Almanya'da 2011 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminde fotovoltaik'in payının sadece $\% 3$ kadar olması, nükleer ve fosil yakıtların her biriyle elde edilenle ($\% 20$ dolayında) karşılaştırıldığında çok düşük kalması haberdeki vurgulamanın gerçekte bir ilgisiz olmadığını gösteriyor (Bk. Grafik 2).



Nükleer yakıtla üretilen elektrik enerjisinde kapasite kullanım oranı ortalama $\% 75$ olup, fotovoltaik yolla üretilen $\% 9$ 'a karşılaştırıldığında çok yüksek olduğu görülüyor.

Sonuç

25 Mayıs 2012 günü fotovoltaik'le sağlanan 22 GigaWatt'lık elektriksel gücü eğer nükleer santraller sağlamış olsaydı % 75'lik verimle yıl boyunca ortalama elektriksel güç: $22 \times 0,75 = 16,5$ GigaWatt olacakken, fotovoltaikin yıl boyunca ortalama elektriksel gücü yaklaşık olarak sadece: $22 \times 0,09 = 2$ GigaWatt'ta kalmıştır. Bu ise, 1.350 MegaWatt'lık 20 kadar nükleer santralin sağlayacağı elektriksel güce eşdeğer değil, sadece 1.350 MegaWatt gücüne 2 nükleer santralin yıl sonuna kadar üreteceği enerji için, karşılaştırılabilecek, bir elektriksel güce eşdeğer demektir ($2.700 \text{ MegaWatt} \times 0,75 = 2.000 \text{ MegaWatt} = 2,0 \text{ GW}$). Bu nedenle, haberdeki nükleer santral karşılaştırması tümüyle yanlıştır ve yanıltıcıdır.

Kaynak: Bilim ve Gelecek dergisinin Kasım 2012 sayısı, Atakan, Y.

Not: Haberde, 22 Gigawatt 'elektrik gücü yerine, bunun geçen süreyle çarpımı olan ve bu miktarı, sanki uzun bir sürede üretilmiş enerji gibi algılabilecek, 'elektrik enerjisi' deyimini yanlış olarak kullanılmıştır.

'Almanya'da Fosil ve Nükleer Çağının Sonu mu?' Yazısı ve Bazı Gerçekler

Cumhuriyet BT'de 11 Ekim 2012 günü yayımlanan bir köşe yazısında özellikle Almanya'nın, nükleer santralleri Mayıs 2011'de kapatma kararı sonrası ortaya çıkan elektrik üretim boşluğunu, yenilenebilir enerjiyle kapatma gayretleri açıklanıyor. Bu konuda Almanya'daki gerçek durumu bu yazımızda açıklayalım:

Yenilenebilir enerji (YE) kaynaklı elektrik üretiminin, nükleer (NE) kaynaklı olanı geçtiği doğrudur, ancak bu, nükleer santrallerden 8 adedinin geçen yıl kapatılması ve işletmedeki nükleer santrallerin de yasa gereği, gerektiğinde sık sık durdurularak, elektrik ağına (şebekeye) öncelikle YE' kaynaklı elektriğin verilmesi sonucudur (2011'de toplam elektrik üretiminin % 18'i NE, % 20'si YE'den kaynaklanmıştır). Kömürden elektrik üretiminin toplamdaki payı ise Almanya'da 2011 yılında (linyitten % 25 ve taşkömüründen % 19 olmak üzere) toplam % 44'tür. Tüm fosil kaynaklı yakıtların toplam elektrik üretimindeki payı ise % 58 dir. % 20'lik YE'lere bakıldığında, güneş enerjisi kaynaklı (fotovoltaik) üretimin, tek bir yılda ancak 13,5 milyar Avro'luk devlet desteğiyle sağlanabilen artışına rağmen toplam üretimin sadece % 3'üne ulaştığı, rüzgâr enerjisinden üretimin % 7, biyokütle (odun vb. yakılması) % 5, su (hidrolik) enerjisi kaynaklı üretimin, toplamdaki payının ise % 3 olduğu görülür. Eskiden beri üretilen biyokütle ve su enerjisi kaynaklı üretim konumuzun dışında tutulursa, büyük devlet desteği alan fotovoltaik ve rüzgâr kaynaklı YE'lerin toplam katkısı % 10 kadardır. Bu küçümsenemez, ancak

nükleer santrallerin devre dışı kalmasıyla elektrik üretim boşluğunu yine fosil yakıtlı santrallerin karşıladığı ve karşılayacağı da açıktır.

2020 yılında YE kaynaklı elektrik üretiminin toplam üretimdeki payı % 35 olduğunda ise, arta kalan % 65 yine fosil yakıtlardan ya da bunun bir bölümü, komşu ülkelerin ürettiği AB şebekesindeki çoğu nükleer (Fransa'dan) ya da fosil kaynaklı enerjilerden sağlanacaktır. Bugün Almanya'da, nükleer santrallerin kapatılmasından doğacak enerji açığını kapatabilmek için, bir dizi fosil yakıtlı santralin yapımı ya da projesi sürmektedir/1/. Fosil yakıtların daha çok kullanılması sonucu ise CO₂ miktarının en azından % 20 artacağı da hesaplanıyor.

Öte yandan halk, YE'leri desteklemek amacıyla, elektrik faturalarına kWsaat başına eklenen 3,5 sentin 2013'ten itibaren 5.5 sente çıkarılmasını protesto ettiğinden ve yapımına yakında başlanması gereken 3.800 km²lik yüksek gerilim hatlarının yanı sıra rüzgâr kulelerini de yanı başında istemediğinden, bu sorunların nasıl çözümlenebileceği bilinmiyor/2//3/.

Kaynaklar:

/1/ http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Politische_Papiere_anderer/11.06.L Leopoldina_Empfehlungen_nach_Fukushima/11.06.L Leopoldina_Politische_Empfehlungen.pdf

/2/ Bkz: Bölüm 11'in başındaki yazılarımız,

/3/ 9 Kasım 2012 günlü Cumhuriyet Bilim Teknik dergisi, Atakan, Y.

Fotovoltaik Yöntemin Tarihçesi ve Fiziği

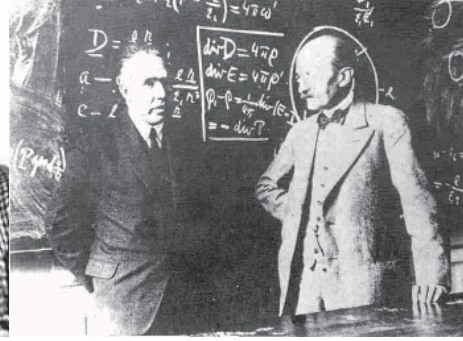
'Fotovoltaik' sözcüğü Yunanca 'ışık' ve 'pil'i ortaya çıkaran İtalyan fizikçi Alessandro '**Volta**' (1745-1827) adının birleşiminden oluşuyor. Türkçede 'güneş pili'de¹ denilen 'göze' ya da 'güneş hücresi', üzerine gelen ışığı doğrudan elektrik enerjisine çeviriyor. Her bir güneş hücresine çarpan ışığın şiddeti ve frekansı o hücrenin üreteceği elektrik enerjisinin bir ölçüsü. Fizikte 'Fotoelektrik Olay' denilen bu etkiyi, ilk kez Fransız fizikçi Alexandre Edmond **Becquerel** (1820-1891) elektrolit hücrelerinde deney yaparken 1839'da buluyor. *Becquerel deney yaparken*, platin anot ile katot arasındaki elektrik akımının aydınlıkta, karanlıktakine oranla biraz arttığını gözlemler. Buradan, üzerine ışık düştüğünde metal yüzeyin elektron saldırdığı sonucunu çıkarıyor. Bu olayı daha sonra Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), elektro-

¹ Aslında, fotovoltaik etki (fotoelektrik olay) sonucu, güneş ışınlarının enerjisini anında doğrudan elektrik enerjisine çeviren ve pillerdeki gibi depolamayan güneş hücrelerine 'güneş pili' denilmesi doğru değil.

manyetik dalgaların varlığını deneysel olarak göstermeye çalışırken gözlüyor. Olay, 1905 yılında Albert Einstein (1879-1955) tarafından açıklanana kadar bu olaya klasik fizik yasaları ile bir anlam verilemiyor.



Albert Einstein 1924 yılında
(1879 - 1955)



Standart Atom Modelini Öneren Bohr
(solda) ile 'kuantum'u öngören Max
Plank

Maxwell'in (1831-1879) klasik dalga kuramına göre; salınan elektronların enerjisi, çarpan ışığın şiddeti ile orantılı olmalıydı. Ancak gözlemler sonucu yayılan elektronların enerjilerinin ışık şiddetinden bağımsız olduğu ortaya çıkmıştı. Einstein, Planck'ın (1858-1947) kuantum öngörüsüne dayanarak bu olayı açıklamış ve Einstein'ın açıklaması sonradan Millikan (1868-1953) deneyleriyle de doğrulanmıştır. Buna göre, maddeye çarpan ışık dalga değil, herbiri

$$E = h \times f$$

(h : Planck sabiti², f : ışığın frekansı) enerjisindeki, sonradan foton denilen, taneciklerden oluşmalıydı. Işığın şiddetini artırmak birim zamanda yayılan foton sayısını artırıyor, ancak frekansın sabit olması sonucunda her bir fotonun enerjisi ise sabit kalıyordu. Foton madde yüzeyindeki bir elektrona çarptığında, $h \times f$ enerjisinin bir bölümü elektronu madde yüzeyinden (atomdan) sökmek için harcanırken, geri kalanıyla ise elektron kinetik enerji kazanıyor. Buradan ışığın (fotonların) çarpmasıyla maddeden saçılan elekt-

² Planck sabiti:

$h = 6,62608 \cdot 10^{-34}$ Joule · saniye

ronların enerjilerinin artmayacağı, tam tersi biraz azalacağı ve bir elektrik devresine yönlendirildiklerinde bir elektrik akımı oluşturacağı sonucu çıkıyor. Fotovoltaik ya da fotoelektrik olay, fizikte bu olguya dayanıyor.

Pratikte kullanılan güneş hücreli fotovoltaik (fotoelektrik) bir sistemde, yarı iletken bir maddenin (örneğin katkı maddeli silisyumun) elektrik yüklerinin (elektronların) ışığın etkisiyle serbest kalması sonucu, ışık enerjisi, elektrik enerjisine dönüşüyor. Güneş hücresi, genellikle 0,25 mm kalınlığında ve 10-15 cm kenar uzunluğundaki bir kare biçimindeki yarı iletken bir maddedir. Yarı iletken bir madde, ışığın ya da ısının etkisiyle iletken duruma geçerken, düşük sıcaklıklarda yalıtkan olarak kalıyor. Dünyada üretilen güneş hücrelerinin % 95'i yarı iletken silisyum'dan oluşuyor. Silisyum yer kabuğunda en çok bulunan maddeler (kum ve kaya) içinde ikinci sıradadır ve işlenmesi çevreye zararlı değil. Teknolojide güneş hücrelerinin ilk kullanımı, 1958'de *Vanguard 1* uydusunda gerçekleşti. Güneş hücreleriyle donatılan *Vanguard 1* uydusu, 7 yıl boyunca yeryüzüne bilgi ya da veri iletilmesini sağladı. Fotovoltaik hücrelerin gelişimine 1960-1970 arası havacılık sektörü öncülük etti (Fotovoltaik etki ve uygulamalarıyla ilgili daha ayrıntılı bilgiler için bk. /1, 2 /).

Ayrıntılı Kaynaklar:

/1/ Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Dönüşüm, Prof.Dr.Metin Çolak, TÜBİTAK Bilim ve Teknik dergisi, Mayıs 2008).

/2/ IEA-PVPS (International Energy Agency-Photovoltaic Power Systems, <http://www.iea-pvps.org/>)

Nükleer Kazalardan Baz İstasyonlarına Kadar Çelişkili Uzman Görüşlerinin Nedenleri?

Gerek Çernobil, gerekse Fukuşima nükleer kazalarının ardından çevreye ve uzaktaki bölgelere yayılan radyoaktif maddelerin sağlığa etkileri ve kanserden ölümler konusunda çeşitli uzmanların çelişkili görüşlerinin medyada yer aldığı biliniyor. Çernobil kazası sonucu ölümlerin milyonları bulduğunu ileri süren nükleer karşıtı kurum ve uzmanlar olduğu gibi, ölümlerin 30-40 kişiyle çok sınırlı kaldığını, bunların da kaza sonrası kurtarma ekipleri kazalarıyla ilgili olduğunu; santrale yakın bölgelerde ise daha çok çocuklarda tiroid kanserinin belirlendiğini açıklayan uzman raporları da var. Fukuşima kazası sonrası da benzer çelişkili açıklamalar yapılıyor. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 30 bağımsız uzmana ve onların yönetiminde yüzlerce araştırmacıya yaptırdığı Fukuşima kazası sonucu yayılan radyoaktivitenin, santrale 20-30

km uzaklıkta yaşayan insanlardan başlayarak tüm Japonya ve dünyaya etkileriyle ilgili geçen Şubat sonu açıklanan raporunda, radyasyon dozlarının ve insana etkilerinin çok sınırlı kaldığı, kanserden ölümlerinin artmasının pek beklenmediği yer alıyor /1, 2/. Buna karşılık, bazı uzmanların ve nükleer karşıtların açıklamalarında kanser ölümlerinin çok artacağı ileri sürülüyor.

Radyoaktiviteyle ilgili olmasa da, benzer çelişkili açıklamalar, baz istasyonlarının ve cep telefonlarının yaydığı elektromanyetik dalgaların insana olumsuz etkileriyle ilgili olarak da geçerli. Elektromanyetik dalgaların insanda baş ağrısı, uykusuzluk ve hatta kanser yapabileceğini ileri süren uzmanlar olduğu gibi, bu gibi etkilerin henüz bilimsel olarak sınınanarak belirlenmediğini; **ancak koruyucu bir önlem olarak cep telefonlarını daha az kullanmayı öneren bir dizi uzman raporu da var.**

Bu konulara yabancı olan halk, hangi uzmanın ya da kurulun sözüne güvenmek gerektiğini haklı olarak bilemiyor ve Fukuşima'daki gibi nükleer santral yakınında oturuyorsa kaygılanıyor, hatta psikolojik bunalıma, depresyona girebiliyor.

Çernobil ve Fukuşima kazalarında olduğu gibi havaya salınan radyoaktif maddelerin geniş bölge ve ülkelere yayılmasıyla ilgili bilimsel araştırmalar ancak, bu konularda deneyimli ve birçok ülkeden katılan çok sayıda araştırmacıyla, binlerce radyoaktivite, radyasyon doz ölçümleri, model çalışmaları ve epidemiyolojik (kohorten) araştırmalarla büyük paralar harcanarak yapılabiliyor. Ayrıca bu çeşit bilimsel araştırmalar sürüyor ve diğer çalışmalarla karşılaştırıp sınıyanıyor. Bu gibi kapsamlı bilimsel araştırmalar, uluslararası ilgili kurullarca (rneğin UNSCEAR)/4/) incelenip değerlendiriliyor ve elde edilen sonuçlar, teknik raporlarda gerekçeleriyle açıklanıyor. lkeler, uluslararası kurulların teknik raporlardaki nerileri ilgili yönetmeliklerine aktarıyorlar. Teknik raporlardaki değerlendirmelerde aykırı sonuçlara varan uzmanların yaptıkları araştırmalar da göz önüne alınıyor. Ancak, bazı araştırmacıların kısıtlı olanaklarıyla ancak yapabildikleri dar kapsamlı çalışmalarda yöntem yanlışları varsa ya da elde edilen sonuçlar diğer birçok araştırma sonuçlarıyla desteklenmiyorsa, bunlar göz önüne alınmıyor.

Uluslararası kurulların dünyadaki ilgili bilimsel araştırmaları değerlendiren teknik raporları, daha sonra yapılan araştırmalardaki ölçüm ve değerlendirme sonuçları göz önüne alınarak, zaman zaman güncelleniyor. Güncellemede dünyanın çeşitli yerlerinde yapılmış ve ilgili bilimsel dergilerde yayımlanmış olan tüm araştırmalar değerlendiriliyor ki, bunlar arasında aykırı sonuçlara varmış araştırmalar da olabiliyor.

Benzer durum, baz istasyonları ve cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların sağlığa etkisiyle ilgili olarak yapılan açıklamalar için de geçerli. Bu konuda da uluslararası bilimsel kurulların, kapsamlı araştırmala-

rı ve epidemiyolojik çalışmaların sonuçlarını değerlendiren raporları, bugün ulaşılabilen bilimsel düzeyi yansıtıyor. Bu demek değildir ki bunlar eleştirilemez. Kuşkusuz bu yapılmalı ve yapılıyor da. Ancak eleştiriler sözle değil, kapsamlı ölçüm ve değerlendirilmelerle yapılmalı. Bunlar ilgili bilimsel dergilerde yayımlanmalı medya haberleri olarak kalmamalı. Ancak böylelikle aykırı bulgular, uluslararası kurulun incelemesine alınıp değerlendirilebiliyor.

Bu nedenlerle, uluslararası bağımsız uzmanların yönetiminde yüzlerce araştırmacının birçok bölge ve ülkede yaptığı, binlerce radyoaktivite, radyasyon dozu ölçüm ve model çalışmalarını içeren değerlendirmelerle, çok yönlü epidemiyolojik araştırmaların, dar kapsamlı tekil araştırmalarla ya da bazı hesaplamalarla karşılaştırılmayacağı açıktır. Belirli aralıklarla güncellenen bu çeşit kapsamlı bilimsel araştırmalara güvenmemiz ve bu konuda daha kapsamlı bilimsel nitelikte araştırmalar ortaya konulup açıklanmadıkça, bunları bugünkü bilimsel düzey olarak kabul etmemiz doğru olacaktır.

Not: Epidemiyoloji ve Kohorten Araştırmaları

Büyük halk kitlelerinde kanser gibi hastalıkların sıklık ve dağılımını, nereden kaynaklandığını, etkenlerini; bunların yayılmasını ve şiddetini etkileyen koşullarla birlikte araştırıp inceleyen ve başka daha sağlıklı halk kitlelerindeki aynı cins olaylarla karşılaştırıp sonuçlar çıkaran bilim dalı.

Epidemiyoloji çerçevesinde yapılan, 'Kohorten araştırmaları' (ya da Gözlemlenen insan grupları, toplulukları araştırmaları), bir gruptaki bir ya da bir kaç etkenin hastalıklarla ilişkisini ortaya çıkarmayı amaçlıyor. Örneğin aynı yaş grubundaki sigara içenlerle içmeyen sağlıklı kişilerin uzun bir süre, hatta yaşamları boyunca gözlemlenmesi ve sigaranın etkisiyle hastalıkların ortaya çıkarılması bu (kohorten) araştırmalara giriyor. Bu çalışmalarda dışardan bir etki ve deney yapma yoktur sadece benzer gruplar / topluluklar gözlemlenerek farklılıklar aranıyor ve sonuçlar çıkarılıyor.

Kaynaklar

/1/ Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 28.02.2013 günlü Fukuşima kazasından etkilenenlerle ilgili hesaplanan radyasyon dozları ve riskleri raporu (WHO Report, Feb. 2013-Health risk assessment from the Fukushima nuclear accident 2011)

/2/ Bkz: 15 Mart 2013 günlü Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji dergisindeki Fukuşima Nükleer Kazasının Sağlığa Etkisi? başlıklı yazımız /Bu kitapta: 7.Bölüm'deki yazılarımıza bk. /.

/3/**UNSCEAR** 2006 Annex A: Epidemiological studies of radiation and cancer (Radyasyon güvenliğiyle ilgili araştırmaları değerlendiren uluslararası bilim kurulunun raporu).



ANA BÖLÜM V

EKLER

RADYASYONLA UĞRAŞANLAR VE
ÜNİVERSİTELER
İÇİN AYRINTILI AÇIKLAMALAR

Ek 1: Radyasyonlarla İlgili Açıklamalar

| | |
|---|---|
| <p>Alfa ışınları (α) (α tanecikleri)</p> | <p>Alfalar, helyum atomu çekirdeklerinden oluşuyor, her çekirdekte 2 proton ve 2 nötron var. Bazı radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden salınan alfalar, oldukça büyük kütleleri nedeniyle enerjilerini maddenin üst yüzeylerinde soğurularak yitiriyorlar. Hızları saniyede 15.000 km kadar olan alfalar bir kağıtta bile tutuluyorlar, havada 10 cm bile gidemiyorlar.</p> |
| | |
| <p>(Şekil E1-2)</p> | |
| <p>Beta ışınları (tanecikleri) (β)</p> | <p>Atom çekirdeklerinden, nötronun protona dönüşümü (Beta Bozunumu/Parçalanması) sırasında salınan/yayılan elektronlardan oluşan parçacık akımı (Beta parçacıkları da deniyor). Çok küçük kütleleri nedeniyle bunlar, alfalara göre daha girici olduklarından madde içinde daha uzun yol alıyorlar. Hızları sıfıra yakın değerlerle ışık hızı arasında olabilir. Havada birkaç metre gidebilirler. (Bk. Şekil E1-2)</p> |
| <p>Gama ışınları (γ) (elektromanyetik dalgalar)</p> | <p>Çok yüksek frekanslı elektromanyetik radyasyon, foto akımı. Atom çekirdeğinin bozunumu sırasında salınan elektromanyetik dalga (foton denilen enerji paketçikleri ya da kuantumlarının akımı). Işık hızıyla hareket eden gamaların enerjileri çok yüksek olup maddeye enerjilerini aktarana kadar epey yol alırlar ve ancak kurşun (Pb) gibi ağır özgül kütleli çok yoğun maddelerle frenlenebiliyorlar. Frekans, dalga boyu ve enerjileri kitabın başında, Bölüm 1, Şek.1.1' de bulunuyor.</p> |
| <p>Proton (p)</p> | <p>Atom çekirdeğindeki artı yüklü parçacık, Hidrojen Atomu Çekirdeği</p> |

| | |
|---|--|
| Nötron (Nötron ışınları ya da tanecikleri) (n) | Atom çekirdeklerinin doğal bozunumu sırasında salınan, elektriksel olarak yüksüz (nötr olan) nötron akımı. Nötronun kütlesi, atom çekirdeğindeki artı yüklü protondan biraz daha büyük. |
| Röntgen ¹ ışınları ya da X ışınları | Atomların dış yörüngelerindeki elektronların, çekirdeğe oldukça yakın yörüngelerde olabilecek boşluklara, dış ya da iç etkenlerle atılması sonucu ortaya çıkan elektromanyetik ışınlar olup bunların dalga boyları 0,01 ile 10 nanometre arasında. Bunlar da gama ışınları gibi yüksek enerjili girici ışınlar olup, gamalardan tek farkları atom çekirdeklerinden değil, atomların iç elektron kılıfından salınmaları. X ışınları, katottan çıkan hızlı elektronların tungsten (wolfram) gibi ağır metalden yapılmış anoddaki atom çekirdeklerinden saptırılırken de elde ediliyor ki bunlara frenleme ışınları ("Bremstrahlung") deniyor. |
| Radyasyon ve Enerjisi | Işık, ısıma, ısı, elektromanyetik dalga, foton ya da hızlı parçacık (tanecik) akımı. Fotonların enerjisi, f frekansıyla, h Planck katsayısının çarpımına eşit : E = h · f |
| Planck sabiti | h = 6,62608 · 10⁻³⁴ Joule · saniye |
| Radyasyon Enerjisi Birimi elektronVolt (eV) | 1 Elektron Volt (eV) , bir elektronun 1 voltluk bir potansiyel farkı altında kazanacağı kinetik enerji miktarı. Bir elektron volt çok küçük olduğundan, bunun bin katı olan "kilo elektron volt" (keV) ve milyon katı olan "Milyon elektron Volt" (MeV) çok kullanılır. Atom çekirdeklerindeki dönüşümlerde ortaya çıkan enerjiler pratikte çok küçüktür (Şek.E3): Enerji birimi : 1 eV= 1,6 · 10⁻¹⁹ Joule(J) ; 1 J = 6,24 · 10¹⁸ eV; (1 Watt= 1 Joule (enerji)/1 saniye). 1 J = 10⁷erg =1 Nm (Newtonmetre) = 1 Ws (Wattsaniye) Kuvvet birimi : 1 Newton = 1kg · 1m/s²: 1 J = 0,239 cal (Kalori) |
| Aktivite, Radyoaktivite ve birimi | Radyoaktif bir maddenin yayınladığı ışınlar yoluyla gösterdiği etkinliğe radyoaktivite, radyoaktiflik, ışınetkinlik ya da bazen kısaca aktivite deniyor. Radyoaktivite ölçüsü.radyoaktif bir maddenin atom çekirdeğindeki zaman birimindeki parçalanma/bozunma sayısı olup birimi Becquerel (Bq). |
| Becquerel² | 1 Bq = 1 adet çekirdek parçalanması /1 saniye Eski birim : 1 Curie: Saniyede 3,7 · 10 ¹⁰ adet çekirdek bozunması |
| İyonlaştırıcı ışınlar | Bk. Bölüm 1 |

¹ Wilhelm Conrad Röntgen (Röntgen ya da X ışınlarını bulan Alman fizikçi (1845-1923), Nobel ödülü: 1901 (Çok içine kapanık olan Röntgen toplum içine pek çıkmamış, gazetecilerle konuşmayı kabul etmemiş ve son bilimsel çalışma dosyalarının, ölümünden sonra yakılmasını yakın arkadaşlarından istemiş ve bunlar ne yazık ki yok edimştir.)

² Nobel ödüllü Fransız fizikçi Becquerel, Antoine Henri (1852-1908)'nin adından.

| | |
|---|--|
| İyon Çifti | Kitabın başına bk. (Bölüm 1). Örneğin bir gama fotonunun havadaki bir azot atomunun dış yörüngesinden bir elektron sökmesi sonucu, serbest bir elektronla, geriye bir elektronu eksik bir azot atomu (iyonu) kalmasıyla oluşan çift, 'iyon çifti' |
| Radyoaktif madde/ Radyoizotop/ Radyonüklid | Bir elementin atom çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunduğu, bu çeşit atomlar o elementin izotopları adını alıyorlar. Çekirdeklerindeki nötron fazlalığı sonucu izotopların çoğu 'kararsız' olduklarından radyasyon (ışın) salıp bozularak başka izotoplara dönüştüklerinden bu çeşit maddelere 'radyoaktif madde'(örneğin radyum, uranyum), ve bunların belirli örnekleri de 'radyoizotop' ya da 'radyonüklid' (örneğin Ra 226, U 235) adını alıyorlar. 110 kadar elementin toplam 2.500 kadar izotopu olup bunlardan 250 kadarı 'kararlı', diğerleri kararsız olan radyoizotoplardan oluşuyor (Kararlı izotop: Radyoaktivite özelliği göstermeyen ya da ışın salmayan atom çekirdeği) |
| Temel parçacıklar (Elementer parçacıklar) | Proton ve nötronlarla diğer tüm parçacıkları oluşturan kuark gibi atomaltı parçacıklarıdır. Bk.: Ek 16a ve http://physics.about.com/od/atomsparticles/a/particles.htm |
| Elektron | Atom çekirdeği çevresindeki yörüngelerde dolanan, çok hafif ve eksi yüklü atomaltı parçacığı. |
| Pozitron | Artı yüklü elektron. Atom çekirdeğinde bir protonun nötrona dönüşümü sırasında ortaya çıkıyor |
| Nötrino | Kütesiz ve elektriksel yüksüz enerji parçacıkları (kuantumlar) olup, atom çekirdeklerinin eksi ya da artı beta bozunumu sırasında nötronun protona ya da protonun nötrona dönüşümünde ortaya çıkıyorlar ve maddeyle etkileşmediklerinden giricilikleri çok fazla olup kolay yakalanamadıklarından kanıtlanmaları güç. Örneğin dünyayı hızla dolaşan 1 milyon nötrinodan sadece bir adedi maddede soğurulabildiğinden bunlardan organizmaya bir zarar beklenmiyor. |
| Yarılanma süresi ($T_{1/2}$) (fiziksel) | Belirli miktardaki bir radyoaktif maddenin, parçalanması sonucu yarıya inmesine kadar geçen süre. Örneğin : ¹³¹ I (iyot 131)'in yarılanma süresi : 8,02 gün ¹³⁷ Cs (sezyum 137)'nin yarılanma süresi : 30,17 yıl ²³⁵ U (uranyum 235)'in yarılanma süresi : 704 · 10 ⁶ yıl |

| | |
|---|--|
| <p>Biyolojik yarılanma süresi $T_{\frac{1}{2}}$ (Biyo)</p> <p>Etkin Yarılanma Süresi</p> | <p>Vücutta, ilgili organda birikmiş olan radyoaktif madde miktarının yarısının, biyolojik yollarla vücuttan atılmasına kadar geçen süre. Örneğin:</p> <p>^{137}Cs (sezyum 137)'nin biyolojik yarılanma süresi tüm vücut için 70 gün, kaslar için ise 140 gün.</p> <p>Biyolojik yarılanma süresi sabit değil, tüm vücut ve çeşitli organlarda farklılık gösterdiği gibi insanın yaşı ile de değişim gösteriyor. Ayrıca vücut bir elementin radyoaktif olanı ile olmayana arasında bir ayırım yapamadığından örneğin 70 günlük süre radyoaktif olsun ya da olmasın sezyum izotoplarının tümü için geçerli.</p> <p>'Etkin Yarılanma Süresi': Belirli bir radyoizotopun fiziksel ve biyolojik yarılanma sürelerini birlikte hesaba katarak, o izotopun vücutta yarılanmasına kadar geçen süreyi aşağıdaki bağıntıyla gösteriyor:</p> $1/T_{\frac{1}{2}}(\text{Etkin}) = 1/T_{\frac{1}{2}}(\text{Fiz}) + 1/T_{\frac{1}{2}}(\text{Biyo})$ |
| <p>Fotoelektrik ve Compton olayları</p> | <p>Gama ışınlarının maddeyle etkileşmesinde özellikle Fotoelektrik ve Compton olayları etkin oluyorlar. Şekil E1-2'de görüldüğü gibi gama ışınlarının, atomların kılıflarındaki elektronlarla etkileşmeleri bu olayları yaratıyor. Ayrıca enerjisi 1,02 MeV' u aşan bir gama ışını, bir atom çekirdeğinin elektriksel alanının etkisiyle bir elektron ve pozitrona dönüşerek ortadan kayboluyor (Çift Oluşumu Olayı). Ancak tüm bu olayların ortaya çıkma olasılığı oldukça az olduğundan, gama ışınları madde içinde etkileşmeden epey uzun yol aldıktan sonra frenlenebiliyor. Bu olaylar sonucu enerjileri artan elektronlar ise başka atomlarla etkileşerek enerjilerini yitiriyorlar.</p> |

Ek 2: Çeşitli Radyasyon Dozları ve Birimleri

İyon Dozu : Birimi =>Röntgen (R)

Röntgen (R), iyonlaştırıcı ışınların yolları boyunca her kilogram havada ürettiği elektriksel yük³ miktarından oluşuyor. Röntgen birimi sadece hava için kullanılmakta.

³ Elektriksel yük birimi, 1 Coulomb = 6,232 · 10¹⁸ e =>
1 Amper · 1 Saniye, Fransız fizikçi Coulomb Charles Augustin de (1736-1806)'nin adından



Wilhelm Conrad Röntgen'in, kendi adıyla anılan ışınlarla çektiği ilk resimlerden biri.

1 R = 2,58 · 10⁻⁴ Coulomb/1 kg hava (t= 0 °C derece ve p=1013 hPa için).

Röntgenin binde biri : 1 miliRöntgen(mR); ve saatteki doz hızı: mR/h ; 1 Röntgenin milyonda biri ise 1 mikro Röntgen (μR) olup, bu türeme birimler, havadaki radyasyon dozhızı ölçü aletlerinde çok kullanılmakta.

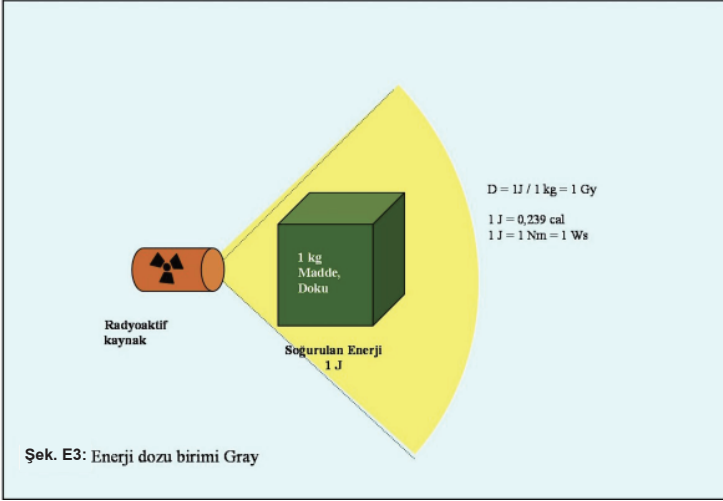
Enerji Dozu : Birimi => Gray (Gy)

Radyasyonun, sadece havaya değil, herhangi bir maddeye aktardığı enerjiyi gösteren, soğurma dozu olup birimi⁴ **Gray** .

1 Gray herhangi bir maddenin kilogramı başına 1 Joule enerji soğurmuna eşdeğer :

1 Gy = 1 J/kg madde (örneğin vücut dokusu). Bk. Şek. E3.

⁴ İngiliz fizikçi ve radyolog Louis Harold **Gray** (1905 – 1965)'in adından



Radyasyon dozu ≙ maddede soğurulan enerji

Eski birim: rad => radiation absorbed dose (radyasyon soğurma dozu):
1 rad = 0,01 Gray

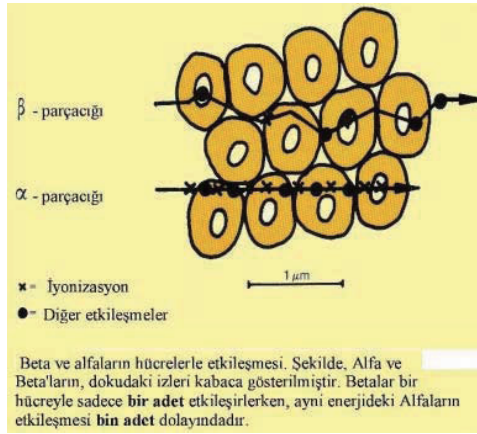
1 Joule'luk bir enerji pratikte çok küçük. Alışılmış 1 kalorinin dördte biri bile değil. Örneğin 100 gramlık bir çikolata paketini yerden 1 metre yukarı kaldırdığımızda yaptığımız iş nedeniyle vücudun yaktığı enerji 1 Joule'e denk geliyor. Buna eşdeğer enerji, iyonlaştırıcı ışınlarla vücuda aktarıldığında ise hücrelerin içindeki molekül ve atomlarda oluşan iyon çiftleri, hücrelerin çalışma düzenlerini etkileyip vücutta hasar ortaya çıkarabildiklerinden önemli olmakta ve bu nedenle bu değerlerin çok altındaki (yüzde biriyle binde biri arasındaki) radyasyon dozları, insan vücudu için üst sınır değerler olarak ülkelerin radyasyondan korunma yönetmeliklerinde yer alıyorlar.

Eşdeğer Doz Birimi ≙ Sievert (Sv)

Eşdeğer doz, iyonlaştırıcı ışınların biyolojik etkinliğinin bir ölçüsü. (Bk. Sek. E4) Vücutta aynı 'enerji dozunu' oluşturan α , β , γ gibi iyonlaştırıcı ışınlar vücuttaki doku ve hücrelerde farklı bozunmalara (hasarlara) yol açıyorlar. Örneğin kütleleri büyük alfalar deriyi geçerken enerjilerinin büyük bir bölümünü ya da tümünü derinin dış yüzeyindeki hücrelere aktararak bunlarda bozunma oluşturabiliyorlar. Bu nedenle alfaların hücrelerde oluşturduğu 'iyonizasyon yoğunluğu' çok büyük olduğundan 'sık ya da yoğun iyonlaştırıcılar' olarak da adlandırılıyorlar. Aynı enerji dozunu (Gy) oluşturan betalar ise, kütlelerinin

çok daha küçük olmaları sonucu, daha derinlerdeki hücrelere kadar girebilmelerinden, enerji soğurumu, yolları boyunca birçok hücrede oluyor. Betalara, bu nedenle 'seyrek iyonlaştırıcılar' deniyor. Böylece hücre başına düşen enerji soğurumu (ya da iyonizasyon yoğunluğu) azalıyor ve bunun sonucu olarak ılgılı hücreler daha az bozunmaya uğruyor. Buradan alfaların '**biyolojik etkinliğinin**', betalara oranla çok daha büyük olduğu görülüyor. Bu biyolojik etkinliği gözönüne alan '**Kalite Katsayıları**', iyonlaştırıcı ışınların cinslerine göre Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulunca (ICRP) belirleniyor:

Şekil E4, beta ve alfaların, hücrelerle etkileşmelerini gösteriyor.



Kalite Katsayıları

Beta ve Gama'lar için Kalite Katsayısı: 20

Alfa'lar için 20 (alfalar, beta ve gamalara oranla, vücutta 20 kat daha etkin).

Yüksek enerjili proton ve nötronlar için (enerjilerine göre) 'Kalite Katsayısı': 5 ile 20 arasındadır.

Bunun sonucu olarak 'Biyolojik Etkinliği' de hesaba katan **Eşdeğer Doz (H)** kavramı ortaya çıkmıştır ki bu da Gray (Gy) cinsinden 'Enerji Dozunun', 'Kalite katsayısı'yla çarpımından başka bir şey değildir:

$$H (Sv) = \text{Enerji Dozu (Gy)} \cdot \text{Kalite katsayısı (q)}$$

Kalite katsayısının birimsiz olmasına rağmen, 'Enerji Dozuyla' 'Eşdeğer Dozu' ayırmak için, Eşdeğer doz⁵ (H) birimi olarak Gray yerine **Sievert** seçilmiştir.

⁵ H : İngilizce Hazard (hasar, bozunma) sözcüğünden. Aslında İngilizce 'Hazard', Arapça 'hasar' sözcüğünden türemiştir.



İsveçli Tıp Doktoru ve Fizikçi, Radyasyon Fiziğinin kurucusu Rolf Maximilian Sievert (1896-1966) adından (Resim 1924 yılından)

Birkaç Sievert birimlik dozlar hücreler için büyük dozlar olduğundan, daha çok görülen düşük dozlar için **mSv** ve **µSv birimleri** kullanılıyor:

$$1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv} ; 1 \text{ µSv} = 10^{-6} \text{ Sv.}$$

Eski birim 1 rem (rad equivalent man) = 0,01 Sievert ; 1 Sv = 100 rem

Doz ve Dozhızı

Sievert (Sv): Vücutun soğurduğu radyasyon dozu için kullanılan birim. 1 Sievert, gama ve beta ışınları için, vücutun kg'ı başına 1 Joule'luk enerji soğurumuna eşdeğerdir. Bir saatte (h) alınan radyasyon dozuna da dozhızı deniyor: 1 Sv/h. Sievert büyüklüğünde bir radyasyon dozu (enerji) hücrelere aktarıldığında, hücrelerde bozunmaya neden olacak ölçüde yüksek bir doz olduğundan, radyasyondan korunmada Sievert'in binde biri düzeyindeki dozlar kullanılıyor:

1 Sv = 1000 mSv dozdur , doz hızı ise birim zamanda alınan dozdur.

Örneğin: 1mSv/h (saatte 1 mSv'lik doz)

Etkin Doz

Birimi => Sievert (Sv)

Vücutun çeşitli organ ve dokularının radyasyona duyarlılığı farklı olduğundan, bunları karşılaştırabilmek ve vücutun tümünün etkilendiği dozu

belirleyebilmek için 'Etkin Doz' kavramı türetilmiştir. Etkin doz, bir organ ya da doku için 'Eşdeğer Dozun', o dokunun radyasyona duyarlılığını gözönüne alan 'Ağırlık Katsayısıyla' çarpımından oluşmakta ve birimi Eşdeğer Doz birimiyle aynı: **Sievert. 'Etkin Doz' ile, 'herbir organ ve dokunun ya da 'tüm vücudun' ışınlanması durumunda ortaya çıkabilecek 'rastgele hasar riski' gözönüne alınmış oluyor. Böylece ağırlık katsayıları, ışınlanan ilgili organların ya da dokuların tüm vücuttaki rastgele hasar riskine olan katkılarını gösteriyor.**

Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulunca (ICR )-Raporuna göre) belirlenen

Doz Ağırlık Katsayıları

| | |
|------------------|------|
| Üreme organları | 0,20 |
| Göğüs | 0,12 |
| Kemik iliği | 0,12 |
| Ak ciğerler | 0,12 |
| Kemik yüzeyi | 0,01 |
| Tiroit bezi | 0,05 |
| Arta kalan vücut | 0,30 |

Tiroid bezi için olan 0,05'lik ağırlık katsayısının anlamı, örneğin 1 Sv'lik bir tiroit dozunun tiroitteki kanser oluşturma olasılığı (riski) ile, 0,05 Sv'lik Tüm Vücut Dozunun vücutta başlatabileceği kanser riskinin kabaca aynı olduğudur ($1 \text{ Sv} \times 0,05 = 0,05 \text{ Sv}$).

Vücuttaki herbir organ ve doku için ilgili ağırlık katsayısının eşdeğer dozla çarpılıp toplanmasıyla tüm vücut 'Etkin Dozu' bulunuyor. Tüm vücudun homojen olarak ışınlanması ya da organ ve dokuların ayrı ayrı ışınlanması sonucunda eğer aynı 'etkin doz' elde edilmiş ise, aynı hasar riski var demektir.

Topluluk Dozu (Kollektif Doz)

Bir topluluğun tümünün ışınlanmasında, kişi başına alınan dozun o topluluktaki insan sayısıyla çarpımı sonucu hesaplanan doz.Topluluk Dozu radyasyon risk hesapları için önemlidir. **Örneğin, Çernobil radyoaktivitesinin etkisiyle, Türkiye'de belirli bir yöredeki 10.000 kişinin her birinin vücudunda yaşamboyu 10 mSv'lik etkin bir doz oluşmuş ise, bu topluluk için: $10 \text{ mSv} \times 10.000 \text{ kişi} = 100.000 \text{ kişi mSv}$ ya da $100 \text{ kişi Sv'lik bir topluluk dozu oluşmuş demektir.}$**

Ek 3 : Aktiviteden Dozhızına, Doz ve Risk Hesaplarına Geçiş İçin Bir Hesaplama Örneği

Fotoğraf filmi üzerine düşen bir ışın demetinin filmi, güneşli ya da kapalı bir havada çok ya da az karartmasında olduğu gibi, birim alana saniyede çarpan tanecik (foton) sayısı (ya da ışın demetinin akısı) çoğaldıkça çarptığı yüzeye örneğin vücuda daha çok enerji aktarılacağından etki ve dolayısıyla genellikle hasar da büyüyor. Örneğin 100.000 Bq'lık **noktasal** bir Cs 137 kaynağı % 92 olasılıkla 0,662 MeV'luk gama ışınları (fotonları) yaydığıında, kaynaktan 40 cm uzaklıktaki bir insanın vücutuna çarpan ışın demetinin akısı (Noktasal kaynağın bir kürenin merkezinde bulunduğu ve yaydığı ışınların r yarıçaplı kürenin tüm iç yüzeyine doğru yayıldığı gözönüne alınarak):

$$100.000 \text{ (parçalanma/saniye)} \cdot 0,92 \gamma/4\pi r^2 =$$

$$100.000 \cdot 0,92/4 \cdot 3,14 \cdot 1.600 = 4,58 \gamma/\text{cm}^2\text{s}$$

Noktasal kaynaktan r = 40 cm uzaklıktaki bir insanın vücut yüzeyinin cm²'sinin saniyede hedef olduğu enerji ise:

$$4,58 \gamma/\text{cm}^2\text{s} \cdot 0,662 \text{ MeV} = 3,03 \text{ MeV} /\text{cm}^2\text{s}$$

Ancak vücut yüzeyinden vücuda giren her bir gama ışını vücutta soğurulmadığı için vücuda sadece belirli bir miktar enerji aktarır. Vücutun her cm derinliği başına enerjilerini bir miktar aktararak soğurulan gamaların oranının hesaba katılması gerekir ki bu da 'lineer toplam enerji soğurma katsayısıyla (μ) veriliyor (Bu enerjideki gamalar ve vücut için $\mu = 0,032 /\text{cm}$).

Buradan vücutun cm³'ne 1 saniyede aktarılan enerji ya da dozhızı : 3,03 MeV /cm²s · 0,032/cm = 0,096 MeV /cm³s; 1 saatte ise : 0,096·3600s/h = **345 MeV/ cm³h** ya da Enerji Doz birimlerinde:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 6,242 \cdot 10^{12} \text{ MeV} \text{ ve } 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

D_{hızı} = 345·1,6·10⁻¹³J/ cm³h = 0,55·10⁻¹⁰J/ cm³h ve 1 Gy= 1J/kg ve vücut dokusu yoğunluğu da 1 g /cm³ alınarak

$$D_{\text{hızı}} = 0,55 \cdot 10^{-7} \text{ Gy/h} = 0,055 \mu\text{Gy/h}$$

Noktasal radyasyon kaynağının aktivitesi örneğin 20 kat daha büyükse (20·10⁵ Bq): 40 cm uzaklıktaki dozhızı: 1,1 $\mu\text{Gy/h}$ olur.

Radyoaktif kaynaktan 10 cm uzaklıktaki enerji doz hızı hesaplanmak istenirse, dozhızı 40²/10² = 16 kat daha büyür: 17,6 $\mu\text{Gy/h}$ (10cm uzaklıktaki vücutta).

Noktasal kaynak yerine, dikdörtgen bir 'plaka-kaynak' alınır (yapılan yaklaşık hesaplara göre) dozhızı 3 kat kadar artıyor: **50 $\mu\text{Gy/h}$ (10 cm uzaklıktaki vücutta.)**

Bu doz hızı vücuda 1 saate aktarılan γ -dozu olup örneğin günde kabaca 10 saat bu radyasyon kaynağına hedef olan bir kişinin alacağı doz

500 μ Gy = 0,5mGy (=0,5 miliGray) ve 300 günde de 150 mGy olur. Gama ışınları için Kalite Katsayısı 1 olduğundan Gray yerine Sievert (Sv) alınarak Toplam **Eşdeğer Doz olarak 150 mSv buluruz (300 günde alınan doz) ki bu örnekteki doz oldukça büyüktür (yilda alınan doğal radon dozunun 100 katından çok)**

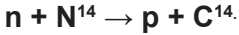
Kitle Işınlanması örneği :

Yukardaki dozu örneğin 100.000 kişilik bir kitleden her biri almış ise : $150 \cdot 100.000 = 15 \cdot 10^6$ kişi·mSv = 15.000 kişi·Sv ve 0,05/Sv kanser risk katsayısı hesaba katıldığında $15.000 \times 0,05 = 750$ kişi elde edilir ki bu 100.000 kişilik kitle içinden rastgele 750 kişinin kansere yakalanıp ölebileceği anlamını taşır.

Bu yaklaşık hesaplama yöntemi, 1986/1987 yıllarında çay çuvallarını sırtlarında taşıdığı düşünülen işçilerin vücut dışından ışınlanma yoluyla hasar riski düzeyini gösteren bir örnek olabilir (20 kg çay çuvalı ve yukarda verilen toplam radyoaktivite ön görülerek). Çok daha gerçekçi hasar riski hesaplaması, ancak işçilerin çalışma koşul ve sürelerinin, gerçeğe uygun radyasyon kaynağı geometrisi ve daha ayrıntılı bilgisayar programlı hesaplarla birlikte, hem çay çuvallarından ve hem de çay bahçe, toprak, 'fabrika çay taşıyıcı bandları' ve depolarından yayılan ışınların ve buralardaki işçilerin geçirdiği yaklaşık sürelerin hesaba katılmasıyla yapılabilir ki bu bir 'araştırma tezi olabilecek' kapsamda bir çalışma olabilir. Ayrıca insan vücudu için tüm hasar riski hesaplanırken, vücut içine sindirim ve solunum yoluyla alınan radyoaktif maddelerin vücutta oluşturduğu dozların, hesaplanan dış radyasyon dozlarına eklenmesi de gerekiyor. Diğer yandan çaydaki radyoaktivitenin sabit kalmayacağı, hem çeşitli çay örneklerinde ve günlerde farklı değerler alacağı hem de aktivitesinin radyoaktif parçalanmayla zamanla azalacağı gözönüne alındığında hasar riskinin, yukardaki kaba hesaplamayla bulunan sonuca uymayacağı da açık. Bu nedenle yukardaki hesaplama, okurlara bu konuda bugün izlenen yaklaşık yöntemi formül kullanmadan, radyasyon fiziği temel kavramlarıyla manik sıralamasıyla açıklamak için sadece bir örnek niteliğinde.

Ek 4: Kozmik Işınlarla İlgili Bazı Ayrıntılar

Uzayın derinliklerinden gelen kozmik ışınların % 89 kadarı hidrojen atomu çekirdeği olan protonlardan, % 10'u helyum atomu çekirdeği olan alfa parçacıklarından ve % 1'i de daha ağır elementlerin çekirdeklerinden oluşuyor. Kozmik ışınlar pozitron, müon ve pi mezon'un ortaya çıkarılmasını (keşfini) sağladılar. Kozmik ışınlar havadaki azot ve oksijenle çarpıştıktıklarında bunlardan elektron sökerek (bunları iyonlayarak) başka bir dizi kimyasal tepkimeler oluşturuyorlar. Bu tepkimelerin biri havadaki ozon azalımıyla sonuçlanıyor. Kozmik ışınlar ayrıca, atmosferdeki karbon 14 gibi bir dizi kararsız radyoizotopun oluşumunun da etkenidir (Bk. Bölüm 2, Şekil 2.3) Örneğin kozmik kaynaklı nötronun havadaki azot çekirdeğiyle çarpışmasıyla C^{14} ve bir proton oluşuyor:



Benzer çarpışmalarda elektriksel yüklü, enerjileri çok yüksek, girici parçacıklar olan mezonlar oluşuyor Örneğin pozitif ve negatif yüklü pion ve kaon'lar. Bunlardan da müon'lar ortaya çıkıyor (Ayrıntılar için bk. **Ek 16a**). Yeryüzüne ulaşabilen müonlar yerin derinliklerindeki mağaralara kadar girebiliyorlar. Müon'ların varlığı, çeşitli radyasyon algılayıcılarıyla (detektörlerle) kolaylıkla ölçülerek ortaya çıkarılabiliyor. Aynı anda farklı detektörlerle ölçülebilen müon'lar yukarıdan aşağılara doğru 'müon duşu' olduğunu gösteriyor.

Kozmik ışınlar, 1950 lerde başlayan nükleer bomba denemelerine kadar, atmosferde bulunan yaklaşık 70 ton C^{14} miktarını en azından son 100.000 yıldır sabit tutuyor. Bu gerçek, arkeolojide radyokarbon yöntemiyle yaş belirlemede işe yarıyor.

Her yıl aldığımız doğal radyasyon dozunun % 15 kadarını oluşturan kozmik ışınlar, yükseldikçe artan kozmik ışın dozu nedeniyle, uçak personelinin aldığı doğal radyasyon dozunu iki katına kadar çıkarabiliyor (Bkz Bölüm 3). Deniz kıyısında, bir kişinin yılda aldığı ortalama 0,3 mSv'lik kozmik ışın dozu çok yüksek yerlerde oturanlarda 1 mSv'e kadar yükselebiliyor.

Çizelge 1: Kozmik ışınlarla atmosferdeki azot ve oksijenle tepkimelerden oluşan önemli üç radyoizotop

| Çekirdek | Simge | Yarılanma Süresi | Kaynak | Doğal Radyoaktiviteleri |
|------------------------|-----------------|------------------|--|--------------------------------|
| Karbon 14 | ^{14}C | 5730 yıl | Kozmik ışın tepkimeleri, $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ | 0,22 Bq/g (organik maddede) |
| Hidrojen3 (Trityum) | ^3H | 12,3 yıl | Kozmik ışınların N ve O ile çarpışmalarıyla oluşan $^6\text{Li}(n, \text{alfa})^3\text{H}$ | $1,2 \times 10^{-3}$ Bq/kg |
| Berilyum 7 | ^7Be | 53,28 gün | Kozmik ışınların N ve O ile çarpışmalarıyla | 0,01 Bq/kg |



Kozmik ışınların çarpmasıyla atmosferde oluşan başka önemli radyoizotoplar, bunların yarılanma süreleri ve üretildiği tepkimeler:

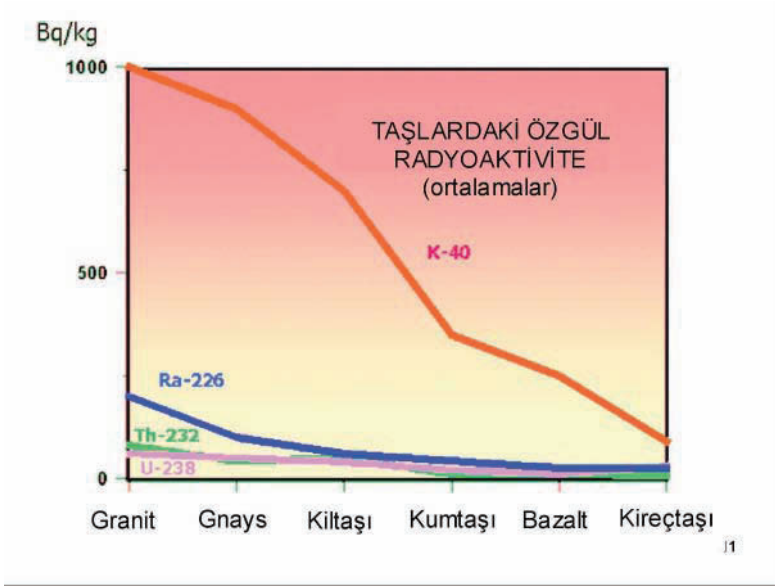
- Berilyum 10 (1,39 milyon yıl: $^{14}\text{N}(n,p,\alpha)^{10}\text{Be}$ (Spallation)
- Sodyum 22 (2,6 yıl)
- Sodyum 24 (15 saat)
- Magnezyum 28 (20.9 saat)
- Silikon 31 (2,6 saat)
- Silikon 32 (101 yıl)
- Fosfor 32 (14,3 gün)
- Sülfür 35 (87.5 gün)
- Sülfür 38 (2.8 saat)
- Klor 34 m (32 dakika)
- Klor 36 (300.000 yıl)
- Klor 38 (37,2 dakika)
- Klor 39 (56 dakika)
- Argon 39 (269 yıl)
- Kripton 85 (10,7 yıl)

Ek 5: Yerkabuğu Kaynaklı Radyasyonlar

Bunlar, çevremizdeki toprak, su, hava ve yapı malzemesi gibi daha birçok ortamda doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlardır. Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri kabaca yerküresinin jeolojik yaşı kadar (10^9 yıldan çok) olmakla birlikte bunlardan türeyen radyoizotoplar çok daha kısa yarılanma süreli. Yer kabuğunda bulunan önemli radyoaktif maddeler olarak Toryum, Uranyum-Aktinyum ve Uranyum-Radyum dizilerindeki radyoizotoplar sayılabilir ki bunların tümü bir dizi radyoaktif bozunma (parçalanma) sonucunda kurşuna (Pb) dönüşerek, atom çekirdekleri kararlı duruma geçerek 'radyoaktivite özelliklerini' yitiriyorlar.

Çizelge E 5.1: Primordial radyoizotoplar (yerkabuğunun oluşumundan beri bulunanlar)

| Radyoizotop | Simge | Yarılanma Süresi | Doğada bulunma oranı |
|-------------|-------------------|---------------------------|---|
| Uranyum 235 | ^{235}U | $7,04 \times 10^8$ yıl | 0,72% (Toplam doğal uranyumun) |
| Uranyum 238 | ^{238}U | $4,47 \times 10^9$ yıl | 99,27% (Toplam doğal uranyumun); Toplam doğal uranyum (genellikle kayalarda): 0,5-4,7 ppm |
| Toryum 232 | ^{232}Th | $1,41 \times 10^{10}$ yıl | 1,6-20 ppm genellikle kayalarda, ortalama olarak: 10,7 ppm (= 11 g/10 ton) |
| Radyum 226 | ^{226}Ra | 1600 yıl | Kireçtaşında: 16 Bq/kg ; kayalarda: 48 Bq/kg |
| Radon 222 | ^{222}Rn | 3,82 gün | Asal Gaz; ABD'de açık havada yıllık ortalama derişimi : 0,6 Bq/m ³ -28 Bq/m ³) |
| Potasyum 40 | ^{40}K | $1,28 \times 10^9$ yıl | Toprakta : 37-1100 Bq/kg (Yerkabuğunun % 2'i potasyum, bunun da % 0,01 K-40) |



Şek E6

Çizelge E 4: Çeşitli kaya ve toprak cinslerinin tipik özgül radyoaktiviteleri

(Bu değerler, yerine göre, büyük ölçüde değişebilir).

| Kaya ve Toprak cinsi | Özgül Radyoaktivite (Bq/kg) (Kuru maddede) | | |
|----------------------|---|-------|------|
| | K40 | Th232 | U238 |
| Granit | 1000 | 80 | 60 |
| Bazalt | 250 | 10 | 10 |
| Kireçtaşı/Kalker | 90 | 7 | 30 |
| Kumtaşı | 350 | 10 | 20 |
| Kilyaprak taşı | 700 | 50 | 40 |
| Gri toprak | 650 | 50 | 35 |
| Kara toprak | 400 | 40 | 20 |
| Ağartma Toprağı | 150 | 10 | 7 |
| Bataklık | 100 | 7 | 7 |

Kaynak: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 1995

Ek 6: Yapı Malzemesindeki Doğal Radyoaktivite ve Sınırlamalar

Taş, tuğla, beton gibi yapı malzemeleri yer kabuğundan kaynaklanan birçok radyoaktif maddeyi yerine göre az ya da çok içerebiliyor. Bunlardan, radyasyon fiziği ve biyolojisi yönünden en önemlileri:

Ra 226, Th 232 ve K 40

Herhangi bir yapı malzemesinin, vücutta oluşturabileceği radyasyon dozuna bir sınırlama getirmek amacıyla radyum eşdeğerini (Ra_{es}) temel alan ve Leningrad Ölçütü (**B**) de denilen aşağıdaki bağıntı kullanılıyor. Bu bağıntıdaki Ra, Th ve K simgeleri malzemenin kilogramı başına olan ilgili özgül radyoaktiviteleri gösteriyor.

$$B = Ra/370 + Th/259 + K/4800 = 0,0027 Ra + 0,00386 Th + 0,00021 K$$

B'nin iki yanı 370 ile çarpıldığında, ilgili bilimsel yayınlarda çok karşılaşılan ve Radyum Eşdeğeri (Ra_{es}) adındaki aşağıdaki bağıntı ortaya çıkıyor:

$$Ra_{es} = B \times 370 = Ra + Th (370/259) + K (370/4800) = Ra + 1,43 Th + 0,077 K$$

Bu bağıntı, ilgili yapı malzemesinde kg başına 370 Bq Ra226, 259 Bq Th232 ve 4810 Bq K40 miktarlarındaki özgül radyoaktivitelerden herbirinin aynı gama dozunu oluşturduğunu gözönüne almakta. Bu bağıntının kaynağı, genellikle sınır değer olarak alınan 370 Bq/kg'lık Ra 226 özgül radyoaktivitesinden daha düşük radyoaktivitedeki maddelerin serbest dolaşımına izin verilmesi ve bu değer üstündekiler için ise yetkili kurumlara bildirim zorunluğu. Buradan görüldüğü gibi malzemede sadece radyum bulunsaydı 370 Bq'lık sınır değer aşılması için ilgili malzemedeki radyum radyoaktivitesinin 370 Bq'ın altında kalma zorunluluğu sonucu B'nin 1 den küçük olması gerekirdi ya da en çok : $B = 370/370 = 1$ olabilirdi. Malzemede radyumun yanı sıra genellikle Th ve K da bulunduğundan tüm toplam için B'nin ancak 1 den küçük olması durumunda malzeme için 370 Bq'lık sınır değer korunabiliyor ve bu bir yapı malzemesi sınıflandırma ölçütü oluyor. Ancak bu bir ilk sınıflandırma olup kritik durumlarda, malzemedeki diğer tüm radyoizotopların ölçülmesi ve yapılan binanın ne amaçla ve içinde ne süre kalınacağına hesaba katılması gerekiyor. Bu ölçüt, hem dıştan ve hem de içten radyasyonlarla ışınlanma durumunda geçerli olduğundan, malzemenin yaydığı **radon** gazından oluşan katkı da kritik durumlarda ölçülüp belirlenmelidir. Bu nedenle vücudun dıştan ve içten ışınlanması gözönüne alınarak, her bir ışınlanma yolu için B/2 değeri alınması doğru olur.

Örnek : B'nin beton için belirlenmesi:

Yapı malzemesinde radyoizotop ölçümleri genellikle gama spektrometresiyle yapılıyor.

Ortalama özgül aktiviteler : 30 Bq/kg Ra 226, 23 Bq/kg; Th 232 ve 450 Bq/kg K 40 için B= 0,26 bulunur ve 1'den ve hatta 0,5 den küçük olan bu değer, betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasında, radonun katkısı dahil, bir sakınca olmadığını gösteriyor. Ancak herhangi bir beton için bu ortalama değer geçerli olamayacağından, kullanılacak beton için ölçümlerin ve hesaplamaların yapılıp karar verilmesi gerekiyor.

Çizelge E 5: Toprağın 5-15 cm kadar üst yüzeyinde bulunan önemli radyonüklitlerden kaynaklanan 1 m yükseklikteki etkin gama dozhızları (UNSCEAR 2000)

| Radyonüklit | Topraktaki Özgül Aktivite başına Etkin Dohızı (nSv/h/Bq/kg) | Enerji dozu başına Etkin Doz (Sv/Gy) |
|---------------|---|--------------------------------------|
| K 40 | 0,033 | 0,709 |
| Th 232 dizisi | 0,51 | 0,695 |
| U 238 dizisi | 0,35 | 0,672 |

Not: Ölçü sonuçlarından o yöredeki kozmik ışın dozhızının düşölmesi gerekir.

Ek 7: Ölçülen Doz hızı'ndan Gidilerek Topraktaki Radyoaktiviteyi Kabaca Belirlemek

Çizelge E 5'de herbir radyonüklit için topraktaki özgül radyoaktivite başına, topraktan yaklaşık olarak 1 m yükseklikte ölçülen etkin doz hızı değerleri (UNSCEAR 2000) veriliyor. Görüldüğü gibi önemli katkılar **Th 232** ve **U 238** dizilerindeki radyonüklitlerden kaynaklanıyor, K 40'ın katkısı bunların yanında çok az olup 0,033 nSv/h değeri ölçüm duyarlığına bile girebilir.

Ölçülen doz hızının topraktaki **Th 232** ve **U 238** dizilerindeki radyonüklitlerden, aşağıdaki oranlarda kaynaklandığı varsayılırsa:

Th 232 dizisindeki radyonüklitlerin doz hızına katkısı:

$$0,51 / (0,51 + 0,35) = \% 60$$

U 238 dizisindeki radyonüklitlerin doz hızına katkısı:

$$0,35 / (0,51 + 0,35) = \% 40 \text{ bulunur.}$$

Çizelgedeki değerlerden ve ölçülen doz hızından gidilerek topraktaki özgül radyoaktiviteler Bq/kg olarak orantıyla kabaca belirlenebilir.

Örnek:

Çanakkale Hantepe kıyısında 2006'da farklı iki yerde ölçülen doz hızlarından 600 nSv/h ve 10.000 nSv/h değerleri için sırasıyla:

1. $(600 \text{ nSv/h} \times 0,60) / 0,51 = 706 \text{ Bq/kg}$ ve 11.765 Bq/kg **Th 232 dizisi radyonüklitleri**
2. $(600 \text{ nSv/h} \times 0,40) / 0,35 = 686 \text{ Bq/kg}$ ve 6.860 Bq/kg **U 238 dizisi radyonüklitleri**

Bu değerler TAEK Hantepe 2006 ölçümleriyle uyumludur.

Hantepe plajı sahil kumunda ölçülen 11.000 nSv/h doz hızına karşılık topraktaki toplam özgül radyoaktivitenin 10.000 Bq/kg'dan daha büyük olduğu Çanakkale Radyasyon ve Çevre Sempozyumu 2006 kitabında yer alıyor (Bk. Sayfa 14 ve 16/Ş. Can TAEK)

Ek 8a: İnsanda Oluşan Yıllık 'Etkin Radon Dozunun' Hesaplanması (UNSCEAR)

Havadaki radonun insanda oluşturduğu doz:

Kapalı yerlerde (% 80):

$$40 \text{ Bq/ m}^3 \times 0,4 \times 7,000 \text{ h} \times 9 \text{ nSv/Bq h/ m}^3 = 1.0 \text{ mSv}$$

Açık yerlerde (% 20):

$$10 \text{ Bq/ m}^3 \times 0,6 \times 1,760 \text{ h} \times 9 \text{ nSv/Bq h/ m}^3 = 0.095 \text{ mSv}$$

Bağıntıdaki 0,4, kapalı yerlerde radonun, radyoaktif bozunma ürünleriyle olan denge katsayısını ve % 80, % 20 oranları da insanların sırasıyla kapalı ve açık yerdeki bulunma süreleriyle ilgili oranlar olup bunların 8.760 h/yıl ile çarpımlarıdır.

Ek 8b: İçme Sularındaki Radonun İnsanda Oluşturduğu Dozun Hesaplanması

İçme sularındaki radon sonucu insanda oluşan dozu hesaplarırken, her şey den önce sudaki radon derişimini (konsantrasyonunu), sonra da bu sudan yılboyunca ne kadar içildiğini bilmek gerekiyor. Ayrıca, daha da önemlisi, evlerde radonlu su kullanılırken havaya geçen radonun, evlerdeki havalandırma durumuna göre akciğerlere ne kadarının ulaşabileceğini de hesaplamak gerekiyor. Özetle içme sularındaki radon insanı iki yolla etkiliyor:

1. İçme suları evlerde kullanılırken bir miktar radonun havaya geçmesi sonucu, solunan hava yoluyla akciğerlerin etkilenmesi (**Solunum yoluyla**)
2. Bu suların içilmesi sonucu midenin etkilenmesi (**Sindirim yoluyla**)

Solunum yoluyla: Sudaki radon derişimi, dünya ortalaması olarak 10 kBq/ m³, bunun havaya geçme oranı 10⁻⁴ ve solunan hava için radon doz katsayısı 9 nSv/Bq alınarak, sudaki radondan akciğerlerde oluşacak doz aşağıdaki gibi 0,025 mSv bulunuyor.

$$D_{\text{solunum}} = 10 \text{ kBq/ m}^3 \times 10^{-4} \times 7.000 \text{ h} \times 0.4 \times 9 \text{ nSv/Bq h/ m}^3 = 0.025 \text{ mSv}$$

Sindirim yoluyla: Sudaki radon derişimi 10 kBq/ m³, bu sudan miğdeye ulaşan miktar yılda ortalama 60 litre ve doz katsayısı olarak da 3,5 nSv/Bq alındığında, miğdede yılda kişi başına oluşacak doz 0,002 mSv 'dir.

$$D_{\text{sindirim}} = 10 \text{ kBq/ m}^3 \times 60 \text{ litre /a} \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{ litre} \times 3.5 \text{ nSv/ Bq} = 0.002 \text{ mSv.}$$

Buradan görüldüğü gibi, içme suyunun içilmesi sonucu vücutta (miğdede) oluşan sindirim dozu (D_{sindirim}), içme suyundan kapalı yerlerin havasına

ulaşan radonun vücutta oluşturduğu solunum dozundan (D_{solunum}) çok daha az (sadece % 8'i).

Yukardaki sonuçlar toplanırsa : 1,12 mSv/a bulunur. Buna, kanda erimiş radonun 0,05 mSv/a ve toron'un 0,10 mSv/a katkıları da eklenirse toplam $D_{\text{Toplam}} = 1,30$ mSv/a kadar olur. Bu hesaplamalar radon ve torondan oluşan ve çoğu kısa yarılanma süreli olan atom çekirdeklerinin (radyoaktif bozunma ürünlerinin) katkılarını da içeriyor (UNSCEAR).

Ek 9: Sulardaki Yabancı Maddelerden Herhangi Biri İçin Sınır Değerin Hesaplanması

Oransal toplamlar bağıntısı

Herhangi bir maddenin (kimyasal ya da radyoaktif) sudaki derişimi, örneğin litrede mikrogram olarak ($\mu\text{g/L}$) C_i ve o madde için sınır değer G_j ($\mu\text{g/L}$) ise: $\sum C_i/G_j \leq 1$ ya da açık olarak yazılırsa:

$$(C_1 / G_1) + (C_2 / G_2) + (C_3 / G_3) + \dots \leq 1 \text{ bağıntısı korunmalı.}$$

Suda tek bir yabancı madde varsa, bunun sudaki derişiminin 'en çok' sınır değer kadar olacağı açık:

$$C_1 / G_1 = 1 \text{ ya da } C_1 = G_1$$

Suda iki madde bulunuyorsa (rneğin Arsenik ve Bor) sınır değerler 25730 nolu yönetmeliğe göre: Arsenik için: $G_{As} = 10 \mu\text{g/L}$; Bor için: $G_{Bor} = 1000 \mu\text{g/L}$.

Eğer sudaki arsenik derişimi örneğin $5 \mu\text{g/L}$ ise,

$$(5/10) + (C_{Bor} / 1000) = 1 \text{ ve buradan da Bor derişiminin:}$$

$$C_{Bor} = (1 - 0,5) \times 1000 = 500 \mu\text{g/L değerini geçmemesi gerektiği bulunur.}$$

Başka bir rnek:

WHO (Dünya Sağlık rgt) Sınır değerleri Ra 226 için $G_{Ra} = 1 \text{ Bq/L}$ (= $0,1 \text{ g/L}$, zgl aktivitesi 10 Bq/g olduğundan) ve Pb 210 için $G_{Pb} = 0,1 \text{ Bq/L}$ (= $0,01 \text{ g/L}$, zgl aktivitesi 10 Bq/g olduğundan) yukardaki bağıntıya göre:

$(C_{Ra}/0,1) + (C_{Pb}/0,01) \leq 1$ Buradan rneğin Pb'nin sudaki ölçülen derişimi $0,01 \text{ g/L}$ ise, suda hiç radyum bulunmaması gerekir,

C_{Pb} değerini $0,005 \text{ g/L}$ ise, radyum derişimi

$$C_{Ra} = 0,1(1-0,005) = 0,0995 \text{ g/L' den daha az olmalı.}$$

Ek 10: Uranyum'la İlgili Ayrıntılı Bilgiler

Uranyum Nasıl Bir Element?

Havada, toprakta ve sularda doğal olarak çok az miktarda bulunan çeşitli radyoaktif maddelerin yanı sıra uranyumla da birlikte yaşamaktayız. Uranyum, normal bir toprağın her kilogramında ortalama olarak 3 miligram var ($3\text{mg/kg} = 3\text{ mg}/10^6\text{ mg}$ ya da 3 ppm (= milyonda üç) ⁶. Bu, 10 tonluk bir kamyon toprağa, bir yemek kaşığı dolusu (30 gram) kadar uranyum karıştırılmış demek.



Şek.E7 Yoğun uranyumlu bir kaya parçası

Bu miktar doğal uranyumdan kaynaklanan toprağın aktivitesi ise kilogram başına ortalama olarak 33 Bq kadar⁷.

Bu aktivite, U^{238} ile radyoaktif denge durumunda olan U^{234} ün herbirinin radyoaktivitesi.

Uranyum topraktan hava ve suya, sonra da bitki ve hayvanlar yoluyla insana ulaşıyor.

Havadaki ortalama uranyum derişimi havanın metreküpü başına milyarda 0,04 gram kadar ($0,04\text{ ng}/\text{m}^3$). Günde ortalama 20 m^3 hava soluyan bir yetişkin kişi, 0,8 ng (nanogram) uranyumu hergün solunum yoluyla vücuduna alıyor.

Yediğimiz besinlerin her kilogramında 0,08 μg ile 70 μg (mikrogram uranyum var, 1 gram = 1 milyon mikrogram). Besinler yoluyla, yemek yeme alışkanlığına göre, yetişkin bir kişi günde 1 μg ile 3 μg arasında uranyumu vücuduna alıyor ki bu 0,012 ile 0,045 Bq arasında bir aktivite demek (1 μg :

⁶ Bu değer Dünya ortalaması

⁷ Bu yazıdaki radyasyon, alfa, beta, gama ışınları, Bequerel ve Sievert, doz, etkin doz gibi kavram ve birimlerin ayrıntıları için Ek 1-2'ye bk.

1 mikrogram, milyonda bir gram). İçtiğimiz suyun litresinde ise 0,05 μg ile 4 μg doğal uranyum bulunuyor. Alınan miktarın büyük bir bölümü normal yollarla vücuttan tekrar atılıyor, sadece çok küçük bir miktarı vücutta kalıyor. **Sonuç olarak bir yetişkinin vücudunda 30 μg ile 60 μg arasında uranyum bulunuyor.**

Doğal uranyumun yediğimiz besinler ve içtiğimiz su yoluyla vücudumuzda oluşturduğu radyasyon dozu yılda 0,3 μSv kadar.

Uranyumun fazla olduğu toprak ve sular çevresinde yaşayanların vücutlarına aldıkları uranyum miktarının da daha çok olacağı açık.

Doğada bulunan 'Doğal Uranyum' % 99,3 U^{238} , % 0,7 kadar U^{235} ve % 0,005 kadar da U^{234} 'den oluşuyor. Uranyum-Radyum dizisinin ilk çekirdeği olan U^{238} , 4,2 MeV enerjili alfa ışını salarak 4,5 milyarlık yarılanma süresiyle kararsız toryum 234'e dönüşüyor.

U^{235} ise Aktinyum dizisinin ilk çekirdeği olup 700 milyon yıllık yarılanma süresiyle 4,4 MeV'lik enerjide alfa ışını salarak kararsız toryum 231 izotopuna dönüşüyor (Ayrıntılar için Bölüm 6.2 ve aşağıdaki çizelgelere bk.).

Çizelge E10.1: Seyreltilmiş Uranyumlu Mermilerle ilgili önemli izotopların özellikleri

| İzotop / Element | Yarılanma süreleri (Yıl) | Özgül Aktiviteleri (Bq/g) |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Uranyum 238 | 4.468.000.000 | 12.450 |
| Uranyum 235 | 703.800.000 | 80.040 |
| Uranyum 234 | 245.000 | 230.410.000 |
| Doğal Uranyum | | 25.380 |
| Seyreltilmiş Uranyum (DU) U 234: % 0 ise | | 12.580 |
| Plütonyum 239 | 24.110 | 2.307.900.000 |
| Toryum 232 | 14.050.000.000. | 4.060 |

Nükleer santrallarda kullanılacak uranyum, doğal uranyumdan elde edilirken içindeki U 235 izotop miktarı % 0,7 den % 3 dolayına çıkarılıyor ve böylelikle % 97'si U 238 ve % 3'ü de U 235'den oluşan 'zenginleştirilmiş uranyum' ortaya çıkıyor. Atom bombalarındaki U235 oranı ise % 90 dolayında. Nükleer santrallar ve atom bombaları için zenginleştirilmiş uranyum bu oranlarda üretilirken, arta kalan 'seyreltilmiş uranyum'da % 0,2 kadar U235 ve % 99,8 kadar da U238 bulunuyor (Çizelge 9.1 Bölüm 9).

92 atom numarasıyla Uranyum elementi, atom numarası 89'dan başlayan Aktinyum ile atom numarası 102 olan Nobelium arasındaki aktinidler

grubunda yer alıyor ve bunların sadece 93 numaralısının altındakiler doğada az miktarda da olsa bulunuyor (Diğerleri yapay olarak üretiliyor). Tüm aktinidler ağırmetal ve radyoaktif olup **başta alfa ışınları** olmak üzere az miktarda da gama ışınları da salıyorlar. Th 232, U 235, U 238 ve Pu 239 önemli aktinidler. İnce toz tanecikleri halindeki aktinidlerin önemli bir özelliği de havada kendiliğinden çabucak tutuşması (Pirofor: 'pyrophor' özelliği).

U 238 radyoaktif bozunmayla 14 adım (basamak) sonra radyoaktivite özelliği göstermeyen ya da kararlı dediğimiz Pb 206 (kurşun) izotopuna dönüşüyor. U 235 ise 11 adımda kararlı Pb 207 oluşturuyor (En aşağıdaki Çizelge E 10.8'e bk.). Uranyumun radyoaktif bozunma ürünleri arasında alfa radyoaktivitesi epey yüksek olan radium (Ra 226) dan başka, uranyumdan oluşan bozunma ürünlerinin oğul (yavru) izotopların) neredeyse tüm gama aktivitesi Bi 214 ve Pb 214'den kaynaklanıyor. Doğada, örneğin henüz işlenmemiş uranyum madenlerinde uranyum, radyoaktif bozunma dizisindeki tüm izotoplarla neredeyse radyoaktif denge⁸ hâlinde bulunuyor. Ancak, doğal uranyum kimyasal olarak işlenip saf uranyum elde edilirken, U 234 ve U 235'in bozunma ürünleri atık maddeye aktarıldıklarından, üretimin hemen sonrasında saf uranyum içinde sadece U 238, U 234 ve U 235 (% 0,72) bulunuyor. Üretimden birkaç ay sonra ise U 238'in ara ürünleri olan Th 234 ve Pa 234 ve U 235'in bozunum ürünü olan Th 231 ana ürünlerle radyoaktif dengede olmaya başlarlar. Bu demektir ki üretimden birkaç ay sonra saf uranyum sadece alfa değil, beta ve zayıf da olsa gama ışınları salmaya başlar. U 234'ün yarılanma süresinin çok uzun olması nedeniyle U 238 ile radyoaktif dengeye gelmesi için 800.000 yıllık çok uzun bir süre gerekiyor. Bu durum, dizideki uzun yarılanma süreli bozunma ürünleri için de böyle.

U 238'in özgül radyoaktivitesi 12,4 Bq/mg. Eğer doğal uranyumda % 99,8 oranında bulunan U 238, bozunma ürünü olan U 234 ile radyoaktif dengede ise 12,4 Bq/mg'lık aktivite bu izotoplardan herbirinin aktivitesidir. Eğer, Pb 206 ile sonlanan U 238 dizisindeki tüm bozunma ürünleri birbirleriyle radyoaktif dengede iseler bu ürünlerin tümü aynı aktivitedir: 12,4 Bq/mg.

Doğal uranyumdaki U 235 (% 0,7) aktivitesi ise sadece 0,56 Bq/mg.

Seyreltilmiş uranyum, doğadaki uranyuma göre çok daha az radyoaktif (Özgül aktivite sırasıyla: 12,58 Bq/mg ve 25,38 Bq/mg). Yukarıda açıklandığı gibi bunun nedeni, doğadaki uranyumun içindeki U 238'in Ra 226 ve yüksek aktiviteli diğer bozunum ürünleriyle radyoaktif dengede olması ve özellikle bunların saldığı gamalarla yüksek aktivite göstermesidir.

⁸ Radyoaktif bozunum ürünleri dizisindeki her bir radyoizotop için ana ve oğul atom sayılarının dengelenmesi ya da eşitlenmesi (Örneğin bozulan Ra 226 atom sayısı, ondan oluşan oğul Rn 222 atom sayılarının bir süre sonra eşitlenmesi. Aynı durum Rn 222'den oluşan Po 218 için de geçerli)

Uranyumun Kimyasal Zehirliği

Bir maddenin kimyasal zehirliği deyince, o maddenin kimyasal özellikleri nedeniyle sağlığı bozucu etkisi anlaşılıyor. Uranyum da kurşun, civa ve plütonyum gibi ağırmetal olduğundan bunlar ve bileşikleri son derece zehirli olup vücuda normalin üstündeki miktarlarda girdiklerinde özellikle böbrek ve karaciğerde bir süre kalıp hasara neden olabiliyorlar. Almanya'daki radyasyon yönetmeliği, uranyumoksitlerin vücuda alınmasında günlük sınır değerleri, solunum yoluyla 2,5 mg ve besinler yoluyla 150 mg olarak belirliyor. **Dünya Sağlık Kurumu (WHO) besinler yoluyla vücuda alınabilecek uranyum miktarı için her kilogram vücut ağırlığı başına günde 0,6 mg üst sınır değerini öneriyor ki bu 70 kg ağırlığındaki ortalama bir kişi için 40 mg kadar oluyor.**

Hayvanlar üzerinde yapılan deneyler, uranyumun, besinler, su ve hava yoluyla vücuda büyük miktarlarda alınması sonucu böbrek, karaciğer, sinirlerde ve hatta kalıtım yoluyla sonraki kuşaklarda hasar ortaya çıkarabileceğini gösteriyor. Kandolaşımı bozukluğu, sürekli yorgunluk ve uykusuzluk da vücuda alınan uranyuma bağlanabiliyor. Öte yandan benzol ve platin gibi bir dizi maddenin kankanseri yaptığı biliniyor. Platin, uranyum gibi bir ağırmetal. Dolayısıyla, askerlerdeki kankanserleri incelenirken, kimyasal zehirlilik de gözönüne alınmak durumunda.

Uranyumun Radyolojik Zehirliği

Radyoaktif maddelerin saldığı radyasyonlar, hücrelerdeki atom ve moleküllerden elektronlar sökerek iyonlar oluşturmakta ve bu nedenle bu yüksek enerjili radyasyonlara iyonlaştırmacı ışınlar denmekte. Bunlar, hücrelerdeki suyu H ve OH bileşenleri şeklindeki radikallere ayırarak, hücrelerde değişimlere neden oluyorlar. Vücudun soğurduğu radyasyon enerjisi çoğaldıkça, vücutta daha çok hasar görülebiliyor ya da hasar olasılığı artıyor. Uranyumun radyolojik zehirliği, düşük özgül radyoaktivitesi nedeniyle, kimyasal zehirliliğinin yanında daha az. Buna karşın plütonyumun radyolojik zehirliği, çok yüksek özgül aktivitesi nedeniyle çok önemli, kimyasal zehirliği ise daha az.

Neredeyse saf U 238'den oluşan seyreltilmiş uranyum vücuda girdiğinde bunun radyolojik zehirliği yanında kimyasal zehirliği de gözönüne alınmak durumunda.

Uranyum ve plütonyumun saldığı alfa ışınlarının vücutta oluşturabileceği radyolojik zehirliği için, ışınlanmanın vücut dışından mı yoksa vücut içinden mi olduğu önemli.

Vücut Dışından Işınlanma

Bir radyoaktif maddenin yakınında bulunan bir kişiyi o maddeden salınan radyasyonlar ışınladığında, 'dıştan ışınlanma' var diyoruz. Alfalar havada bile 1-2 cm' de soğurulduklarından vücudun dıştan ışınlanmasına pek bir katkıda bulunamıyorlar. Beta ve gama ışınları için ise bu böyle değil. Örneğin aynı toprak aktivitesindeki ve aynı süredeki dıştan ışınlanma durumunda, U 238'in vücutta dıştan oluşturabileceği etkin doz, toprakta Çernobilden kaynaklanan sezyum 137'nin beta ve gama ışınları yoluyla oluşturabileceği etkin dozdan 1.000 kat daha az.

Vücut İçinden Işınlanma

Bir radyoaktif madde vücut içine girdiğinde, bu maddenin saldığı radyasyonlar yoluyla vücut içten ışınlanıyor. Radyoaktif maddeler vücutta solunum, sindirim yoluyla girebildikleri gibi vücuttaki kesik ve yaralar yollarıyla da girebiliyorlar. Besinler yoluyla vücutta alınan radyoaktif maddeler çözünürlüklerine göre miğde-barsak yoluyla sonunda kana karışıp vücudun çeşitli organlarına dağılıyorlar. Solunum yoluyla vücutta giren radyoaktif maddeler de parçacık büyüklüklerine göre solunum yollarında (bronşlar ve akciğerlerde) bir süre kalıp sonra çözünürlüklerine göre kana karışıyorlar.

Çözünemeyenler ise bazı organlarda birikip vücudu bir süre içten ışınıyorlar.

Alfa ışınları salan U 238 ve Pu 239 durumunda vücut içinden ışınlanma, soğurulan doz için çok etkin oluyor. Örneğin vücut içine solunumla alınan aynı miktardaki U 238'in saldığı alfaların soğurulmasıyla vücutta oluşan doz, sezyum 137'nin beta ve gamaları yoluyla oluşturduğu radyasyon dozundan 3.700 kat daha çok. Büyük kütleli alfaların dokuların iç yüzeylerinde yoğun olarak soğurulup enerjilerinin tümünü küçük bir hacimdeki doku kütlesine aktarmaları sonucu oluşan radyasyon dozunun büyük olacağı açık (Ayrıntılar için Bölüm 2 ve Ek 1 ve Ek 2'ye bk.).

Uranyumun Fiziksel ve Biyolojik Yarılanma Süreleri

U 238'in fiziksel yarılanma süresi ya da belirli bir miktarının radyoaktif bozunum (parçalanma) sonucu yarıya inmesi için geçen süre 4,5 milyar yıl kadar büyük olmasına karşın, vücutta alınan miktarın yarısının vücuttan normal yollarla atılmasına kadar geçen süre olan 'Biyolojik Yarılanma Süresi' çok daha az. Biyolojik yarılanma süresi, radyoaktif maddenin hangi yolla (solunum, sindirim) vücutta girdiği, hangi kimyasal yapıda (çözünür, çözünmez) olduğu ve ilgili organda ne süre kaldığı durumlarına göre değişik değerlerde olabiliyor

ve bu, uranyum için birkaç günden birkaç yıla kadar değişim gösterebilir. Uranyumlu mermilerin bazılarında çözünemez parçacıklar hâlinde saçılma durumu söz konusu olduğunda, bu gibi parçacıklar vücuda girerlerse belirli organlarda yerleşip uzun süre vücudu alfalarla ışınlayabiliyorlar.

Seyreltilmiş Uranyumun Vücutta Oluşturabileceği Radyasyon Dozu

Vücut Dışından:

Yukarda belirtildiği gibi, alfalar havada birkaç cm ' de bile soğurulduklarından, belirli bir uzaklıkta duran bir insana 'vücut dışından' etkili olamıyorlar. Bu nedenle dıştan ışınlanma yoluyla oluşabilecek doz sadece, uranyumdan oluşan izotopların doğal radyoaktif bozunumu sonucu ortaya çıkan 'oğul izotop'ların girici gama ışınlarından kaynaklanıyor⁹.

Vücut Dışından Gamalarla Işınlanma: 1 kg Seyreltilmiş Uranyumun (DU) tüm parçalanma dizisindeki izotoplarından ortaya çıkan toplam gama aktivitesi, saf U 238'inkinden biraz daha çok olup bu gama aktivitesi, **1 m uzaklıkta yılda yaklaşık olarak 2 mSv**'lik bir doz oluşturabiliyor. Bu ise, doğal radyasyonla yılda alınan doz düzeyinde. Ancak ilgili kişinin merminin çarpıp patladığı yerde bir yıl kalması durumunda bu böyledir. Bu nedenle, bu süre gerçekçi olmadığından 'dıştan ışınlanma' yoluyla herhangi bir kişinin belirgin bir doz alması için bir neden yok. Öte yandan zırhı seyreltilmiş uranyumdan yapılmış olan ve uranyumlu mermilerle tam yüklü durumdaki bir tankın içindeki askerlerin hedef olabileceği dozhızı değeri saatte en çok 1,3 Mikrosievert olarak hesaplanıyor.

Vücut İçinden Işınlanma:

Mermilerin çarptığı yer ve günlerde, savaş nedeniyle, radyoaktivite ve radyasyon ölçümlerinin yapılamayacağı açık. Bu nedenle savaş alanında bulunan ve sağ kalan askerlerin vücutlarına giren bir izotopun vücudun belirli bir organında ve tümünde oluşturabileceği radyasyon dozunu hesaplayabilmek için bazı varsayımlarla model hesapları yapılması zorunlu oluyor.

Bu gibi doz hesapları, kötümser varsayım ve ilgili model hesaplarını içeren, bilimsel çalışmalara dayanan ICRP'nin yayımladığı 'Doz Katsayıları' yardımıyla yapılıyor. Doz katsayıları vücuda giren 1 Bq'lık bir aktivitenin yetişkinler için 50 yıl ve çocuklar için de 70 yıl boyunca Sievert olarak ne büyüklükte toplam bir doz oluşturabileceğini belirliyor (Ek2 Etkin doz tanımına bkz).

Aşağıdaki E10.2,...3,..4 nolu çizelgelerde, 'uranyumlu erimiş mermin' ya

⁹ Bu yazıdaki radyasyon, alfa, gama ışınları, Bequerel ve Sievert, doz, etkin doz gibi kavram ve birimlerin ayrıntıları için Ek 1 ve 2' ye bk.

da 'hasar görmüş uranyumlu tank zırhından' kaynaklanan '1 gram seyreltilmiş uranyum buharı taneciklerinin' vücuda solunum yoluyla girmesi sonucu, her bir radyoizotopun vücutta oluşturabileceği radyasyon dozu ve toplam doza katkısı gösteriliyor.

Ancak normal olarak vücuda solunum yoluyla alınan miktar 1 gramın çok altında olacağından çoğunlukla 100 mg ile 10 mg arasında bir değer hesaplamalarda gözönüne alınıyor.

ICRP 72-Teknik Raporundan kaynaklanan çizelge E10.2 ve E10.3 'deki toplam değerlere göre, solunum yoluyla vücuda alınan 1 gram 'Seyreltilmiş Uranyum' tanecikleri yaklaşık olarak toplam 120 mSv'lik Etkin bir Doz oluşturuyor. Buradan, bir kişinin 100 mg uranyumlu havayı soluduğu varsayıldığında etkin doz 12 mSv, 1 mg için ise bu 0,12 mSv olabilir. Diğer yandan ICRP¹⁰ 'nin öngördüğü sınır değer genel halk için yılda 1 mSv olup bu doz, 8,3 mg Seyreltilmiş Uranyumun vücuda girmesiyle oluşabilir (= 1/0,12). Sağlık kontrolü altındaki tanktaki askerlerin 'Radyasyonla Çalışanlar' grubunda oldukları düşünülürse, bu grubun yıllık sınır değeri olan 20 mSv'den gidilerek 167 mg bulunur (= 20/0,12). Böylelikle bir askerin merminin çarptığı yer yakınında bulunan uranyumlu havadan 167 mg ciğerlerine çekmesi durumunda yıllık sınır değere ulaşılır. Diğer yandan vücuda giren 10 mg'dan fazla uranyum, vücutta 'ağır metal zehirlenmesi' oluşturduğundan, Seyreltilmiş Uranyumun **radolojik zehirliliği, bu durumda, kimyasal zehirliliğinin** yanında önemsiz kalıyor. Ancak, başka durumlarda vücuda alınan uranyum miktarına bağlı olarak heriki zehirliliğin de gözönüne alınması gerekir.

Çizelge E10.2: Solunum yoluyla vücuda alınan Seyreltilmiş Uranyum'un (DU) vücutta oluşturduğu doz

| Nüklit | Fiziksel Yarılanma süresi | Özgül Akt. [Bq/g] | Katkısı (% ağırlık olarak) | Doz faktörü [Sv/Bq] | Etkin Doz [Sv/g DU] | Toplam Doza Katkısı |
|---------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| U 238 | 4,468(9) yıl | 1,245(4) | 9,980(1) | 8,000(-6) | 9,940(-2) | 83,74% |
| Th 234 | 24,1 gün | | | 7,700(-9) | 9,567(-5) | 0,08% |
| Pa 234m | 1,17 dk | | | | | |
| U 235 | 7,038(8) yıl | 8,001(4) | 2,000(-1) | 8,500(-6) | 1,360(-3) | 1,15% |
| Th 231 | 25,52 saat | | | 3,300(-10) | 5,281(-8) | 0,00% |
| U 234 | 2,445(5) yıl | 2,313(8) | 8,210(-4) | 9,400(-6) | 1,785(-2) | 15,04% |
| Toplam | | | 1,000(2) | | 1,187(-1) | 100,00% |

(Doğal uranyumdan U 235'in % 3,5 miktarına zenginleştirilmesi sırasında arta kalan % 0,2 U 235'li 'Seyreltilmiş Uranyum'; ICRP72'den. Halktan Yetişkinler için, S Tipi (çözünmeyen ve ilgili organdan yavaş temizlenen kimyasal bileşikler)-Parantez içindeki (9) ve (-5) gibi sayılar **10⁹** ve **10⁻⁵** anlamında /WISE Uranium Project, P.Diehl /

¹⁰ ICRP: Uluslararası Radyasyondan Korunma Kurulu

Çizelge E10.3: Mermilerdeki Seyreltilmiş kirli Uranyum'un (DU) Solunum yoluyla vücutta oluşturduğu doz

| Nüklit | Fiziksel Yarılanma süresi | Özgül Akt. [Bq/g] | Katkısı, % ağırlık olarak | Doz faktörü [Sv/Bq] | Etkin Doz [Sv/g DU] | Toplam Doza Katkısı % olarak |
|---------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| U 238 | 4,468(9) yıl | 1,245(4) | 9,980(1) | 8,000(-6) | 9,940(-2) | 83,45 |
| Th 234 | 24,1 gün | | | 7,700(-9) | 9,567(-5) | 0,08 |
| Pa 234m | 1,17 dk | | | | | |
| U 236 | 2,342(7)yıl | 2,396(6) | 3,000(3) | 8,700(-6) | 6,254(-4) | 0,53 |
| U 235 | 7,038(8)yıl | 8,001(4) | 2,000(1) | 8,500(-6) | 1,360(-3) | 1,14 |
| Th 231 | 25,52 saat | | | 3,300(-10) | 5,281(-8) | 0,00 |
| U 234 | 2,445(5)yıl | 2,313(8) | 8,000(4) | 9,400(-6) | 1,739(-2) | 14,60 |
| Pu 239 | 24131 yıl | 2,295(9) | 4,352(7) | 1,600(-5) | 1,598(-4) | 0,13 |
| Np 237 | 2,14e6 a | 2,610e+07 | 2,441e-05 | 1,200(-5) | 7,645(-5) | 0,06 |
| Pa 233 | 27 d | | | 3,900(-9) | 2,485(-8) | 0,00 |
| Toplam | | | 1,000(2) | | 1,191(-1) | 100,00 |

(Pu 239 ve Np 237'nin tümüyle DU'ya aktarıldığı varsayımıyla)/ICRP72'den Halktan Yetişkinler için, S Tipi (çözünmeyen ve ilgili organdan yavaş temizlenen kimyasal bileşikler)-Parantez içindeki (9) ve (-5) gibi sayılar 10^9 ve 10^{-5} anlamında. / WISE Uranium Project, P.Diehl /

Çizelge E10.4: Seyreltilmiş Uranyum'lu (DU) Tank Zırhından sadece Transuran izotoplarının ve bölünme ürünlerinin Solunum yoluyla vücutta oluşabilecek doza katkıları/Aktivite miktarları:

| | İzotop Verileri | | | DU'lu Tank Zırhındaki max.değer. | | |
|---------------|------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| | Yarılanma Süresi | Özgül Aktivite (Bq/g) | Doz Faktörü (Sv/Bq) | Akt.miktarı Bq/g DU-Tank Zırhında | Ağırlık Oranı (ppb) | Etkin Doz (Sv/g DU-Tankzırhından) |
| Am 241 | 432.2 yıl | 1.271(11) | 4.2(-5) | 0.703 | 0.0055 | 3.0(-5) |
| Np 237 | 2.14(6) yıl | 2.611(7) | 2.3(-5) | 0.137 | 5.2470 | 3.2(-6) |
| Pu 238 | 87.75 yıl | 6.34(11) | 4.6(-5) | 0.074 | 0.0001 | 3.4(-6) |
| Pu 239 | 24.13(3)yıl | 2.296(9) | 5.0(-5) | 0.1 | 0.0436 | 5.0(-6) |
| Tc 99 | 213.0(3)yıl | 6.280(8) | 4.0(-8) | 19.98 | 31.8153 | 8.0(-7) |
| Toplam | | | | | | 4.2(-5) |

Bq/g DU-Tank zırhından alınan örneklerdeki ölçümlere dayanıyor (Pu 239 ve Np 237'nin tümüyle DU'ya aktarıldığı varsayımıyla)/ICRP72'den Halktan Yetişkinler için, S Tipi (çözünmeyen ve ilgili organdan yavaş temizlenen kimyasal bileşikler)-Parantez içindeki (9) ve (-5) gibi sayılar 10^9 ve 10^{-5} anlamında. /WISE Uranium Project, P.Diehl /

Çizelge E 10.4'de Seyreltilmiş Uranyum'lu (DU) Tank Zırhından sadece Transuran (uranyum üstü elementleri anlamında) izotoplarından ve bölünme ürünlerinden **solunum yoluyla** vücutta oluşabilecek doza katkılarını gösteriliyor. Bu çizelgedeki değerler, ABD'deki Idaho Nükleer Teknoloji Merkezinin (INTEC) seyreltilmiş uranyum zırhlı tanklardan aldığı 60 örneğin laboratuvar ölçümlerine dayanıyor ve böyle bir araştırma çalışması ilk kez yapılmış (Army_2000). Ölçümler gerçekten de tank zırhında sadece Pu 239 değil transuranlardan amerisyum 241, neptinyum 237 ve plütonyum 238'in de bulunduğunu gösteriyor. Ayrıca bir bölünme ürünü olan teknesyum 99'da var. Tüm bu bulgular, tank zırhında kullanılan seyreltilmiş uranyumun içinde 'kirli uranyumun' (reaktörlerde daha önce kullanılmış uranyumun sonradan arıtılmasıyla arta kalan uranyum) da bulunduğunu kanıtlıyor.

% 0,2 U 235 ve % 0,003 U 236'lık tank zırhından kaynaklanan uranyum buharının vücuda alınması sonucunda transuranların ve bölünme ürünlerinin toplam katkısı en çok 0,042 mSv/g olduğu çizelge E 10.4' de görülüyor. Bu değer, Seyreltilmiş Uranyumun oluşturduğu toplam 119 mSv/g 'lik doza karşı sadece % 0,035'lik bir artış demek (= 0,042/119). Bu nedenle kirli uranyum kaynaklı seyreltilmiş uranyumdaki transuranların ve bölünme ürünlerinin oluşan doza katkıları çok az.

Diğer yandan Pu 239'dan insanda oluşabilecek radyasyon dozu üst sınırını oluşturabilecek Pu 239 miktarının ne kadar olabileceğiyle ilgili bir hesaplama yapılabilir:

1 gram Pu 239, 2,3 Milyarbecerelik bir özgül aktivite gösteriyor ki bu, U 238'in aktivitesinden yaklaşık olarak 200.000 kat daha çok. Plütonyumun solunum yoluyla vücuda girmesi durumunda 1 Bq'lık Pu 239 aktivitesi 1,6 x 10⁻⁵ Sv'lik bir doz oluşturuyor (Yukardaki çizelgelerdeki Özgül Aktivite ve Doz kat-sayısına bkz). Buradan 1 mg'lık Pu 239 için 37 Sv'lik çok büyük bir doz değeri bulunur. Bu demektir ki Pu 239'un milyonda bir gramı (Mikrogram : µg) için ise hiç de azımsanmayacak büyüklükteki 37 mSv'lik bir doz bulunuyor.

AB Ülkelerinin ve Türkiye'nin radyasyondan korunma yönetmeliklerine göre, radyasyonla çalışanlar için yıllık üst sınır değer 20 mSv. Pu 239'un milyonda bir gramının neden olduğu 37 mSv'lik doz, bu üst sınırın iki katına yakın. Öte yandan Pu 239'un kimyasal zehirliliği 1 mg dolayında. Plütonyumun radyolojik zehirliliğinin, kimyasal zehirliliğinden en azından 1000 kat daha çok olması nedeniyle, kimyasal zehirliliğinin önemsiz olacağı açık.

Birleşmiş Milletler Çevre Araştırma Projesi sonuçları (UNEP 2000/ 2003 Raporları)

Birleşmiş Milletler Çevre Araştırma Projesi çerçevesinde, bir bilimsel araştırma grubu, Kosova, Güney Sırbistan ve Bosna'da 90'lı yıllarda kullanılmış

uranyumlu mermiler ve uranyum zırlı tankların çevreye ve insana etkileriyle ilgili çok yönlü, kapsamlı yıllarca süren çalışmalar yaptı ve alınan sonuçları bilimsel raporlar hâlinde yayımladı. Hava, su, toprak ve besinlerdeki radyo-aktivite ölçümlerinin yanı sıra insanların etkilenmiş olabileceği radyasyon dozlarıyla ilgili kestirimler bu raporlarda var.

Bu Araştırmadan Elde Edilen Sonuçlardan Önemlileri:

Kosova, Sırbistan ve Bosna'da arazide bulunan uranyumlu kullanılmış mermilerden alınan örnekler üzerinde yapılan ve sonuçları Çizelge E10.5 de gösterilen ölçümlere göre, bunlardaki plütonyum katkısının, uranyuma oranla çok düşük kaldığı ortaya çıkıyor. Ölçü değerleri, plütonyumun katkısının, seyreltilmiş uranyuma oranının milyardabirin çok çok altında olduğunu gösteriyor. Ayrıca Bosnada araziden toplanan 3 uranyumlu mermide ilk kez neptunyum 237 ölçülmüş (Çizelge E10.6).

Çizelge E10.5: Seyreltilmiş Uranyumlu (DU) Mermilerdeki Plütonyumun Kosova, Güney Sırbistan ve Bosna'daki Ölçülen Değerlerini gösteriyor.

| Ölçüldüğü Yer | Plütonyum Katkısı (Oranı) | Kaynak |
|-----------------|---------------------------|-------------------|
| Kosovo | < 0,0032 ppb (U'a göre) | [GSF_2001] |
| Kosovo | 0,00035-0,0056 ppb | [UNEP_2001b] |
| Güney Sırbistan | 0,019 ppb | [McLaughlin_2003] |
| Güney Sırbistan | 0,0058-0,0138 ppb | [UNEP_2002a] |
| Bosna | 0,002-0,0382 ppb | [UNEP_2003a] |

1 ppb = 1 part per billion (Milyarda biri) = 10^{-9}

Çizelge E10.6: Uranyumlu(DU) Mermilerdeki Neptunyumun Ölçülen Değerleri

| Ölçüldüğü Yer | Neptunyum 237 Katkısı (Oranı) | Kaynak |
|---------------|-------------------------------|--------------|
| Bosna | < 0,15-0,62 ppb | [UNEP_2003a] |

/ UNEP ; WISE Uranium Project, P.Diehl / 1 ppb = 1 part per billion (Milyarda biri) = 10^{-9}

Çizelge E10.5 ve E10.6'daki ppb'nin binde biri kadar olan değerler, Uranyum Madenlerinde doğal olarak ortaya çıkan değerlerle kabaca aynı büyüklükte. Doğadaki U 238 doğal kaynaklardan, örneğin kozmik ışınlardan ya da doğadaki U 235'in kendiliğinden ani olarak parçalanması sonucu nötron yakalılarak uranyum 239'a dönüşüyor, bu ise 23,4 dakikalık yarılanma süresiyle neptunyum 239 üretiyor. Np 239 da 2355 günlük yarılanma süre-

siyle Pu 239'a bozunuyor. Mermilerde ölçülen plütonyum ise yapay olarak, reaktörlerde üretilmiş kirli uranyumdan kaynaklanıyor. Mermilerde ölçülen plütonyumun çok düşük değerde olmasının nedeni, ana malzeme ister doğal kaynaklı olsun ister kirli uranyum olsun, kimyasal olarak seyreltilmiş uranyumun üretilme işlemi sırasında, plütonyumun azalması.

Dıştan Işınlanma (UNEP 2000/ 2003)

10 kg Seyreltilmiş Uranyumun hedef bölgedeki 1000 m² toprak yüzeyine dağıldığı varsayılarak, bu alanın bir insanda dıştan yılda 4 µSv'lik bir doz oluşturabileceği hesaplanmış ki bu doğal radyasyon dozuyla karşılaştırıldığında çok küçük kalıyor.

Seyreltilmiş Uranyumlu tozun, çarpmanın hemen ardından solunum yoluyla vücuda alınmasından oluşabilecek doz (UNEP 2000/ 2003):

Vücuda en çok 100 mg seyreltilmiş uranyum girdiği varsayılarak alınabilecek doz en çok 12 mSv dolayında (Bölüm 9 ve ilgili çizelgelere bkz).

Çizelge E10.7: 1999 sonundaki Dünya Seyreltilmiş Uranyum (DU) Stokları

| Dünya Seyreltilmiş Uranyum (DU) Stokları (1999 sonunda) | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------|------------------|
| Sahibi | Ülke | Yaklaşık DU Stoku [t, U] | | | |
| | | UF ₆ | U ₃ O ₈ | Metal | TOPLAM |
| DOE, USEC | ABD ^{a)} | 470.000 | 10.000 | | 480.000 |
| | Rusya ^{b)} | 450.000 | 10.000 | | 460.000 |
| COGEMA, EURODIF | Fransa | 50.000 | 140.000 | | 190.000 |
| BNFL | İngiltere | 30.000 | | | 30.000 |
| Urenco | Almanya, Hollanda, UK | 16.000 | | | 16.000 |
| JNC, JNFL | Japonya ^{c)} | 10.000 | | | 10.000 |
| CNNC | Çin ^{d)} | 2.000 | | | 2.000 |
| KAERI | Kore Cumhuriyeti | 200 | | | 200 |
| | Güney Afrika | 4 | 69 | | 73 |
| TOPLAM | | 1,028,204 | 160,069 | | 1,188,273 |

t = metrik ton ; a) 2000 yılı ortasında ; b) Londrada 1996 yılında, Uranyum Enstitüsünce DU-zenginleştirilmesinden gidilerek hesaplanmış ; c) Şubat 2001 değeri; d) 2000 yılı sonu değeri

Kaynak : OECD NEA 2001

Çizelge E 10.8: Uranyum 238 ve U 235 Bozunum Dizilerinde Ortaya Çıkan Önemli İzotopların Fiziksel Özellikleri

| Uranyum-238 Bozunum Dizisi | | |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Nuklit | Yarılanma Süresi | Salınan Radyasyon* |
| U-238 | 4.468 · 10 ⁹ yıl | alfa |
| Th-234 | 24.1 gün | beta |
| Pa-234m | 1.17 dakika | beta |
| U-234 | 244,500 yıl | alfa |
| Th-230 | 77,000 yıl | alfa |
| Ra-226 | 1,600 yıl | alfa |
| Rn-222 | 3.8235 gün | alfa |
| Po-218 | 3.05 dakika | alfa |
| Pb-214 | 26.8 dakika | beta |
| Bi-214 | 19.9 dakika | beta |
| Po-214 | 63.7 mikrosaniye | alfa |
| Pb-210 | 22.26 yıl | beta |
| Bi-210 | 5.013 gün | beta |
| Po-210 | 138.378 gün | alfa |
| Pb-206 | kararlı | - |

| Uranyum-235 Bozunum Dizisi | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| Nuklit | Yarılanma Süresi | Salınan Radyasyon * |
| U-235 | 703.8 · 10 ⁶ yıl | alfa |
| Th-231 | 25.52 saat | beta |
| Pa-231 | 32,760 yıl | alfa |
| Ac-227 | 21.773 yıl | beta |
| Th-227 | 18.718 gün | alfa |
| Ra-223 | 11.434 gün | alfa |
| Rn-219 | 3.96 saniye | alfa |
| Po-215 | 778 mikrosaniye | alfa |
| Pb-211 | 36.1 dakika | beta |
| Bi-211 | 2.13 dakika | alfa |
| Tl-207 | 4.77 dakika | beta |
| Pb-207 | kararlı | - |

Çizelgelerde sadece önemli bozunumlar yer alıyor

* Tüm bozunumlarda ayrıca gama salınıyor

Ek 11. Radyasyon Dozları ve Radyasyon Riski Hesaplamalarıyla İlgili Ayrıntılı Bilgiler

Japonya'da Atılan Atom Bombalarından Kurtulanlar Üzerinde Yapılan Epidemiyolojik Araştırmaların Bazı Önemli Sonuçları

Japonya'da atılan atom bombalarından kurtulanlar üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalar, radyasyon riskinin temellerini oluşturuyor. Bu çalışmalar tüm kanser cinsleri için 3 Sievert (Sv)'e kadar doz ile etki arasında doğrusal (linear) bir bağıntı olduğunu gösteriyor. Lösemi için ise UNSCEAR, doğrusal kare (linear kare fonksiyonunun) bağıntısının doz etki arasındaki en iyi bağıntı olduğunu açıklıyor. Tüm katı ya da kalıcı tümörler için doz etki arasındaki istatistik olarak belirgin bir ilişki 0 ile 200 mSv arasındaki düşük dozlarda başlıyor.

Radyasyon Riskini Belirleyen Unsurlar:

- Doz arttıkça risk artıyor
- Radyasyonun cinsi: Aynı enerji dozu için yoğun iyonlaştırıcı (alfa'lar gibi) radyasyonlar, seyrek iyonlaştırıcılara göre (gama ve Röntgen ışınları gibi) daha riskli
- İlgili doku ya da organa göre risk farklılık gösteriyor: Kan ve göğüs dokuları, miğde ve kalın barsaklar radyasyona kemiklerden, kaslardan ve sinir dokularından daha duyarlı
- Kişinin radyasyondan etkilendiği günlerdeki yaşı: Çocuklar ve gençler, radyasyona yetişkinlerden daha duyarlı
- Çeşitli kanser cinslerinin radyasyonun etkisiyle oluşması da, aşağıdaki çizelgeden görüldüğü gibi, farklılık gösteriyor:

Atom bombalarından kurtulanlarda gözlenen kanserlerde, bunların oluşumunda radyasyonun katkısı yüzde olarak (Kaynak Little, 2000, American Cancer Society):

| Kanser Cinsi ya da Oluştuğu Organ | Kanser Oluşumunda Radyasyonun Katkısı (%) |
|-----------------------------------|---|
| Lösemi | 54 |
| Göğüs (meme) | 25 |
| Akciğerler | 10 |
| Yumurtalıklar | 15 |
| Barsaklar | 12 |
| Miğde | 4,6 |
| Yemek borusu | 11 |

Kanser, bir insanın radyasyondan etkilenmesinden epey sonra, ortaya çıkıyor. Aradaki bu uzun süreye (latent) kuluçka dönemi deniyor. Radyasyondan etkilenme sonucu oluşan kanserlerde en kısa kuluçka süresi lösemi ve tiroid kanserlerinde gözleniyor: Çocuk ve genç yaşlarda en kısa kuluçka süresi 2-3 yıl dolayında ise de ortalama 8 yıl kadardır. Başka(katı/solid) kanser cinsleri için 10 yıldan fazladır, bu süre 20 yıl bile sürebilir.

UNSCEAR'ın 2000 yılında yayımladığı ve epidemiyolojik araştırmalara dayanan rapora göre, aynı sayıda kadın ve erkeklerden oluşan bir toplulukta tüm yaş gruplarından her bir kişinin aldığı 10 mSv'lik ani (akut) bir gama ya da röntgen dozunun erkeklerin % 0,09, kadınların ise % 0,13'ünün '**kanserden ölüm riski**' taşıdığını gösteriyor. '**Kansere yakalanma riski**' ise yaklaşık olarak bu değerlerin iki katıdır: Erkeklerde % 0,18, kadınlarda % 0,26.

10 mSv'lik ani bir radyasyon dozunun lösemi oluşturma riski ise kadın ve erkekler için çok düşüktür: % 0,01. Lösemi için doz etki bağıntısı doğrusal (linear) olmadığından, doz ondabire indiğinde (örneğin 1000 mSv'den 100 mSv'e indiğinde), lösemi riski 20'de bire iniyor.

Risk katsayıları (Kaynak: UNSCEAR : Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun etkilerini inceleyen bilimsel alt kurulu):

| Radyasyondan etkilenen kişilerin yaş aralığı | TÜM VÜCUT İÇİN Sievert başına % olarak Ek Kesin Risk Katsayısı (% / Sv) | MAMOGRAFI İÇİN (kadınlarda göğüs röntgeni için) Sievert başına % olarak Ek Kesin Risk Katsayısı (% / Sv) |
|--|--|--|
| Tüm yaşlar | 5 | 0,6 |
| 0-10 | 15 | 1,3 |
| 11-20 | 9 | 3,0 |
| 21-40 | 6,25 | 0,5 |
| 41-50 | 2,7 | 0,2 |
| 51-60 | 2,2 | 0,06 |
| 60 yaşından daha fazla | 0,95 | 0,00 |



TOPLULUK IŞINLAMALARINDA RADYASYONUN ETKİSİYLE BEKLENEN EK KANSER RİSKİ VE HESAPLAMA ÖRNEKLERİ

Genel kanser riski (GKR): Bir nükleer kaza (ya da kitlesel herhangi bir bir nükleer etki) olmadan da toplulukta ortalama olarak görülen ölümcül kanser riskidir: % 25 . Ölenlerin, ortalama olarak, % 25'i kanserden ölüyor ve bu oran dünyada pek değişmiyor.

Radyasyon nedeniyle ek kanser riski belirlemeleri:

EAR (Ek kesin risk, Excess Absolut Risk): % 5 / Sv .

Bu değere Radyasyon Risk Katsayısı da deniyor.

Epidemiyolojik araştırmalar sonucu kestirilen ve tüm yaşlar için geçerli olan nominal değer. (ICRP verisi-yukardaki çizelgeye bk. -).Topluluktaki her bir kişi radyasyonun etkisiyle 1 Sv'lik etkin bir doz almış ise, bu topluluğun % 5 'inde 'ek ölümcül kanser' bekleniyor.

AR (Kesin risk, Absolut risk): Toplulukta, bir nükleer etki olmadan da zaten görülen %25'lik genel kanser riski (**GKR**), radyasyonun etkisiyle % 5 artarak % 30'a yükseliyor. Bu toplam riske (%30) absolut ya da kesin risk (**AR**) deniyor. Toplulukta kişi başına, örneğin 1 Sv'lik radyasyon dozunun, etkisini de katarak toplam Kesin Risk (**AR**) şöyle yazılabilir: **AR (Kesin risk) = Doz(Sv) x EAR + GKR= 1 x 0,05 + 0,25= % 30.**

Not: Toplumda 1 Sv kadar büyük bir doz ancak Japonya'da atılan atom bombalarından etkilenenlerde ortaya çıkıyor. Çernobil ve Fukushima kazalarında çevredeki toplulukta bile kişi başına 1 Sv'lik doz oluşmadı.

RR (Göreceli Risk, Relativ Risk): Radyasyonun etkisiyle artan AR kesin kanser riskinin, radyasyonsuz genel kanser riskine oranı. Yukardaki örnek için:

RR= AR/GKR=(GKR + EAR)/GKR=1+(EAR/GKR) = (0,25+0,05)/0,25 = 0,30/0,25= 1,2.

ERR (Göreceli Ek Risk, Excess Relativ Risk): Genel kanser riskini radyasyon nedeniyle %5 arttıran oran:

ERR= EAR/GKR= 0,05/0,25= 0,20. Kişi başına1 Sv'lik topluluk dozu nedeniyle genel kanser riski %20 artıyor.

Yukardakiler şöyle de elde edilebilir:

RR= 1 + EAR/GKR= 1 + ERR Buradan ERR= RR – 1=1,2 -1=0,2 (= %20).

Radyasyon nedeniyle ek kesin risk EAR: Excess Absolute Risk): **AR – GKR = 0,30 – 0,25= 0,05**

Hesaplama Örnekleri:

Toplulukta kişi başına 5 Sv'lik radyasyon dozu için riskler :

AR= Doz(Sv) x EAR +GKR = 5 Sv x 0,05 + 0,25= 0,50 Toplulukta toplam kesin ölümcül kanser riski %50

EAR= AR – GKR= 0,50 – 0,25= 0,25. Toplulukta her kişinin aldığı 5 Sv doz sonucu ek kesin risk %25'dir.

RR= AR/GKR= 0,50/0,25= 2. Toplulukta her kişinin aldığı 5 Sv doz sonucu toplam risk, ışınlanmayanların riskine oranla iki katına çıkmış ya da %200 olmuştur. Buradan **ERR=RR – 1= 2 – 1= 1.** Radyasyon sonucu risk 1 kat artmış ya da risk artımı %100 olmuştur.

Toplulukta kişi başına 1 mSv (=0,001 Sv)'lik radyasyon dozu için riskler:

Benzer hesaplama 0,05/Sv risk katsayısı kullanılarak, herhangi bir doz eşik değerinde riskin sıfır olmadığı ya da var olduğu (tartışmalı!) hipoteziyle, orantıyla hesaplanıyor (Linear No Threshold - LNT Hipotezine göre)

AR= 0,001 x 0,05 + 0,25= 0,25005 (Toplulukta toplam kesin ölümcül kanser riski)

EAR= 0,25005 – 0,25= 0,00005 (Toplulukta her kişinin aldığı 1mSv doz sonucu ek kesin risk).

RR= 0,25005/0,25=1,0002

ERR=RR-1= 1,0002 – 1= 0,0002 . Toplumda 1 mSv'lik radyasyon sonucu risk 10.000'de 2 artıyor.

10.000 kişinin %25'i çeşitli nedenlerle kanserden ölecekken, bu 2500 kişiye, 1 mSv'lik radyasyon dozu nedeniyle 2 kişinin eklenmesi beklenecektir.

Nükleer Santral Kazaları Sonrası Kanserden Ölümler Neden Çok Farklı Hesaplanıyor?

Çernobil ve Fukuşima kazaları sonrası bazı araştırmacıların kanserden öleceklerin sayısını az, başka araştırmacıların ise çok fazla hesapladıkları zaman zaman medyada yer alıyor. Konuya yabancı olanlar ise, bunlardan hangisinin gerçeği yansıttığını, kime inanacaklarını bilemiyorlar. Bunun başlıca nedeni, herbir araştırmacının yaptığı hesaplarda kullandığı (ya da bazı ölçüm ve genellemelerle var saydığı) ortalama radyasyon dozu ve bu dozu aldığı öngörülen, o bölgede yaşayan, kişi sayısındaki farklılıktan ileri geliyor.

'Radyasyon Dozu' aslında radyasyonun vücutta oluşturabileceği etkinin bir ölçüsü. Yazın deniz kıyısında güneşlendiğimizde güneş ışığındaki kısa dalga boylu morötesi ışınların, deriye aktardıkları enerji sonucu 'alınan dozla' derinin kızardığını biliyoruz. Radyoaktif maddelerden salınan yüksek enerjili, çok kısa dalga boylu radyasyonların çoğu, sadece deri yüzeyindekilere değil, çok daha derinlerdeki hücrelere, bunların molekül ve atomlarına girerek hücrelerin işlevlerini bozabiliyorlar. Bunun belirlenemesi ise, ancak çok yüksek dozlarda olabiliyor. Eğer bir kaç Sievert gibi yüksek bir radyasyon dozu bir kaç saatte vücutta oluşursa, bu doz ileride kansere neden olabiliyor ve belki de ölümle sonuçlanabiliyor. Ancak, 1 Sievert gibi çok yüksek radyasyon dozları vücutta ender olarak ortaya çıkıyor. Örneğin, bu düzeyde dozlar Hiroşima ve Nagazaki'de atılan atom bombaları sonrası, sağ kalanlardan bazılarının vücutlarında oluştu. Oralarda çok kişi bu dozların çok altında dozlar aldı. 2007'de yapılan analiz ve değerlendirmelerde Japonya'da atılan atom bombalarından kurtulan 105.000 kişiden 35.000'inin 5 ile 200 mSv arasında ve 3.000 kadar kişinin de 1 Sv'den daha çok doz aldığı hesaplandı. Buradan, atom bombalarından kurtulan kişilerin çok yüksek dozlar almadığı ortaya çıkıyor. 105.000 kişi içinde 1998 sonuna kadar 850 kişide katı/kalıcı tümör ve 85 kişide ise lösemiden ölüm belirlendi (Kaynak: Almanya Radyasyondan Korunma Kurumu (www.bfs.de)).

Öte yandan daha eski araştırma sonuçları aşağıdaki çizelgede bulunuyor. Gözlenen ölümcül kanserler içinde, radyasyona bağlanabilenler oldukça az: $260/5734 = \%4,5$, Lösemi için : $80/202 = \%40$

Hiroşima ve Nagazaki'de atılan atom bombalarından kurtulanların 1950 – 1985 arası aldığı hesaplanan dozlar (Toplam kişi sayısı: 75.991):Hiroshima Nagazaki Epidemiyolojik araştırmalarının sonuçları (E.Dikomey,Hamburg üniv.).

| Radyasyon Dozu (Sv) (*) | Kişi sayısı |
|---------------------------------------|-------------|
| 0,1 - 1 | 17.000 |
| 1 -4 | 2.800 |
| 4 Sv'den çok | 251 |
| | |
| Kanserden ölümler (gözlenen) | 5.734 |
| Kanserden ölümü, ileride beklenenler | 5.474 |
| Bunlardan radyasyon nedeniyle | 260 |
| | |
| Lösemiden ölümler (gözlenen) | 202 |
| Lösemiden ölümler (ileride beklenen) | 122 |
| Bunlardan, radyasyon nedeniyle | 80 |

(*) Sievert birimi için bk. Ek 2

Birkaç bin mili Sievert'ten 200 mili Sievert'te kadar olan radyasyon dozlarının Hiroşima ve Nagazaki'de atılan atom bombalarından kurtulan bazı kişilerde özellikle kan kanserine neden olduğu çeşitli bilimsel araştırmalardan elde edilen bulgulardan biliniyor. Toplum içindeki bazı kişilerin vücutlarında bozulma (hasar) görülme olasılığı, doz ne kadar büyükse ve süre ne kadar kısaysa (bir gün kadar) artıyor (Doz arttıkça vücutta hasarın derecesi değil, bunun ortaya çıkma olasılığı artıyor!).

200 miliSievert'in altındaki düşük dozlarda ise vücutta bir etki gözlenemiyor, belirlenemiyor. Uluslararası kurullarca, 1000 mili Sievert'lik bir dozun vücutta kanser oluşturma olasılığı ya da bu nedenle ek risk: % 5 (=0,05) olarak veriliyor. Bunun anlamı, örneğin 100.000 kişinin her biri 1000 mili Sievert (= 1Sv)'lik yüksek bir doz aldığında, ortalama olarak 5.000 kişi yaşamları boyunca kansere yakalanıp ölebilir. Çok daha düşük dozların vücutta kanser yapabileceği ve bunun riskinin ne kadar olduğu ise ancak Hiroşima ve Nagazaki sonrası görülen 1000 mSv düzeyindeki yüksek dozun kanser yapma riskinden, başka yerlerdeki çok daha düşük doz değerlerine, 'doğru orantıyla' geçilerek, düşük dozların da kanser yapabileceği varsayıp riskler hesaplanıyor. Bilim dünyasında çok tartışmalı olan bu varsayımın (hipotezin), elde sınanmış tutarlı bulgular olmadığından, doğruluğu ya da yanlışlığı kanıtlanamıyor ve böyle kabul ediliyor. Örneğin bir toplulukta herbir kişinin aldığı doz 100 mSv ise, ek riskin yukardakinin onda birine (=0,05/10=0,005), 10 mSv ise yüzde birine (=0,05/100=0,0005) ineceği doğru orantıyla kabaca hesaplanıyor.

Fukuşima'nın 20 km çevresindeki yerleşim yerlerinde yaşayan bir kişi 1 yılda aldığı ortalama doz, uluslararası ilgili kurumun yaptığı kapsamlı ilk araştırmaya göre 20 mSv kadar /1/.

Bu dozun oluşturacağı ek risk: $20 \text{ mSv} \times 0,05/1000 \text{ mSv}=0,001$

Radyasyondan başka çok çeşitli etkenlerle ortaya çıkan % 25 (=0,25)'lik ortalama genel kanser riski, Fukuşima çevresinde yaşayan insanların aldığı 20 mSv'lik doz nedeniyle $0,25 \times 0,001= 0,00025$ kadar artacak ve toplam genel risk $0,25 + 0,001= \% 25,1 (=0,00251)$ olacaktır. Çevrede örneğin 100.000 kişi yaşıyorsa bunlardan zaten ortalama 25.000'i yaşam boyu çeşitli nedenlerle kansere yakalanıp ölecekken, Fukuşima'dan aldıkları 20 mSv'lik radyasyon dozu sonucu bu toplam sayıya 100 kişi eklenecektir ($20 \text{ mSv}/\text{kişi} \times 0,05/1000 \text{ mSv} \times 100.000= 100$ kişi).

Fukuşima'da çevredekilerin aldıkları doz ve kişi sayıları başka varsayımlarla farklı alındığında farklı sonuçların çıkacağı açık. Örneğin ortalama doz 20 mSv yerine 100 mSv ve bu dozu aldığı öngörülen kişi sayısı 100.000 yerine 300.000 alındığında kanserden öleceklerin sayısı 15 kat artarak 1500 kişiyi bulacaktır. Radyasyon nedeniyle kansere yakalanıp öleceklerin, hesapları yapanların varsayımlarına göre farklı olmasının nedeni buradadır.

Benzer hesaplama, 130 milyonluk Japon halkının doğal radyasyondan her yıl aldığı ortalama 2,4 mSv'lik doz için de yapılabilir ve yılda 15.600 kişinin kanserden öleceği bulunur ($=2,4 \text{ mSv} \times 0,05/1000 \text{ mSv} \times 130.000.000$ milyon kişi). Öte yandan tüm diğer etkenler sonucu ortalama kanser ölüm riski olan % 25 göz önüne alındığında, Japon halkının her yıl ölen 1,4 milyondan 350.000'nin zaten çeşitli etkenlerle kansere yakalanıp öleceği açıktır. % 25'lik genel kanser riski Türkiye için de geçerlidir (dünya ortalaması).

Sonuç

Görüldüğü gibi tüm bu çeşit hesaplamalarla bulunan 'kanserden ölecek kişi sayıları' bilimsel olarak kanıtlanamayacak kestirimlerdir (tahminlerdir). Bu hesaplamalarda kullanılan doz değerleri ve kişi sayıları gerçeği yansıtmayacağı gibi yüksek dozların riskinden gidilerek düşük dozlar için yapılan orantılı risk kestiriminin temeli, bilim dünyasında zaten tartışmalıdır ve uluslararası yetkili kuruluş (UNSCEAR) /2/ bu çeşit hesaplamaları önermiyor.

Bu konuda bilimsel olarak izlenen doğru yol, kapsamlı tıbbi araştırmalarla ve ayrıntılı doz ölçümleriyle bilimsel çalışmaların radyasyondan etkilenen her bir yöreyi kapsayacak şekilde yapılması ve radyasyondan etkilenmeyen diğer bölgelerde yaşayanların tıbbi kontrolleriyle karşılaştırılarak sonuçlar çıkarılmasıdır ki adına 'epidemiolojik araştırmalar' denilen bu

çeşit bilimsel çalışmalar nükleer santral kazaları sonrası sürekli yapıyor. Ancak bu çeşit sayıları yüzbinleri bulan kişilerin gözlem altında bulundurulduğu araştırmalar onlarca yıl sürüyor. Çünkü bilindiği gibi kanser radyasyondan başka yüzlerce etkenle de ortaya çıkabilmekte ve bunların ayırdedilebilmesi yoğun ve uzun süreli çalışmaları gerektiriyor. Öte yandan kanserin kuluçkalık dönemi, kanserin cinsine göre 3 ile 20 yıl arasında değiştiğinden, kanserin ortaya çıkması için epey beklemek gerekiyor. Bu nedenle nükleer santral kazalarından hemen ya da 1-2 yıl sonra yapılan kanser ölümleriyle ilgili kestirimlere değer verilmemelidir.

/1/ WHO Report, Feb. 2013-Health risk assessment from the Fukushima nuclear accident 2011.

Bkz: 15 Mart 2013 günlü Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji dergisindeki Fukuşima Nükleer Kazasının Sağlığa Etkisi? başlıklı yazımız. Bu kitapta 7. Bölümdeki yazımıza bk.

/2/ UNSCEAR: Radyasyonun etkilerini ve radyasyondan korunmayla ilgili önlemleri, sınır değerleri dünyadaki araştırmaları gözönüne alarak değerlendiren ve sonuçları ülkelere öneren uluslararası kuruluş

Ek 12: Türkiye’de Uygulanan Radyasyon Doz Sınır Değerleri

(Kaynak: www.taek.gov.tr – Aşağıdaki çizelge ve metin okuyuculara bilgi için aynen alınmıştır. İleride olabilecek değişiklikler için TAEK sitesine bakılması).

| | | Radyasyon Görevlileri | Halk |
|-------------|-----------------|-----------------------|------------|
| Etkin doz | Yıllık Ortalama | 20 mSv/yıl | 1 mSv/yıl |
| | Tek Yıl | 50 mSv/yıl | 5 mSv/yıl |
| Eşdeğer Doz | Göz | 150 mSv/yıl | 15 mSv/yıl |
| | Cilt | 500 mSv/yıl | 50 mSv/yıl |
| | EI-Ayak | 500 mSv/yıl | 50 mSv/yıl |

“18 yaşından küçükler radyasyon uygulaması içinde çalıştırılmazlar. Eğitimleri radyasyon kaynaklarının kullanılmasını gerektiren 16-18 yaş arasındaki stajyerler ve öğrenciler için etkin doz, herhangi bir yılda 6 mSv’i geçemez. Ancak el, ayak veya deri için yıllık eşdeğer doz sınırı 150 mSv, göz merceği için 50 mSv’dir.

Hamile radyasyon görevlileri için çalışma şartları yeniden düzenlenmeli ve doğacak çocuğun alacağı dozun mümkün olduğu kadar düşük düzeyde tutulması sağlanmalıdır. Hamileliğin kalan süresi boyunca fetusun alacağı doz 1 mSv’i aşmamalıdır. Emzirme dönemindeki kadın çalışanlar, radyoaktif kontaminasyon riski taşıyan işlerde çalıştırılmamalıdır.

Özel Durumlar için Planlanan Işınlanmalar

Normal uygulamalarda ortaya çıkan ve yıllık doz sınırları üzerinde etkin doza maruz kalmayı gerektiren, fakat işınlanmanın dışında başka yöntemlerin bulunmadığı özel durumlarda Kurum’un izniyle yapılan işınlanmalardır. Özel durumlarda işınlamaya maruz kalacak radyasyon görevlileri için doz sınırları herhangi bir yılda 50 mSv’i, birbirini takip eden 10 yıl içinde ortalama yıllık 20 mSv’i ve toplamda 100 mSv’i geçemez.

Doz Kısıtlamaları

Radyasyondan korunma da optimizasyonun sağlanması için kişisel dozlar, yıllık doz sınırları altında kalmak koşuluyla kaynak ve uygulama özelliklerine bağlı olarak kısıtlanır.Limit değildir.

Tıbbi Işınlanmalar İçin Doz Kısıtlamaları

- Hasta Ziyaretçileri ve Gönüllüler İçin (Tanı/televi süresince) 5 mSv'i
- Hasta ziyareti için gelen çocuklar için 1 mSv'iaşmamalıdır.

Tanı amaçlı radyasyon uygulamalarında, hasta dozu kısıtlamaları için yönetmeliklerde verilen referans düzeylerine uyulmalıdır.

Müdahalede Bulunan Çalışanların Korunması

Müdahale durumunda ışınlanacak personelin yetkili otorite tarafından belirlenen **tek yıl dozunu aşmasına** izin verilmez.

Ancak;

- Hayat kurtarma ve ciddi yaralanmaların önlenmesi,
- Kollektif dozun azaltılması,
- Ciddi hasarların önlenmesi durumları bu koşulun dışında değerlendirilmelidir.
- Hayat kurtarmaya yönelik durumlar dışında, tek yıl dozunun iki katını aşmayacak planlamalar yapılır.
- Ciddi hasarları Deterministik etkileri önlemek amacıyla tek yıllık dozun on katını aşmayacak şekilde planlamalar yapılır.

Doz Sınırlarının Uygulanmadığı Işınlanmalar

Doğal radyasyon (2-3 mSv/yıl) nedeniyle ışınlanmalar ve tıbbi ışınlanmalardan alınan dozlar, doz sınırlarına ilave edilmez". **Radyasyon uyarı işaretleri için bk.:** <http://www.taek.gov.tr/radyasyon-guvenligi-sss/682-radyasyon-uyari-isaretleri-nelerdir.html>

TAEK"web sayfasından alıntının sonu.

Ek 13: Tıpta Radyasyon Uygulamalarıyla Tanı ve İyileştirme Teknikleri - Doz ve Risk Değerleri

Vücutun Röntgen, Bilgisayar Tomografisi (BT), Manyetik Rezonans Tomografisi (MRT) ve Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) Uygulamaları Sırasında Aldığı Radyasyon Dozlarından Doğan Kanser Riski Ne Kadar?

Giriş

Birçok kişi, radyasyonun gizemli ve çok tehlikeli bir şey olduğu düşüncesiyle, vücuduna radyasyon uygulanmasından ya da aletlerin altına yatıp ışınlanmaktan korkar. Kuşkusuz her şeyde olduğu gibi radyasyon uygulamalarının da bir riski var. Bu yazıda, tıpta tanı ve iyileştirme (tedavi) amacıyla yapılan radyasyon uygulamalarının dayandığı fiziğin ve teknolojinin, konuya yabancı olanlar için bir miktar açıklanmasının yanı sıra, bu uygulamalar sırasında oluşan radyasyon dozları ve kanser riski hesap sonuçları veriliyor. Yapılan karşılaştırmalar, bu uygulamalardan doğabilecek kanser risklerinin genellikle düşük düzeylerde olduğunu gösteriyor.

Çok kişi, radyasyon uygulaması sonucu kanseri yenerek sağlığına kavuşuyor. Radyasyon uygulamaları tıp öğreniminde bile çok küçük bir bölümü kapsıyor, halk arasında ise pek bilinmiyor. Gözle görülemeyen ve diğer duyarımızla algılanamayan radyasyonun varlığı ise, özel aletlerle gösterilebilir ve hangi düzeyde olduğu ölçülebilir. Diğer bazı tıp uygulamalarındaki belirsizliklere karşı, radyasyonla iyileştirme, fiziksel yöntemlerle planlanıp uygulanabiliyor ve etkileri ölçümlerle gösterilebiliyor. Bir ilaç vücuda alındığında ise, bunun ne kadarının vücutta istenilen yere ulaştığı tam olarak kestirilemiyor. Örneğin ilacın tümöre gerekli miktarda ulaşıp ulaşmadığı, başka etkenlerin yanı sıra, kan dolaşımıyla tümörün tam beslenip beslenmediği gibi nedenlerle, kesinlikle bilinmiyor. Halbuki vücudun belirli bir yerine radyasyon dozu verildiğinde, bunun ne kadarının kanser hücrelerine ulaştığı iyice hesaplanabiliyor.

İstatistik olarak bakıldığında her üç ya da dört kişiden biri, yaşamı boyunca kansere yakalanacağını hesap etmeli. Yaklaşık olarak tüm kanserli hastaların yarısı iyileşebiliyor. Ancak kanser cinsleri arasında iyileşmede büyük farklılık da görülüyor. Radyasyon tedavisi görenlerin % 50-% 60 kadarı iyileştirilebiliyor.

Tıpta Röntgen Işınları Uygulamaları

Tıpta tanı ve iyileştirme amacıyla genellikle yüksek enerjili (sert) Röntgen ışınları (ya da fotonları) ve elektronlar kullanılıyor. Bunlar, elektron hızlandırıcılarında üretiliyor. Ayrıca protonlar ve ağır iyonlar (karbon 12 atom çekirdekleri gibi) da aşırı düzeyde hızlandırılarak tümörlü dokulara yönlendirilip, tümörler öldürülüyor ve hastanın iyileşmesi sağlanabiliyor.

Röntgen Işınlarıyla Görüntüleme

Tıpta tanı amacıyla röntgen filmi kullanımının yaygın olduğunu biliyoruz. Örneğin bir kazada kemiklerin kırık olup olmadığı, kırığın tam yeri ve büyüklüğü Röntgen ışınlarına tutulan vücudun ilgili bölümünün arkasına konan bir filmde görüntülenebiliyor ve bu tanıya göre ne yapılması gerektiği belirlenebiliyor. Halkın, göğüs ve diş filminin çok çekildiği ve tıpta en çok radyasyon dozunun da bunların sonucu alındığı biliniyor. Kemiklerin daha yoğun olması sonucu Röntgen ışınları daha çok soğurulup filmde daha açık bir görüntü oluştururken, ışınlar, kırık yerdeki aralıktan(dokudan) daha az soğurularak geçerek filmde daha koyu bir görüntü oluşturduğundan kırık kolayca tanınabiliyor.

Röntgen ışınları, elektronların bir anoda yüksek gerilim (voltaj) altında hızla çarptırılması sonucu ortaya çıkan fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalardır. Fotonlar, çok küçük enerji paketleri olarak düşünülebilir. Fotonların enerjileri 100 elektron volt (eV) dan birkaç milyon elektron volta (MeV) kadar uzanabiliyor. Bu enerjiler 10 nanaometre (10^{-8} m) ile 1 pikometre (10^{-12} metre) dalga boylarına karşılık geliyor. Röntgen ışınları, elektromanyetik spektrumda mor ötesi ışınlarıyla gama ışınları arasındaki bölümde yer alıyorlar. Röntgen ışınlarını, 1895’de Wilhelm Conrad Röntgen bulduğunu da biliyoruz (Bk. Ek 1 ve 2). Bunlar ilk ortaya çıktığında Röntgen ne olduğu bilinmeyen bu ışınlara, matematikte bilinmeyen anlamına gelen X’den esinlenerek X-ışınları adını vermiştir ve bu nedenle bunlara X-ışınları da deniyor.

Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Modern röntgen aygıtlarıyla sadece kemiklerdeki kırık ya da bozukluklar değil aynı zamanda vücudun iç organları da görüntülenebiliyor. Halk arasında ‘BT çekimi’ olarak bilinen teknikte, Röntgen ışınlarına tutulan organlardaki yoğunluk farklarından yararlanılıyor ve sonuçlar bilgisayar ekranına taşınarak tanı konabiliyor. Kemiklerde daha çok 20 atom numaralı kalsiyum bulunurken, yumuşak dokularda daha çok 1 atom numaralı hidrojen, 6 atom

numaralı karbon ve 8 atom numaralı oksijen bulunuyor. BT'de, bilgisayar tekniklerinin yardımıyla belirli bir organın tam bir görüntüsü elde ediliyor ve organdaki bozukluklar için tanı konabiliyor.

Röntgen ışınları yüksek dozda kanserli bir dokunun tümörlü yerine verilip, tümörün öldürülmesi sağlanarak hastanın ameliyat olmadan iyileştirilmesi de sağlanabiliyor. Işınlama, vücudun etrafında döndürülen ışınlama aygıtıyla ve toplam doz 5-10 güne bölünerek yapılıyor. Böylelikle ışınların yolları boyunca geçtikleri sağlıklı organlar ve hücreler daha az doz alıyorlar.



Tıpta sık yapılan röntgen ışınlamalarında vücudun aldığı etkin radyasyon dozları (mSv)

Diş filmi: < 0,01

El, kol, bacaklar: < 0,01 – 0,1

Kafatası: 0,03 – 0,06

Boyun kemiği: 2 düzeyde: 0,1 – 0,2

Göğüs kafesi (Thorax), tek çekim: 0,02 – 0,04

Memelerin ışınlanması (her iki yandan 2 düzeyde): 0,2 – 0,4

Sırt omurgası 2 düzeyde: 0,2 – 0,5

Belaltındaki omurga: 2 düzeyde: 0,6 – 1,1

Leğen kemiği: 0,3 – 0,7

Karın bölgesive barsaklar: 0,3 – 0,7

Miğde: 4 – 8

Barsaklar(kontrastlı) 5 – 12

Safra: 1 – 8

İdraryolu: 2 – 5

Arteriografie: 10 – 30

BT Beyin bölgesi: 1 – 3

BT Belaltı omurga: 4 – 9

BT Göğüs kafesi (Thorax) 4 – 7

Kaynak: Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de), Radyasyon doz birimleri için bk. Ek 2

Kanser Riski Nasıl Hesaplanıyor?

Vücutta oluşan radyasyon dozlarının etkisiyle kanserin ortaya çıkma riskinin hesaplanabilmesi, ancak çok sayıda kişi aynı düzeyde doz aldığında yapılabiliyor. Örneğın toplumda 1 milyon kişi röntgen filmi çekirmiş ise, bunların kaçında kanserden ölüm beklenebiliyor? sorusu yanıtlanmaya çalışılıyor. Bunun hesaplanması ise başka seçenek olmadığından, 2.Dünya Savaşında Japonya'da atılan atom bombalarından kurtulanların (100.000 kişi kadar) aldıkları yüksek radyasyon dozları sonucu, bu topluluk içinde, daha sonraki

yıllardan bugüne kadar görülen kanserden ölen kişi sayısı ile ilişkilendiriliyor. Buradan, topluluk ışınlamalarında, her bir Sievert (Sv)'lik radyasyon dozunun, o toplumda ortalama olarak % 5'lik ölümcül kanser riski taşıdığı sonucu çıkmıştır. Örneğin 10.000 kişilik bir toplulukta her bir kişi 1 Sv doz almışsa bunların içinden 500 kişide ölümcül kanser beklenebilir. Ancak bunların kimler olabileceği bilinemez.

Aşağıdaki çizelgede, toplam % 5'lik ölümcül kanser riskinin, çeşitli organlara dağılımı ya da her bir organ için kanser riski katsayıları görülmüştür.



1 Sievert'lik bir dozun çeşitli organlarda oluşturabileceği yüzde olarak ölümcül kanser riski katsayıları (% /Sv)

Omurluk: 0,5

Kalın barsaklar: 0,85

Miğde: 0,7

Akciğerler: 0,85

Göğüs: 0,6

Yemek borusu: 0,3

İdrar torbası: 0,3

Karaciğer: 0,15

Yumurtalık: 0,1

Tiroid: 0,08

Kemikler: 0,05

Deri: 0,02

Diğer organlar: 0,5

Toplam: 5,0

Hesaplama Örnekleri:

Akciğerlerin aldığı toplam doz: 0,3 mSv

Bu dozun akciğerlerde oluşturabileceği ölümcül kanser riski: $0,3 \text{ mSv} \times 10^{-3} \text{ Sv} \times \% 0,85 = 1 : 400.000$

Bu dozu alan her 400.000 kişiden 1'i yaşamı boyunca ölümcül akciğer kanserine yakalanacak anlamındadır.

Tüm vücut için 0,2 mSv 'lik bir etkin dozun, vücudun herhangi bir yerinde tümör oluşturma sonucu ölümcül kanser riski :

$$0,2 \text{ mSv} \times 10^{-3} \times \% 5 \text{ Sv}^{-1} = 1 : 100.000$$

Bu ise bu dozu alan her 100.000 kişide 1 kişinin vücudunun herhangi bir yerinde kanser (tümör) ortaya çıkması sonucu o kişinin ileride ölebileceği

anlamına geliyor.



Röntgen uygulamalarında vücudun aldığı radyasyon dozlarının oluşturabileceği ölümcül kanser riskleri (Kestirimer):

El ve dişlerde: 10 milyonda bir kanser görülebilir (1: 10.000.000)

Dirsek ve dizlerde: Milyonda bir 1: 1.000.000

Akciğerler (2 film için): 1: 100.000

Meme: 1: 20.000 ile 1: 40.000 arasında

Baş BT'si: 1: 10.000

Miğe ve ince barsak (bir dizi uygulama): 1: 2.000

Kalın barsak: 1: 1.000

Manyetik Rezonans Tomografisi ya da Nükleer Spin Tomografisi (MRT)

MRT, iç organların ve dokuların tanı amacıyla görüntülenmesini, manyetik alanlar ve yüksek frekanslı radyo dalgaları yardımıyla sağlıyor.

İlk kez 1939 yılında Dr. Isidor Rabi ve arkadaşları, manyetik rezonansı farkettiler. Manyetik rezonans görüntüleme yöntemi, 1946 yılında Harvard Üniversitesinden Amerikalı fizikçi Edward M. Purcell (1912-1997) ve Stanford Üniversitesinden Felix Bloch'un (1905-1983) birbirlerinden bağımsız çalışmalarıyla ortaya çıkıyor. Bu tekniğin fizik ve kimyada uygulamaları başlıyor. Her iki araştırmacı da 1952 yılında bu buluşları nedeniyle Nobel ödülüyle onurlandırılıyorlar.

Bu tekniğin tıpta uygulanması ise 1973 yılında, her ikisi de fizikçi olan, Lauterbur ve Mansfield'in çalışmalarıyla başlıyor. Onlara da 2003 yılında Nobel Tıp Ödülü veriliyor. Pratikte bu teknik 1984'den beri tıpta uygulanıyor. Türkiye'de ilk kez 1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesinde, bu teknik, uygulanmaya başlıyor.

**Felix Bloch (1905-1983)****Edward Mills Purcell (1912-1997)**

Nükleer manyetizma dalındaki, birbirlerinden bağımsız, duyarlı ölçüm ve yöntemleri sonucu ortaya çıkan buluşları nedeniyle, Felix Bloch ve Edward Mills Purcell '1952 Nobel Fizik' ödülünü kazanıyorlar (Foto: Nobel Vakf'ından)

2003 Nobel Tıp Ödülü:**Paul C. Lauterbur Kimyacı
(ABD, 1929 - 2007)****Sir Peter Mansfield Fizikçi
(1933 Londra doğumlu)**

Tıpta, MRT görüntüleme buluşları nedeniyle, Paul C. Lauterbur ve Sir Peter Mansfield 2003 Nobel Tıp ödülünü kazanıyorlar (Foto: Nobel Vakf'ından)



MRT silindiri (Gantri) içinde yatan bir hastanın vücudunun incelenmesi

Manyetik Rezonans Tomografisinin (MRT) Fiziği

Aslında MRT, fizikte bilinen Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) olayına dayanıyor (Halkın 'nükleer' sözcüğüne karşı çekincesi sonucu NMR yerine artık MRT kullanılıyor). Vücut dokularında çok bulunan su moleküllerindeki hidrojen atom çekirdeklerinin (protonların) kendi eksenleri etrafında dönme hareketleri (ki buna fizikte **spin** deniyor) sonucu protonların çevrelerinde, zayıf da olsa, bir manyetik alan oluşuyor. Bunlara dışardan kuvvetli bir statik manyetik alan uygulandığında, atom çekirdeklerinin dönmeleri hızlanıyor ve bu hızlanma statik manyetik alan doğrultusunda az miktarda boyuna (longitudinal) ek bir manyetik alan oluşturuyor (ki bu olguya paramanyetizma deniyor). Dıştaki kuvvetli manyetik alanın yanı sıra, radyo frekans aralığında genellikle 100 Mega Hertz (MHz) dolayında yüksek frekanslı, değişken bir alan, kısa süreli, uygulandığında ise, atom çekirdeklerinin oluşturduğu manyetizma, statik manyetik alanın yönünden sapıyor. Böylece manyetik alan, enine dalgalarla (yayıma doğrultusuna dik titreşen ya da transvers dalgalarla) yayılıyor ve manyetizmanın doğrultusu, yalpalayarak, salınarak dönmeye (presesyona) başlıyor. Bu şekildeki bir manyetizma, dinamodaki mıknatısların dönmesine benzetilebilir ve bobinde bir elektrik akımı oluşur. Bunların genlikleri enine manyetik alanın şiddetiyle orantılıdır. Yüksek frekanslı değişken alan kesilince enine manyetizma ve dolayısıyla protonların manyetik momentleri, tekrar statik manyetik alana yönelirken enerji, ışın (sinyal) salarak (yayarak) azalıyor ki MRT'de belirlenen görüntünün kaynağı bu sinyallerdir. Bunu biraz daha açarsak: radyo dalgası uy-

gulanmadan önce, salınım hareketi yapmakta olan düşük enerji düzeyindeki protonlar, radyo dalgası uygulandığında bu dalgalardan enerji soğurarak konumlarını değiştirip yalpalıyorlar. Bir süre sonra radyo dalgası kesildiğinde ise, protonlar, radyo dalgalarından soğurdıkları enerjiyi radyo frekansında ışın (sinyal) salarak çevrelerindeki moleküllere aktarıyorlar ve eski konumlarına geri dönerek gevşiyorlar ki buna, **rezonans** deniyor. Bu duruma geçiş belirli bir gevşeme (relaksasyon) süresinde oluyor. Bu gevşeme, hidrojen atomlarının bulunduğu dokudaki kimyasal bağlara ve o çevredeki molekül yapıya bağlı olarak değişiklik gösteriyor. Böylelikle her bir doku cinsine göre oluşan sinyallerin bilgisayara aktarılmasıyla açık ya da koyu görüntüler ortaya çıkarak vücuttaki bozukluklar, tümörler MRT ile belirlenebiliyor. Bilgisayar, bu sinyallerden vücudun ilgili yerinin kesit resmini görüntülüyor.

MRT, hidrojen yoğunlaşmasının çok olduğu, yumuşak doku ve organlar için örneğin eklem yerlerinin, beyinin, meniskusun, kasların ve kalbin görüntülenmesinde kullanılıyor. Doku ve organlardaki küçük değişimler bile MRT tekniğiyle belirlenebiliyor. Suyun (hidrojenin) çok az bulunduğu kemikler ile havanın çok olduğu akciğerlerin görüntülenmesi için ise MRT tekniği uygun değildir.

MRT Uygulamasının Sağlığa Etkisi

Bugün kullanılan MRT aygıtlarının çoğu 1,5 ve 3 Tesla (*) manyetik alan şiddetindedir. Bugüne kadar yapılan bilimsel çalışmalar, tüm vücuda uygulanan 4 Tesla'nın altındaki manyetik alan şiddetlerinde, sağlığa herhangi bir olumsuz etki görülmemiştir. Manyetik alan demir başta olmak üzere çeşitli metallerde elektrik akımları oluşturduğundan, MRT silindiri (gantri) içine yatırılan hastanın üzerinde hiçbir metal takı olmamalıdır. Kalp pilli ya da başka aletli hastalara MRT yapılamadığından, vücutlarında bu gibi aletleri taşıyanlar ilgili doktora bilgi vermelidirler (Örneğin vücutlarında insulin pompası, iç kulak protezi, sabit takma diş, yapay eklem ve plakalar bulunanlar). Görüntü kalitesinin artırılması için hastaya önceden kontrast maddesi enjekte ediliyor. Bu madde genellikle hastada herhangi bir sorun yaratmıyor.

Radyo frekanslı dalgaların kısa sürelerle uygulanıp kesilmesi sırasında hastanın vücuduna aktarılan enerji nedeniyle vücut sıcaklığı biraz artıyor (genellikle 1°C'den az). Radyo frekansındaki dalgaların vücutta oluşturduğu enerji için SAR (specific absorption rate/ özgül soğurma hızı, Watt/kg kullanılıyor. SAR, alan şiddetinin karesi ile artıyor.

MRT'de uygulanan manyetik alan sonucu hastanın vücudunda belirgin bir biyolojik etki bugüne kadar gözlenmemiştir. Ancak aygıtın Tesla değeri arttıkça bazı makromoleküllerin uyumunda, kimyasal ilişkilerde, sinir sisteminde bozulmalar görülebilir. Yüksek Tesla değerli aygıtlarla hayvanlar üzerinde yapılan deneylerde bazı biyolojik etkiler görülmüş ise de bunlar 2

Tesla'nın altındaki uygulamalarda görülüyor. **Bu nedenle MRT aygıtları için sınır değer olarak 2 Tesla öneriliyor.** Türkiye'de henüz bir sınır değer bulunmamasına karşın, kullanılan en yüksek değer 1,5 Tesla dolayındadır.

MRT'nin gebe kadınlara uygulanması genellikle önerilmiyor. Ancak zorunlu durumlarda uygulanabiliyor. **MRT, röntgen ve gama ışınları gibi herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon içermediğinden, bunlarla ilgili radyasyon dozu ve riski söz konusu değil.**

Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)

Bu tekniğin özelliği, vücudun belirli dokularındaki madde alış verişleriyle metabolik değişimlerin ortaya çıkarılmasıdır. Bunun yapılabilmesi ise glüköz (üzüm şekeri) eriyiğine katılan bir radyoaktif maddeyle (genellikle flor 18 ile) sağlanıyor. Hücrelerin enerji kaynağı olan (glüköz ya da şeker) kandan alınırken örneğin flor 18 de birlikte alınmış oluyor ve florun yaydığı radyasyonların izlenmesi yoluyla vücuttaki metabolik değişimler görüntüleniyor. Vücutta fazla enerjiye gereksinimi olan beyin, kalp kasları, hastalıklı doku ve tümörler, diğer dokulara oranla, flor 18'li glükozu, daha fazla ve daha çabuk alırlarken koyu siyah ya da parlayan renkli lekeler şeklinde görüntülenebiliyorlar. PET'in farklılığı: Röntgen uygulamalarında, BT ve MRT tekniklerinde ilgili doku ya da organın durumu görüntülenirken, PET tekniğinde doku ve organdaki madde alış verisi görüntüleniyor. Başka bir farklılık da diğer tekniklerde vücut dışardan ışınlanırken, PET tekniğinde vücuda verilen az miktardaki radyoaktif maddenin yaydığı radyasyonla vücut içten ışınlanıyor, sonra bu radyoaktif madde kısa biyolojik yarılanma süresi sonucu, kısa sürede vücuttan normal yollarla atılıyor. Bugün, PET'in BT ya da MRT ile birlikte çalıştırıldığı (PET/BT ve PET/MRT) alet sistemleri de kullanılıyor. Böylelikle hem dokulardaki madde alış verişleri incelenirken hem de doku ve organın gerçek durumu görüntülenip, tümörle ilgili daha ayrıntılı bilgi ediniliyor. PET, özellikle tıbbın onkoloji, nöroloji ve kardiyoloji bölümlerinde kullanılıyor. Kemoterapi ve radyasyon uygulaması geçirmiş hastaların tümörlerinin ne derece öldürüldüğünü belirlemede de PET tekniği ayrıntılı bilgi verebiliyor. PET tekniği için gereken radyoaktif maddenin kısa yarılanma süresi nedeniyle, yakındaki bir laboratuvarından sağlanması gerektiğinden PET uygulaması her yerde yapılamıyor. Ayrıca PET aletinin fiyatının çok yüksek olması nedeniyle, uygulama ücreti de yüksektir. Bu nedenle PET, ancak zorunlu durumlarda yapılıyor. Kısa yarılanma süreli radyoaktif maddenin vücutta etkisi ise çok az(doğal radyasyondan yılda alınan doz kadar ya da BT uygulamasındakinden daha az).

PET yapılacak hastaya çok az miktarda radyoaktif maddeli glüköz damardan enjekte ediliyor. 110 dakikalık yarılanma süresi olan flor 18, parçacık hızlandırıcılarında (siklotronlarda) üretiliyor.

Pozitron Emisyon Tomografisinin (PET) Fiziği

Radyoaktif atom çekirdekleri kararsız olduklarından, beta bozunum özelliği gösteren bir atom çekirdeği, örneğin flor 18, 'artı yüklü beta' (= pozitron) ile birlikte bir nötrino salıyor. Pozitron kararsız olduğundan başka normal bir atomdan bir elektron yakalayarak, birbirinden zıt yönde uzaklaşan ve herbiri 511 keV enerjideki iki gama ışını ortaya çıkıyor (Bu olay, radyasyon fiziğinde 'pozitron ve elektron yok oluşu ve ışınım' olarak bilinir). Vücudun bir noktasından yayılan gama ışınları, karşılıklı yerleştirilen iki detektörle aynı anda belirlenip, Pozitron Emisyon Tomografisinde (PET) bilgisayar tekniği aracılığıyla görüntüleniyor. Böylelikle organ ve dokuların durumları incelenebiliyor. PET tarayıcısı (scanner) elde edilen farklılıkları bilgisayarda görüntülüyor.

Kanser Riskiyle İlgili Sonuçlar

Tıptaki radyasyon uygulamaları sırasında vücudun aldığı dozlardan kanserin ortaya çıkma riski genellikle çok düşüktür. Yukardaki açıklamalardan görüldüğü gibi gerek röntgen uygulamalarından (BT) gerekse PET'den doğan kanser riski çok azdır. Tüm nedenlerle (etkenlerle), halkın kanserden ölüm riski ise çok daha fazla olup ortalama % 25 dir. Yani toplumda her 4 kişiden biri yaşamı boyunca herhangi bir nedenle kansere yakalanıp ölebilir. Röntgen ve BT uygulamaları sırasında alınan dozlar nedeniyle kanser oluşma riski ise milyonda bir ile binde bir arasındadır (Yukardaki çizelgeye bk.).

MRT'de, iyonlaştırıcı radyasyon bulunmadığından sadece statik manyetik alan ve radyo frekansındaki dalgaların etkisi olabilir. Ancak aletlerde kullanılan manyetik alan şiddetleri ve radyo frekanslarının etkisi ilgili sınır değerlerin çok altında olup bugünkü bilimsel verilere göre önemli bir etki beklenmiyor.

Öte yandan, yüksek radyasyon dozları kullanılarak tıpta tümörlerin öldürülmesi uygulamaları, vücut için daha büyük risk taşıyabilir, ancak hastanın, radyasyon uygulaması yapılmaması durumunda ölüm riski daha fazla olabileceğinden, radyasyon uygulaması doktorlarca zorunlu görüldüğünde yapılmaktadır.

.....
(*):Tesla: Manyetik alan akı yoğunluğu birimi, 1 Tesla = 1 Volt.s/m² = 10.000 Gauss,

(1 mikroTesla = 10⁻⁶ Tesla)

Kaynaklar:

www.bfs.de; www.radiomed-praxis.de; www.klinikum.uni-heidelberg.de/

Strahlentherapie, Deutsche Krebshilfe, Nr.53, 8/2006 ; www.dkfz-heidelberg.de/

Ek 14: Alkol ve Radyasyon Dozları Kanser Risklerinin Karşılaştırılması

Günde içilen bir şişe biradaki alkolün kanser yapma riski, Fukuşima çevresinde yaşayanların aldığı radyasyon dozunun kanser yapma riskinden 20 kat daha çok! (Şaşılabılır, ancak hesaplar bunu gösteriyor)

Bu yazıda, vücuda alınan alkol dozunun neden olabileceği kanser riskiyle, Fukuşima çevresinde yaşayan insanların vücutlarına aldıkları radyasyon dozunun oluşturabileceği kanser riski, basit hesaplamalarla karşılaştırılıp sonuçlar açıklanıyor.

Önceden açıklıyalım: Bu yazının amacı günde içilen ne bir şişe biradaki gibi az miktarda alkolün vücuda zararlı, ne de düşük radyasyonun zararsız olduğunu göstermeye çalışmaktır. Vücuda alınan alkol dozunun da radyasyon dozunun da kanser oluşturma riskleri, aynı yöntemle hesaplanmalı, sonuçlar karşılaştırılarak ortaya nesnel olarak konulmalı. Böylelikle radyasyon riskinin yanı sıra, alkol riski örneğiyle daha birçok zararlı maddenin vücudumuzda oluşturduğu kanser riskleri göz ardı edilmeden ya da çifte standart kullanılmadan, yapılabilecek karşılaştırmalarla gerçekçi bir değerlendirme yapılmış olacaktır.



Vücuda Alınan Alkol Dozu ve Kanser Riski

Örneğin alkol derecesi yüksek 1 litrelik konyakta öldürücü doz saklı. Eğer 1 litre konyak 3-5 saat gibi kısa bir sürede içilirse alkol zehirlenmesiyle ve belki de alkol ölümüyle sonuçlanabilirken, bu miktar, 1 ay ya da 1 yıl gibi uzun bir sürede azar azar içilirse vücudun aldığı alkol dozu sonucu hastalanmanın ya da zehirlenmenin görülmediği ya da görülmeyeceği biliniyor.

Alkolün kanser riski taşıdığını bilimsel araştırmalar gösteriyor.

Büyük toplulukları kapsayan bilimsel araştırmalar (epidemiolojik çalışmalar), vücuda alınan ne miktardaki alkolün (alkol dozunun) kanser oluştur-

ma riskinin ne oranda olabileceğini belirliyor. Bu konuda yapılan kapsamlı epidemiyolojik çalışmalar aşağıdaki kaynaklarda yer alıyor /1,2,3/.

1 litre birada ortalama % 5 saf alkol (=etanol) bulunuyor. Bu miktar, 40 gram saf alkole karşılık geliyor (etanol'un yoğunluğu: 0,79 gram/ml). Şarabın alkol oranı % 10 kadar olduğundan yarım litre şarapta da aynı miktarda saf alkol bulunuyor.

Uluslararası kanser araştırma kurumları, yapılan (epidemiyolojik) bilimsel araştırmalara dayanarak, erkeklerde günde 20 gram, kadınlarda da günde 10 gram saf alkolden fazlasının içilmemesini öneriyor. 20 gram alkol, 1 şişe birada (0,50 litre) ya da 0,25 litre şarapta var.. İçinde bu miktarda saf alkol bulunan bir içecek yıl boyunca **her gün** içildiğinde kanser riski vücuttaki çeşitli organlarda, içki içmeyenlere oranla, % 50 den başlayarak epey artıyor. Günde vücuda giren alkol miktarı iki katına çıktığında (40 gram) boğaz ve gırtlak kanseri riski on katına çıkabiliyor /4,5/. Almanya Besin Kurumu'nun raporuna göre, toplumda görülen toplam kanserli sayısının erkeklerde % 10'u, kadınlarda % 3'ü de alkol içilmesinden kaynaklanıyor. Alkol, çoğunlukla sigara ve fazla yemekle birlikte içildiğinden, bunların da birlikte etkileri sonucu, bu oldukça yüksek risk değerleri ortaya çıkıyor /6/.

Burada, vücuda alınan alkolden kaynaklanan kanser riskinin diğer etkenlerden arındırılmış olarak sadece % 4 kadar düşük olduğu ve bunun da yarısının (% 2) kanserden ölümlerle sonuçlandığını iyimser olarak varsayarak, radyasyon dozu riskiyle karşılaştırma yapacağız. Böylelikle uluslararası bilimsel araştırmalara göre oldukça düşük sayılabilecek bu % 2'lik alkolden kanser riskinin, radyasyondan kanser riskine oranla ne büyüklükte olduğu görülebilecektir.

Fukuşima'da Vücuda Alınan Radyasyon Dozu ve Kanser Riski

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) /7/, 30 bağımsız uzmana yaptırdığı bilimsel araştırmalara göre Fukuşima'nın 20-30 km çevresinde, halkın hâlâ yaşadığı bölgelerde, halktan bir kişinin ilk yılda aldığı ortalama radyasyon dozu 20 mSivert'tir (Sv) (*).

Öte yandan, Hiroşima ve Nagazaki'de atılan atom bombalarından kurtulanlar üzerinde yapılan araştırmalara göre toplulukta 1 Sievert radyasyon dozu alan kişilerin kanser riski % 5'dir (Risk katsayısı). Birkaç gün gibi kısa bir sürede ortaya çıkan bu yüksek (1000 miliSivert) doz temel alınarak, bir yıl gibi uzun sürede vücuda alınan 20 mSv gibi düşük dozlar için doğru orantıyla radyasyon dozu riski, hesaplanıyor. Bu hesaplama çok tartışma-



li. Çünkü düşük radyasyon dozlarının vücutta olabilecek etkisini hücrelerin zamanla etkisiz hâle getirmesi ya da onarması bekleniyor. Buna rağmen, Fukuşima'daki 20 mSv'lik oldukça düşük radyasyon dozunun vücuda etkisi olabileceği düşünülerek bir hesaplama yapılırsa aşığıdaki kanser riski bulunur:

$$20 \text{ mSv} \times 0,05/1000 \text{ mSv} : 0,001$$

Bunun anlamı, topluluk içinde 20 m Sv doz alan her 1000 kişiden 1 kişi kansere yakalanıp ölebilir. Buna karşın her 1000 kişiden ortalama olarak 250'si diğer nedenlerle kanserden öldüğünden radyasyon nedeniyle bu 1 kişinin kanıtlanma olasılığı bulunmuyor. Çeşitli nedenlerle kanserden ölümlerin dünya ortalaması % 25, örneğin Almanya'da her yıl ölen yaklaşık 880.000 kişinin 220.000'i kanserden ölüyor (Risk hesaplarının ayrıntıları için Ek 11'e bk.).

Az miktarda doğal radyoaktivite ve radyasyon her yerde, çevremizdeki taşta, toprakta, besinlerde ve hatta vücudumuzda bile var. Röntgen filmi çekilirken, Bilgisayar Tomografisi (BT) yapılırken vücudumuza milyarlarca radyasyon girip çıkıyor, buna rağmen, sağlıklı yaşıyoruz. Buradan, vücuttaki hücreler, vücuda alınan düşük düzeydeki radyasyona karşı kendilerini koruyabildiklerinden olacak, sağlıklı yaşayabiliyoruz' sonucunu çıkarabiliriz.

Radyasyonun vücuda etkisini gösteren doz birimi olarak Sievert (Sv) kullanılıyor. Ancak 1 Sievert (=1000 mili Sievert) büyük bir doz. Çok büyük kazalarda bile çevredekiler bu kadar büyük bir radyasyon dozu almıyorlar. Fukuşima kazası sonrası radyoaktiviteden en yoğun etkilenen iki yerleşim yerlerinde bile orada yaşayanların bir yıl boyunca aldıkları ortalama radyasyon dozu 20 miliSv (10 ile 50 mSv arasında)/1/.

Alkol ve Radyasyon Dozlarının Kanser Oluşturma Risklerinin Karşılaştırılması

Yıl boyunca günde 1 şişe bira içiminden doğan kanser riski, Fukuşima'da alınan radyasyon dozu riskine oranlanırsa : 0,02/ 0,001= 20 bulunur. Buradan yıl boyunca her gün 1 şişe bira içildiğinde, bunun kanser yapma riskinin Fukuşima'da radyasyon nedeniyle kansere yakalanma riskinden 20 kat daha fazla olduğu görülüyor. Ya da Fukuşima çevresinde 1 yıl boyunca alınan radyasyon dozunun, oradaki insanlarda kanser yapma riskiyle aynı risk, 1 şişe biranın günde 20'de biri içildiğinde ortaya çıkıyor ki bu da 25 mililitrelik küçük bir kadehle bira içmek ya da içinde 2 gram kadar alkol bulunan pralin (Mon Chery) yemekle aynı risk alınıyor demektir.

Karşılaştırma ve Sonuç

Dünyada ölenlerin ortalama olarak, % 25'i kanserden ölüyor. Bunun içinde alkolün payı % 2-3, radyasyonun payı ise Fukuşima örneğinde bile binde bir kadar düşük (Aşağıdaki çizelgeye bk.). İyi yanmamış kömür ateşinde yapılan ızgaradaki bir pizolada yüzlerce kanser yapabilen madde birikiyor. Yani düşük radyasyon dozları diğerleriyle karşılaştırıldığında sanıldığına tersine, önemli bir kanser riski taşıyor. Her birimizin vücudunda doğal radyoaktif maddeler var ve birbirimize sevgiden sarıldığımızda, birbirimizi ışınladığımız farkında bile değiliz. Ayrıca doğal radyoaktif maddeler çevremizde her yerde var. Röntgen filmi çektirdiğimizde de az da olsa kanser riski var. Tüm bu risklere rağmen sağlıklı yaşıyoruz.

Soluduğumuz havadaki, yediğimiz besinlerdeki maddeler içinde kanserojen birçok kimyasal ve biyolojik madde bulunduğu medyada sık sık yer alıyor. Ancak bunların kanser riskleriyle, radyasyonunki karşılaştırılıp durum nesnel(objektif) olarak ortaya konmuyor.

Çizelge : Kanser oluşumunda etkenler, kanser oluşumuna katkıları ve etkileyebileceği organlar

| Etkenler/Risik faktörü | Kanser oluşumuna katkısı (kestirim) | Etkileyebileceği organlar |
|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Sigara (tütün) | % 25 ile % 30 arası | Ağız boşluğu, Yemek borusu, Gırtlak, Akciğerler, Pankreas, İdrar torbası, Rahim, Böbrekler, Kan |
| Beslenme | % 20 ile % 40 arası | Ağız boşluğu, Yemek borusu, Gırtlak, Akciğerler, Pankreas, Miğde, Barsak, Göğüs, Prostat |
| Alkol | % 2 ile % 3 arası | Ağız boşluğu, Yemek borusu, Gırtlak, Karaciğer |
| İş yaşamı (örneğin:stres) | % 4 ile % 8 arası | Akciğerler,İdrar torbası, Lenf sistemi |
| Genetik yapı | % 5 | Gözler, Barsaklar, Göğüs, Yumurtalıklar,Tiroid |
| Bulaşıcı hastalıklar | % 5 | Karaciğer, Rahim, Lenf sistemi, Kan yapan sistem, Miğde, Burun boğaz bölgesi |
| Havadaki zararlı maddeler | % 2 | Akciğerler, Kan, Göğüs, Tiroid. |

Bu nedenlerle, alkol gibi daha birçok kanser yapabilen maddenin de üzerinde durulması ve bunların da kanser yapma risklerinin gözardı edilmemesi gerekiyor (fabrikaların, kömürlü elektrik santrallerinin, evlerin baca gazları, kamyonların siyah egzoz gazları gibi).

(*) mili Sievert (mSv), Sievert'in binde biridir (1 Sv=1 Joule/kg, Bk. Ek 2).

Kaynaklar:

- /1/ <http://www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/alkohol.php>
- /2/ IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans VOLUME 96
Alcohol Consumption and Ethyl Carbamate 2007/2010, 1440 Seite
- /3/ Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami.WHO Report 28.02.2013 ISBN 978 92 4 150366 2 (FUKUSHIMA)
- /4/ Radioaktivitat: Kleine Dosis, groe Angst Lutz Niemann, Novo-Argumente 2012
- /5/ Radioaktivitat und Ethanol, L.Niemann, KTG-Fachgruppe "Nutzen der Kerntechnik" 2004
- /6/ <http://www.dge.de/modules.php?name=News&file=article&sid=1185>
- /7/ 15 Mart 2013 günlü Cumhuriyet Bilim ve Teknoloji dergisindeki Fukuşima Nükleer Kazasının Sağlığa Etkisi? başlıklı yazımız. Bu yazımız Bölüm 7'de bulunuyor.

Ek 15: DNA, RNA VE MUTASYON

DNA

Deoksiribonükleik asit veya kısaca DNA, tüm organizmalar ve bazı virüslerin canlılık işlevleri ve biyolojik gelişmeleri için gerekli olan genetik talimatları taşıyan bir nükleik asittir. DNA'nın başlıca rolü bilginin uzun süreli saklanmasıdır. Protein ve RNA (aşağıya bk.) gibi, hücrenin diğer bileşenlerinin inşası için gerekli olan bilgileri içermesinden dolayı DNA; bir kalıp, şablon veya reçeteye benzetilebilir. Bu genetik bilgileri içeren DNA parçaları gen olarak adlandırılıyor. Ama başka DNA dizilerinin yapısal işlevleri bulunuyor (kromozomların şeklini belirlemek gibi), diğerleri ise bu genetik bilginin ne şekilde (hangi hücrelerde, hangi koşullarda) kullanılacağına düzenlenmesine yardımcı oluyorlar.

Kimyasal olarak DNA, nükleotit olarak adlandırılan basit birimlerden oluşan iki uzun polimerden oluşuyor. Bu polimerlerin omurgaları, ester bağları ile birbirine bağlanmış şeker ve fosfat gruplarından oluşuyor. Bu iki iplik birbirlerine ters yönde uzanıyorlar. Her bir şeker grubuna baz olarak adlandırılan dört tip molekülden biri bağlıdır. DNA'nın omurgası boyunca bu bazların oluşturduğu dizi, genetik bilgiyi kodluyor. Protein sentezi sırasında bu bilgi, genetik kod aracılığıyla okununca proteinlerin amino asit dizisini belirliyor. Bu süreç sırasında DNA'daki bilgi, DNA'ya benzer yapıya sahip başka bir nükleik asit olan RNA'ya kopyalanıyor. Bu işleme transkripsiyon deniyor.

Hücrelerde DNA, kromozom olarak adlandırılan yapıların içinde yer alıyor. Hücre bölünmesinden önce kromozomlar eşleniyor, bu sırada DNA ikileşmesi gerçekleşiyor. Ökaryot canlılar (yani hayvan, bitki, mantar ve protistalar) DNA'larını hücre çekirdeği içinde bulundururken prokaryot canlılarda (yani bakteri ve arkelerde) DNA, hücre sitoplazmasında yer alıyor. Kromozomlarda bulunan kromatin proteinleri (histonlar gibi) DNA'yı sıkıştırıp organize ediyorlar. Bu sıkışık yapılar DNA ile diğer proteinler arasındaki etkileşimleri düzenleyerek DNA'nın hangi kısımlarının okunacağını kontrol ediyor.

Nükleotit, birimlerden oluşan bir polimerdir. DNA zinciri 22 ila 26 Ångström arası (2,2-2,6 nanometre) genişliktedir, bir nükleotit birim 3,3 Å (0.33 nm) uzunluğundadır. Herbir birim çok küçük olmasına rağmen, DNA polimerleri milyonlarca nükleotitten oluşan çok büyük moleküllerdir. Örneğin, en büyük insan kromozomu olan 1 numaralı kromozom yaklaşık 220 milyon baz çifti uzunluğundadır.

DNA'nın yarısı dişi bireyden yarısı da erkek bireyden geliyor. Canlılarda DNA genelde tek bir molekül değil, birbirine sıkıca sarılı bir çift molekülden

oluşuyor. Bu iki uzun iplik sarmaşık gibi birbirine sarılarak bir çift sarmal oluşturuyor. Nükleotit birimler bir şeker, bir fosfat ve bir bazdan oluşuyorlar. Şeker ve fosfat DNA molekülünün omurgasını oluşturuyor, baz ise çifte sarmaldaki öbür DNA ipliği ile etkileşiyor. Genel olarak bir şekere bağlı baza nükleozit, bir şeker ve bir veya daha çok fosfata bağlı baza ise nükleotit deniyor. Birden çok nükleotidin birbirine bağlı haline polinükleotit deniyor.

DNA ipliğinin omurgası almaşıklı şeker ve fosfat artıklarından oluşuyor. DNA'da bulunan şeker 2-deoksiribozdur, bu bir pentozdur (beş karbonlu şekerdir). Bitişik iki şekerden birinin 3 numaralı karbonu ile öbürünün 5 numaralı karbon atomu arasındaki fosfat grubu, bir fosfodiester bağı oluşturarak şekerleri birbirine bağlar. Fosfodiester bağı asimetrik olması nedeniyle DNA ipliğinin bir yönü vardır. Çifte sarmalda bir iplikteki nükleotitlerin birbirine bağlanma yönü, öbür ipliktekilerin yönünün tersidir. DNA ipliklerinin bu düzenine antiparalel deniyor. DNA ipliklerin asimetrik olan uçları 5' (beş üssü) ve 3' (üç üssü) olarak adlandırılıyor, 5' uç bir fosfat grubu, 3' uç ise bir hidroksil grubu taşıyor. DNA ve RNA arasındaki başlıca farklardan biri, içerdikleri şekerdir, RNA'da 2-deoksiriboz yerine başka bir pentoz şeker olan riboz bulunuyor.

Çift sarmalı iki ipliğe bağlı bazlar arasındaki hidrojen bağları DNA'yı stabilize eder. DNA'a bulunan dört baz, adenin (A olarak kısaltılır), sitozin (C), guanin (G) ve timin (T) olarak adlandırılıyor. Bu dört baz şeker-fosfata bağlanarak bir nükleotit oluşturur, örneğin „adenozin monofosfat“ bir nükleotittir.

Bazlar iki tip olarak sınıflandırılırlar: adenin ve guanin, pürin türevleridir, bunlar beş ve altı üyeli halkaların kaynaşmasından oluşmuş heterosiklik bileşiklerdir; sitozin ve timin isepirimidin türevleridir, bunlar altı üyeli bir halkadan oluşuyor. Bir diğer baz olan urasil (U), sitozinin yıkımı sonucu seyrek olarak DNA'da bulunabilir. Kimyasal olarak DNA'ya benzeyen RNA'da timin yerine urasil bulunuyor (Vikipedia'dan)

RNA

Ribonükleik asit veya **RNA** bir nükleik asittir, nükleotitlerden oluşan bir polimerdir. Her nükleotit bir azotlu baz, bir riboz şeker ve bir fosfattan oluşuyor. RNA pekçok önemli biyolojik rol oynuyor, bunların arasında DNA'da taşınan genetik bilginin proteine çevirisi (translasyon) ile ilişkili çeşitli süreçlerde de yer alıyor. RNA tiplerinden olan mesajcı RNA, DNA'daki bilgiyi protein sentez yeri olan ribozomlara taşıyor, ribozomal RNA ribozomun en önemli kısımlarını oluşturuyor, taşıyıcı RNA ise protein sentezinde kullanılmak üzere kullanılacak aminoasitlerin taşınmasında gereklidir. Ayrıca çeşitli RNA tipleri genlerin ne derece aktif olduğunu düzenlemeye yarıyor.

RNA, DNA'ya çok benzer olmakla beraber bazı yapısal ayrıntılarında farklılık gösterir. Hücre içinde RNA genelde tek zincirli, DNA ise genelde çift zincirlidir. RNA nükleotitleri riboz içeriyorlar, DNA 'da ise deoksiriboz (bir oksijen atomu eksik olan bir riboz türü) bulunuyor. DNA'da bulunan timin baz'ı yerine RNA'da urasil vardır ve genelde RNA'daki bazlar ayrıca kimyasal değişime (modifikasyona) uğrarlar. RNA, RNA polimeraz enziminin DNA'yı okuması (transkripsiyonu) ile sentezlenir ve ardından başka enzimler tarafından işlenerek değişime uğruyor. Bu RNA işleyici enzimlerin bazıları kendi RNA'larını içeriyorlar. Daha fazla bilgi için bk.: <http://tr.wikipedia.org/wiki/DNA> ve <http://tr.wikipedia.org/wiki/RNA>

MUTASYON

Değişim ya da **mutasyon**, bir canlının genomu içindeki DNA ya da RNA diziliminde ortaya çıkan kalıcı değişimlerdir. Mutasyona sahip bir organizma ise mutant olarak adlandırılıyor.

Mutasyonlar, genel olarak germ hattı mutasyonları ve somatik mutasyonlar olmak üzere ikiye ayrılıyor. Doku hücreleri içinde gerçekleşen bir mutasyon, kalıtsal olamayacağı için kuşaktan kuşağa aktarılmıyor. Bedensel (somatik) mutasyonlar bu anlamda kalıtsal değildir. Eşey (üreme) hücresi mutasyonları, diğer ismiyle germ hattı mutasyonları ise kalıtsaldır ve bir sonraki kuşaklara aktarılır.

Bireyin, kalıtsal özelliklerinin ortaya çıkmasını sağlayan genetik şifre, herhangi bir nedenden dolayı (DNA onarımı, mayoz bölünme veya DNA replikasyonu sırasında meydana gelen hatalar, transpozonlar, virüsler, X ışını, alfa, beta gama radyasyonları, yüksek frekanslı (enerjili) elektromanyetik dalgalar, morötesi (ultraviyole) ışınlar, bazı ilaç ve mutajen kimyasallar, ani sıcaklık değişimleri vb. etkenlerle) bozulabilir. Bunun yanında hipermutasyon gibi hücresel süreçlerde organizmanın kendisi tarafından da tetiklenebilir. Bu durumda DNA'nın sentezlediği protein veya enzim bozuluyor. Böylece canlının, proteinden dolayı yapısı, enzimlerinden dolayı metabolizması değişebilir. Mutasyon ters evrimin temelini oluşturuyor.

Mutasyonlar, kalıtsal materyalin normal kombinasyonunu değiştirmeyen, kalıtsal yapıda meydana gelen bütün değişikliklerdir. Mutasyon terimi genel olarak:

- Kromozom yapısının değişmesini,
- Kromozom sayısının değişmesini,
- Genlerdeki değişiklikleri kapsıyor.

Bu anlamda mutasyonlar, sitogenetikte, değişimlerin kapsamlarına göre, Genom mutasyonu, Kromozom mutasyonu ve Gen mutasyonu olarak adlandırılıp üçe ayrılıyorlar. Genom mutasyonları kromozom sayısındaki değişmeler olup kromozom mutasyonları ise ışık mikroskobu altında incelenebilen ve kromozomun iç yapısında oluşan değişimlerdir. Gen mutasyonları ise ışık mikroskobu altında görünmeyen ve tek bir geni kapsayan mutasyonlardır.

Mutasyonlar, dizilimlerde farklı türde değişimlere yol açabilirler; Bu anlamda bir mutasyon, canlı organizmanın fenotipik özelliklerinde **negatif** veya **pozitif** etkilere sahip olabileceği gibi **nötr** mutasyonlar hiçbir etkiye sahip olmayabilirler (durağan veya sessiz mutasyonlar). Bu tür değişimler, bir gen ürününün değişmesinde veya genin doğru ya da tamamen işlemini engellemede herhangi bir etkileri olmayabilir. *Drosophila melanogaster* sineği üzerinde yapılan çalışmalar, gen tarafından oluşturulan bir proteinin mutasyonunda, bu mutasyonun yaklaşık % 70'inin zararlı etkilere sahip olduğunu, geri kalanının ise ya nötr ya da zayıf faydalı etki gösterdiğini ortaya koymaktadır. Mutasyonların genler üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle, organizmalar mutasyonları gidermek için DNA onarımı gibi mekanizmalara sahiptir.

Genetik materyal olarak RNA kullanan virüsler, sürekli ve hızlı bir şekilde çoğalıp geliştikleri için onlara avantaj sağlayan hızlı mutasyon oranlarına sahiptir ve bu şekilde insan bağışıklık sistemi gibi savunma mekanizmalarını atlatabilir ve reaksiyonlardan kaçabilirler. Bk.: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Mutasyon>

Ek 16: Atomaltı parçacıklar ve Isıl Enerji Temel Kavramları

Hans Grassmann'ın 'Alles Quark' kitabından/'Temel Paçacıklar' ve 'Fiziğin Kraliçesi : Termodinamik' (Isı Enerjisi) bölümlerinden bazı alıntılar (Elinizdeki kitaptaki bazı fizik kavramların, konuya yabancı olanlar ve fiziğe yeni başlayan gençler için, daha iyi anlaşılabilmesi için bu alıntılar kitaba eklenmiştir-Türkçesi: 'Fizik ve Ötesi', Evrim Yayınları, 2002, Çeviriyen yenileyen: Y. Atakan)

Ek 16a: Atomların Yapı Taşları ve Atomaltı Temel Parçacıklar

Elektronlar, Protonlar, Nötronlar

Atom, minicik bir çekirdek ve onun epey uzak çevresinde dolanan elektronlar kılıfından meydana gelir. Çekirdek ise, protonlardan ve nötronlardan oluşur.

Çoğu parçacığın "elektiriksel yük" denilen bir özelliği vardır. Elektiriksel yükün artı (pozitif) ve eksi (negatif) olarak adlandırılan iki değişik çeşidi vardır. ("Yeşil" ya da "kırmızı" da desek bir şey farketmezdi). Artı ve eksi yükler, birbirlerini sanki aralarında bir yay gerilmiş gibi çekerler. Aynı cinsten yükler ise birbirlerini iterler. Uzaktan bakıldığında bir artı ve bir eksi yük birbirlerini etkisiz kılarlar (ya da yokederler).

Proton artı, elektron ise eksi yüklüdür. Bir atomda proton sayısı kadar elektron sayısı olmalıdır. Çünkü (uzaktan bakıldığında) atom, elektrik olarak yüksüz ya da nötrdür. Nötronların elektiriksel yükleri yoktur, zaten adları da nötr olmalarından kaynaklanır. Nötronlar, artı yüklü protonları çekirdekte birarada tutmaya yararlar. Protonlarla nötronlar arasında, ancak kısa uzaklıkta etkin olan, çok güçlü bir çekim kuvveti vardır.

Bir atomun ne kadar protonu ve elektronu olduğu, atomun kimliğini belirler. Bir hidrojen atomunun, bir protonu ve bir elektronu vardır. Bir helyum atomunun ise iki protonu ve iki elektronu vardır ve bu böyle sürer gider: Bir atoma her seferinde bir proton ve elektron eklediğimde yeni bir atom çeşidi elde etmiş olurum. Böylece elementlerin periyodik cetvelinde gösterildiği gibi, atomların sıralaması ortaya çıkar. Bu da genellikle kimya sınıflarında duvara asılıdır.

Yine de atomları istediğimiz kadar çoğaltamayız, sadece 100 kadar farklı atom çeşidi vardır. 100 protondan daha fazlası nötronlarla bir arada tutunamaz. Çünkü protonla nötron arasındaki bağlayıcı kuvvet, artı yüklü protonlar arasındaki uzun mesafedeki itici kuvvetle karşılaştırıldığında, ancak kısa bir uzaklıkta etkili olurlar.

Uzaktan gözlemlendiğinde atomlar elektriksel olarak nötr olmalarına rağmen, yakından bakıldıklarında artı ve eksi yüklerin farklı yerlerde buldukları görülür. Bu yüzden atomlar, elektriksel çekimle bir araya toplanabilirler, “kimyasal bir bağ”, molekül oluşturabilirler ve tekrar daha büyük yapılara dönüşebilirler, sonunda da bir tavşan olup zıplayarak giderler.

Önceden de söylediğimiz gibi tüm dünya bu 100 çeşit atomla oluşmuştur. ve bu atom çeşitlerinin her biri de üç farklı parçacıktan, yani proton, elektron ve nötronlardan oluşur. Tüm dünya, yani gerçekten her şey, sadece bu üç parçacıktan oluşmuştur!

Elektronlar ve Kuarklar

Elektronları parçalamayı, daha küçük bileşenlere ayırmayı şimdiye kadar kimse başaramadı. Buna karşılık, proton ve nötronların içinde bir şeyler vardı. Bunlar, Kuark adı verilen parçacıklardı. İki değişik kuark çeşidi bulundu. Biri u-kuark, diğeri de d-kuark'tı. Birbirleri arasındaki fark, elektriksel yüklerinde ve kütlelerindedir. Proton iki u-ve bir d-kuarkından oluşur. Nötron ise bir u-ve iki d-kuarkından.

Aslında bir fizikçi, ilk bakışta alışılmadık şekilde elementer gözükse de bu üç parçacıktan son derece mutlu olmalıydı. Bugüne kadar hiç kimse, ne bu parçacıklardan birini daha küçük bileşenlerine ayırmayı başarabildi, ne de bu parçacıklar için herhangi bir maddesel büyümenin olduğunu kanıtlayabildi.

Ama ne yazık ki kuarklara tam tamına değişmez diyemiyoruz ve Demokrit'in anladığı anlamda elementer de değildirler. Örneğin bir u-kuarkı bir elektronla ve adına nötrino denilen başka bir parçacığın yardımıyla bir d-kuarkına dönüşebilir, ya da bunun tersi de olabilir. Bu gibi oluşumlar hatta çok önemlidir, örneğin güneşin ışıldaması böylelikle olur.

Her seferinde bir u-kuarkı d-kuarkına dönüştüğünde, bir elektron da bir nötrinoya dönüşmüş olur. Bu nedenle, u-ve d-kuarkların herikisine de ‘kuark’ denildiği gibi elektron ve nötrinolar da ortak bir ad verilir: lepton. “Nötrino”nun kısaltılmışı ise “ ν ”dür.

Bizim gördüğümüz şekliyle tanıdığımız evrenimiz için bu kadarı yeterli. Kuarklarla (u, d) ve leptonlarla (e, ν) tüm evrendeki her şeyi oluşturabiliriz.

Ama, elementer olan ya da bildiğimiz kadarıyla daha küçük parçacıklardan oluşmayan, daha başka parçacıklar da vardır. Bu pek tekin olmayan “başka parçacıklar”, evrenimizi oluşturan parçacıkların birer kopyasıdır. u-kuarkların, d-kuarkların ve elektronların iki kopyaları vardır. Orijinalleriyle kopyaları arasındaki tek fark bunların kütleleridir. Kopyalar daha ağırdır. Nötrininonun da iki kopyası vardır, ama nötrinoların kütleleriyle ilgili çok az şey bilinir.

Bazen, bu konuda, parçacıkların üç değişik “aile”den geldikleri söylenir. Sadece ilk ailenin parçacıkları, evrenin temel yapı taşlarını oluşturur.

Elektronun iki kardeşi “Muon” (μ) ve “Tau” (τ)dur. ve aynı şekilde elektronun nötrinosu (ν_e), Muon-nötrinosu (ν_μ), ve Tau-nötrino (ν_τ) dur. u-Kuark’ının kardeşleri c-ve t-kuarkları; d-kuarkıninkiler: s-ve b-kuarklarıdır.

Bu parçacıkları sık sık aşağıdaki tablodaki gibi dizilmiş görürsün:

| Léptonlar: | 1 | 2 | 3 |
|------------|--|--|--|
| | $\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$ |
| Kuarklar: | $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$ | $\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$ |

Böyle bir “en elementer” parçacıklar cetveli elementlerin periyodik cetvelinden daha basittir. Ama yine de daha kapsamlıdır. Çünkü periyodik cetvel, “dünyamızda ne çeşit maddeler ortaya çıkar?” sorusuyla uğraşır. Parçacıklar tablomuz ise daha kapsamlı olan şu soruya yanıt arar:

Temelde neler ortaya çıkabilir (ya da oluşabilir), gerçekte neler var olabilir?

Her ne kadar bu soruyla ilgili olmasına, buna yanıt aramayı amaçlasa da, ne yazık ki bu tabomuz bunlara bir yanıt veremez. Bu parçacıkların neden var olduklarını ve neden tam tamına bu özelliklerde bulduklarını bilmiyoruz. Ben bile bu parçacıkların nasıl oluştuklarını, (ortaya çıktıklarını) anlayabilmek için onbeş yıl ‘parçacık fiziği bölümünde’ araştırmalar yaptım. Ama bunun yanıtını hâlâ bilmiyorum. Hiç kimse de bilmiyor. ‘Öylece, oldukları gibi var’ bu parçacıklar işte!

Yukardaki parçacıklar konusunda daha çok şey söylenebilir. Bunların nasıl üretildikleri ve kanıtlandıkları gibi. İlk bakışta bu parçacıkların tam

karşıtı gibi gözükken basit karşıtparçacıkların özellikleri nedir? Parçacıkların ve karşıtparçacıkların birbirlerine tam zıt davranışlarının dışında, az değişimlere uğramaları için bunların üç farklı şeklinin (versiyonunun) olması gerekliliği... Bugün karşıt parçacıkların, parçacıkların tam tamına karşıtı olmadıklarını, sadece biraz farklı olduklarını biliyoruz. Bu ise evrenimiz için önemlidir, çünkü parçacıklar karşıt parçacıklarla beraber, evrenin başlangıcında oluşmuşlardır; ama eğer parçacıklar ve karşıt parçacıklar tam tamına birbirlerinin zıttı olsalardı, bugün parçacıklarla karşıtparçacıkların sayısının birbirlerine eşit olması gerekirdi, ama bu hiç de öyle gözüküyor.

Ama ne yazık ki ayrıntılara girdiğimde bile her şey daha iyi anlatılabilmiş ve anlaşılabilmiş olmayacak. Bunun yerine şunu yineleyeyim:

“Bu parçacıklar işte böyle. Bunları kuşkusuz iyice araştırdık, gözlemledik ama bunlar başka türlü de olabilirlerdi. Neden tam böyle olduklarını ise bilmiyoruz.”. Ama bu kitap, anlaşılabilir bir şekilde fiziği betimlemeliydi değil mi? Parçacıklarda ise anlaşılabilir hiçbir şey yok. Bu nedenle parçacıklar konusunu kısa kesiyorum.

Yalnız bir şey daha ekleyeyim: Bazıları, bugün parçacıklarla ilgili sorunlarımızı, fiziğin görevinin hiçbir şekilde parçacıkların neden ve nasıl oluştuklarını betimlemek değil sadece bunların tanıtılması olduğu savını ileri sürerek sorunlarımızı saklıyorlar. Bu yanlıştır. Fizik betimler, fizik açıklayıcı bir bilim dalıdır. Daha sonraki bölümlerde anlatacağımız termodinamik, bunun en etkileyici kanıtıdır. Parçacıklar konusunda çok az şey biliyorsak, bunun nedeni fizik değil, biziz.

Kuvvetler

Her ne kadar bugün bu parçacıkların nereden geldiğini ve niçin oluştuklarını bilmiyorsak da, var olan tüm parçacıkları kapsayan yukardaki listemiz temelde çok basittir. Bu da bir başarıdır çünkü bu parçacıkların ardında temel, basit, düzenleyici bir ilkenin bulunduğu bir kanıttır. Bu ilkenin ne olduğunu henüz bilmesek de, bunu bir gün öğreneceğimizi umuyoruz.

Parçacıkların listesi gibi, parçacıklar arasındaki etkin kuvvetler de çok basittir. Doğada toplam dört kuvvet vardır. Elektriksel kuvvet, zayıf kuvvet, yeğin (kuvvetli) kuvvet ve kütleçekim (gravitasyon) kuvveti. Belki başka kuvvetler de vardır ve bunları bulabiliriz diye zaman zaman epey çalışma yapanlar oldu ama şimdye kadar hiç kimse beşinci bir kuvvetin varlığını kanıtlayamadı.

Elektriksel yükler arasında etkin olan elektriksel kuvveti hepimiz biliriz. Günlük yaşamda yüklü maddelere ender rastladığımızdan, elektriksel kuvvetin pek etkinliği yok gibidir. Aslında atomlarla moleküller arasındaki etkin kuv-

vet, elektriksel kuvvettir (çoğunlukla “elektriksel kuvvet” yerine daha incelikli olarak “elektromagnetik kuvvet” denir ama, magnetizma, elektriksel kuvvetinin sadece bir yan oluşumudur, ki biz bunu daha sonra ele alacağız.)

Sonra bir de kütleçekim kuvveti ⁽¹¹⁾ var: bu kuvvet, kütlesi olan tüm maddeler arasında etkin olur. Dünyanın bir arada kalmasını ve bizim yeryüzünden tepetaklak düşmememizi sağlar. Bu, günlük yaşamda gözümüze çarpan, bildiğimiz tek kuvvettir. Elektriksel kuvvetten farklı olarak, iki farklı çeşitteki kütle yerine burada sadece bir tek kütle vardır. Bu yüzden kütleçekim kuvvetleri hep toplanırlar, hiçbirbirlerini yok etmezler. Bu nedenle, günlük yaşamımızda elektriksel kuvvetten daha çok yerçekimi kuvvetinin etkisini duyumsarız. Halbuki bir elektronun ya da protonun elektriksel kuvveti, bunların kütleçekim kuvvetlerinden çok çok daha güçlüdür.

Yeğîn ve zayıf kuvvetleri günlük yaşantımızda duyumsamayız. Bu kuvvetlerin etki alanları çok dardır. Ama bunlar kütleçekim kuvveti ve elektriksel kuvvet kadar önemlidirler. Örneğîn güneşte atom çekirdekleri, zayıf kuvvetin etkisiyle durmadan dönüşüme uğrarlar. Bu dönüşüm sırasında çok büyük enerji açığa çıkar, bunun da kaynağı kuvvetli kuvvettir. Zayıf ve kuvvetli kuvvetler olmasaydı güneş ışık saçamıyacağından, biz de olmazdık. Zayıf kuvvet elektronları etkilediği gibi, kuarkları da etkiler. Yeğîn kuvvet ise sadece kuarklar arasında etkili olur. Bu nedenle yeğîn etkileşme sadece atom çekirdeklerinde, daha doğrusu yalnızca protonların ve nötronların içinde olur. Yeğîn kuvvetin, çekirdek parçacığının kuarkları arasındaki küçük bir bölümü, çekirdek parçacığından dışarı fırlayarak komşu çekirdek parçacığının kuarklarını etkileyebilir. İşte bu, protonlarla nötronları bir arada tutan çekirdek kuvvetidir.

Fotonlar, Gluonlar, W'lar, Z'ler, Belki de Gravitonlar?

Bu kuvvetlerin herbiri için “Alan parçacıkları” vardır. Alan parçacığı, maddesel nesnelereki gibidir. “Parçacık” dediğimiz madde parçacığı, en küçük elementer birimlerden oluşur. Kuvvetler, ‘alanlarla’ iletilir, bunları ayrı bir bölümde inceleyeceğiz. Bu alanların da, tam incelendiklerinde elementer birimlerden oluştuğu görülür. Yani “alan parçacıklarından”.

Elektriksel kuvvet için foton, kuvvetli (yeğîn) kuvvet için gluonlar, zayıf kuvvet için W ve Z parçacıkları ve gravitasyonel kuvvet (kütleçekimi) için de bir olasılıkla gravitonlar vardır. Bir olasılıkla diyoruz, çünkü şimdiye kadar gravitonlar kanıtlanabilmiş değillerdir.

Elektronlar, protonlar ve nötronlar, (daha doğru bir deyişle elektron, u-kuark ve d-kuark) bir cismin kimliğini belirleyen parçacıklardır. Bu ya da şu cins ato-

¹¹ yeryüzünde: yerçekimi kuvveti ya da gravitasyonel kuvvet/YA/

mun, bu ya da şu sayıda elektronu, protonu ve nötronu, yani u-ve d-kuarkları vardır. Buna karşılık, alan parçacıkları, bir cismin kimliğiyle doğrudan doğruya ilişkili değildirler. Alan parçacıklarının bazen kısa bir süre var olduklarını gözdardı edersek, bunlar yine de tümüyle doğru ve gerçeklerdir. Kütleleri, yükleri ve başka özellikleri belirlenebilir. Aynı maddesel parçacıklar gibi.

Standart Atom Modeli

Bu dört kuvvetten üçü, ortak tek bir model ile, yani standart modelle betimlenebilir. Sadece kütleçekimi (gravitasyon) standart modelin bir parçası değildir. Standart modelin bağıntılarıyla, tüm parçacıklar arasındaki tüm etkileşimler betimlenebilir. Bir bölümü, akla gelmeyecek kadar yüksek bir duyarlılıkla. Gluonlar işin içine girdiği her durumda, kestirimlerin duyarlılığı o kadar iyi olmasa da hatanın (belirsizliğin) büyüklüğü kabaca kestirilebilir ve mekanizma içinde hatanın nereden kaynaklandığı anlaşılabilir. Gravitasyonu gözardı edersek, standart model, parçacıklar arasındaki tüm ilişkileri tam olarak betimler.

Betimler, betimler, betimler. Hep bu söz! Açıkladığı ise hiçbir şey yok! Halbuki bu kitap açıklamalıydı. Fiziği açıklamalıydı. Ama parçacıklarla ilgili hiçbir şeyi açıklayabilmiş değiliz.! Neden iki kopya var? Neden bunların herbiri bazen bu kadar, bazen de şu kadar ağırlıktalar? Neden dört kuvvet var da, iki ya da yüz değil ve bu kuvvetler neden böyle, oldukları gibi?

Bunları hiç değise bilmen ve konuşulanlara katılabilmen için burada kısaca yazdım, ama bunlardan anlaşılacak gerçekten bir şey yok. Ama günün birinde bunları anlayacağımız umudunu taşıyorum. Buna kesinlikle inanıyorum; nedenini de kitabın en son bölümde anlatacağım.

Ama korkarım ki biz anlayana kadar oldukça uzun bir zaman geçecek. Bence, bunun için temelden yepyeni, kimsenin aklına gelmemiş bir düşünceye gerek var. Böyle bir düşünce ancak, birkaç yıl hiç rahatsız edilmeden bu konuda düşünecek tek bir insandan, bir dahiden gelebilir. İkinci bir Einstein'dan.

Ama bu dahi nereden gelecek ? Einstein bile bir kez, genç bir fizikçi için en iyisinin, bir deniz feneri bekçisi olarak çalışması olduğunu söylemişti. Çünkü, ancak orada insan rahatsız edilmeden, sessiz bir ortamda kendi düşüncelerini geliştirebilir. Aslında, Einstein daha sonraki çalışmalarının temellerini, bir bilimci olarak işsiz kaldığı yıllarda oluşturmuştu. Newton, temel oluşturan çalışmasını, üniversitesi uzun süre veba salgını nedeniyle kapatıldığında evde otururken yapmıştı. Bugün hemen hemen hiç veba salgını kalmadı ve deniz fenerleri de otomatik olarak işliyorlar artık. Günümüzde, çoğu genç araştırmacı haftalarca, kendi araştırmalarını yapmaktan hoşlanmayan

şeflerine hizmet etme zorluğunda olduklarından, başlarına buyruk pek bir araştırma yapamazlar. Bu çarktan kurtulmaları ise çok zordur, aksi takdirde kısa dönemli iş sözleşmelerini uzattıramazlar. Ben, öğrencilerime her zaman kendi düşüncelerini geliştirme olanağını tanıdım. Onlar da sadece bir ayrıcalıkla bu olanaktan seve seve yararlandılar ve başarılı da oldular. Ama onların bilimsel başarıları kimsenin ilgisini çekmedi. Ancak yeni düşünceler üretmeyi bırakıp, başkalarının dümen suyunda giderek onları memnun edecek çalışmalar yapmak ve toplantılar düzenlemek gibi daha basit işlerle uğraşmalarından sonra kariyer yapabildiler.

Bu nedenle bugün ikinci bir Einstein'ın ortaya çıkıp çıkamayacağını bilemiyorum. Günümüzdeki araştırmaların organize edilme şekli ve toplumu-muzun "adam sendeciliği", ikinci bir Einstein'ın ortaya çıkmasına büyük bir olasılıkla izin vermiyor. Artık, böylesi önemli sorular üzerine sanki toplumda kimse düşünmüyor, böyle şeyler sanki kimsenin ilgisini çekmiyor, ve işte özellikle bu nedenle ben, daha çok kaygılanıyorum.

Bugünkü kültürümüz çerçevesinde, parçacıklar bulmacasının çözümü pek olası değil gibi gözüküyor. Bir sonraki büyük atılım belki yüz yıl belki de bin yıl sonra, belki de dünyanın başka bir yerinde, farklı, yeni bir kültüre sahip olan insanlarca yapılabilecektir. Çok can sıkıcı ama, ümitsizliğe kapılmaya gerek yok, çünkü fizikteki birçok şeyi iyice anlayabiliyoruz. Bu nedenle tekrar fiziğe dönelim ve bu saçma sapan parçacıkları sırlarıyla daha epey başbaşa bırakalım.

Prof.Dr. Ömür Akyüz'ün Bu Konuyla İlgili Bir Notu:

Elektronlar ile çekirdeklerin içindeki protonlar ve nötronlar, vücudumuzdaki ve çevremizdeki her çeşit maddenin yapısını oluşturan atom ve moleküllerin yapı taşlarıdır. Bunlardan elektronlar bilindiği kadarıyla temel parçacık diyebileceğimiz ve iç yapısına ilişkin hiçbir işaret olmayan temel parçacıklardandır. Diğer temel parçacıklar ise nötronların ve protonların üçer tane içerdiği kuarklardır. Mezonlar ise ikişer tane kuark içerir. Bunları bir arada tutan kuvvetleri sağlayan parçacıklar ise, fotonlar, tutçular (gluon), W ve Z parçacıklarıdır.

Ek 16b : Fiziğin kraliçesi: ‘Termodinamik’: Isı, Sıcaklık ve Entropi Nedir?

Üç Yasa

Termodinamik, bazen ‘ana cümleler’ olarak da adlandırılan üç yasaya dayanır. Ama termodinamikte zaten yan cümlecikler olmadığından, ‘yasa’ tanımlamasını seçeceğim. Numaraları var ama ben bunları sırasıyla anlatmaya cağım. Böylesi daha kolay olacak.



Planck ve Einstein

1.Yasa

‘Enerji korunur.’

Kitabın başlangıç bölümünü okuduysan bunu zaten biliyorsun. Bu yasa, bugün evrenin dışı kapalı olduğunu, kimsenin evrene enerji vermediği gibi evrenden de enerji almadığını söylüyor.

3. Yasa

‘Sıcaklığın mutlak bir sıfır noktası vardır (-273° Celsius), bu sıfır noktasına çok yaklaşılabiliyor, ama ulaşamaz.’

Bunun, neden böyle olduğu açıklandığında, bu yasa ilginç hâle gelecektir. Dünyamız atomlardan oluşmuştur demiştik.¹² Bir madde ısındığında ne olur? Atomlar da ısınır mı? Bu, kolay kolay düşünülemez! Çünkü bir atom, bir maddeden yapılmış küçük bir küre değildir, daha çok bir elektromanyetik dalga gibidir. Nasıl ısınır ki? Böyle bir dalgada ne ısınabilir ki?

¹² Atomların da küçük parçacıklardan oluştuğu, çok aşırı sıcaklıklarda ya da çok aşırı enerjilerde görülür/ Örneğin güneşte. Bu bölüm için bu konu üzerine eğilmemize gerek yok. Ama çok istenirse, termodinamik, kuşkusuz ki kuarklarla da işlenebilir.

Sıcaklığı sıfır noktasına yakın olan bir madde, ısınmaya başladığında ne olur? Sıfır noktasına çok yakın sıcaklıkta, atomlar hareketsiz dururlar, hareket etmezler. Sıcaklık artınca, atomlar kımıldamaya başlarlar. Katı bir maddede, yerlerinden uzaklaşmadan şiddetle titreşirler; bir gazda yüksek hızla birbirlerinin aralarına girerler, karmakarışık olurlar. ve maddeye ne kadar daha çok ısı enerjisi verilirse, atomlar da o kadar çok hızla hareket ederler.

Öyleyse, bir maddenin ısı enerjisi, atomlarının hareket enerjisinden başka bir şey değildir. Fizikçiler, bunu hesaplamak ve doğruluğunu kanıtlamak için çok uğraştılar: **Bir maddeye belirli bir miktar ısı enerjisi veriyorum. Sonra atomların hareket enerjisinde ortaya çıkan artışı ölçüyorum. ve şu sonuca varıyorum: Hareket enerjisindeki artış, daima maddeye aktarılan ısı enerjisine eşittir.**

Demek ki tek bir atomun bir ısı enerjisi yok, sadece hareketi var. Böylece “ısı enerjisi” bağımsız bir fiziksel değişken olmaktan çıkmış oldu. Fiziksel değişkenler ne kadar az olursa, o kadar daha iyi, sence de öyle değil mi? Isı enerjisi, hareket enerjisinden, yani atomların hareket enerjisinden başka bir şey değildir.

Kafamızda daha iyi canlandırabilmemiz için hemen bir örnek daha: Su ısıtılmak için elektrikli ocağı yaktığımızda, elektronlar ocağın iç yüzeyindeki metal plakada akarlar ve plakanın atomlarına çarparak onları gitgide daha çok titreştirirler. Bu titreşim hareketi ocaktaki metal plaka üstünde duran tencereye aktarılır. Şimdi tencerenin atomları da gitgide daha telaşlı hareket ederler. Atomlar kendi yerlerinde kalmalarına rağmen (tencere erimediği sürece), çılıncın çevrelerine saldırırlar. Böylece su atomları daha şiddetle titreşmeye başlarlar. Suya bir yumurta koyarsam, yumurtadaki büyük protein molekülleriyle çarpışmalar sonucu, çiğ yumurta, kahvaltıda yenen yumurtaya dönüşmüş olur.

Bu nedenle de sıcaklığın bir dip noktası (erişebileceği en düşük değer) vardır: Hiç hareketsizlikten daha az hareketlilik düşünülemez. Termometredeki ölçekte ne yazılacağı ya da yazıldığı hiç önemli değildir. Genellikle “Celcius” ölçeği kullanılır. Bu ölçek, suyun donduğu sıcaklığı, sıfır noktası ve kaynadığı sıcaklığı da 100 derece olarak alır. Fizikte, Celcius ölçeği yerine sık sık “Kelvin” ölçeği kullanılır. Kelvin ölçeğinde de aynı Celcius ölçeğindeki bölümlenme vardır, yani aynı şekilde donan ve kaynayan su arasındaki sıcaklık farkı 100 derecedir. Ama Kelvin ölçeğinde sıfır noktası, sıcaklığın dip noktasına konur (-273 derece Celcius), bu Kelvin ölçeğinin 0 derecesidir.

Bu, bir atomun belirli bir sıcaklıkta ne kadar enerjiye sahip olduğu sorusunu akla getirir. Yanıt, yine daha kolay olmayacak kadar basittir:

$$\frac{1}{2} k T$$

k , bir dönüşüm katsayısıdır, "Boltzmann katsayısı" adını almıştır. T , sıcaklıktır. Daha doğru bir söyleyişle $\frac{1}{2} k T$, "serbestlik derecesi başına enerji"dir. Daha açık söylesek, her yöne hareket edebilen bir atomun bir yöndeki enerji miktarı $\frac{1}{2} k T$ 'dir. Bir atom üç boyutta hareket edebiliyorsa, onun toplam enerjisi $3 \cdot \frac{1}{2} k T$ olur.

Şimdi daha da basiti geliyor: Sadece bir atom değil, her bir şeyin, serbestlik derecesi başına, enerjisi $\frac{1}{2} k T$ 'dir. Ağır maddeler için $\frac{1}{2} k T$ farkedilemeyecek kadar azdır, bunlar pek hareket edemezler. Ama bir atom için $\frac{1}{2} k T$ bayağı çok bir miktardır. Bir gaz atomu, bu enerjiyle bir jet uçağı hızına erişir; katı bir maddedeki atomlar hep çok şiddetli bir sarsıntı, titreşim hareketi içindedirler.

İkinci Yasa

"Kapalı bir sistemin entropisi artar ya da aynı kalır."

İkinci yasa çoğunlukla böyle yazılır. Kılı kırk yarmak istenildiğinde şöyle bir ekleme yapılmalıdır: "İkinci yasa, istatistiksel (sayısal) bir anlamda geçerlidir." Benim ikinci yasayı kişisel olarak, tanımlamam ise şöyle: "Her bir şey, kendi olasılığına göre oluşur, kimse hile yapamaz."

Bunların hepsi, ancak betimlendiğinde bir anlam kazanır; yukardakileri okuduğunda pek bir şey anlaşılmayacağı açık.

Öncelikle, kapalı bir sistem nedir? Bu çok kolay: Kapalı olan bir sistemdir. Hiçbir şey ne içeri girebilir, ne de dışarı çıkabilir, ne enerji ne de madde. En azından düşüncede çok basit. Örneğin bir soğutma çantası (kutusu) kapalı bir sistem olarak düşünülebilir. Kuşkusuz en iyi bir soğutma çantasında bile, limonata birkaç saat sonra ılınır, öyleyse yine de birazcık ısı enerjisi içeri sızmıştır. Ama en azından kısa bir süre için, soğutma çantası kapalı bir sistem olarak gözönüne alınabilir. Gerçekten kapalı olan tek sistem belki de evrendir. Ama bu da pek kesin değil.

Fizik laboratuvarında "hemen hemen kusursuz kapalı sistemler" kurulabilir ve birazcık kusur da hesap yoluyla gözönüne alınır ve düzeltilir. Ama aslında kapalı sistem tasarımı daha çok bir düşünme aracıdır. Kapalı bir sistem tasarlandığında, düşünceler daha kolay düzene girer. İlk ve üçüncü yasalar, aslında termodinamiğin sadece sınır koşullarıdır, temeli oluştururlar, termodinamiğin çıkış (start) rampasıdır. Termodinamiği yükselten ise

ikinci yasadır. Üç basamakta anlatmak istediğimiz de ikinci yasadır. Demek ki entropi kapalı bir sistemde hep artar, pekiyi ama entropi ne?

İlk Basamak: Isı Bilgisi

Entropinin İlk Tanımı

T sıcaklığındaki bir madde, ΔE enerji miktarını aldığı anda, S entropisi:

$$\Delta S = \Delta E / T$$

kadar artar (Madde, ΔE enerjisi verdiği anda ise, basitçe $-\Delta E$ yazılır.) Bununla hernekadar 'entropi değişimini' tanımlamış olsak da, başlangıç için bu kadarı yeter. Enerjide de hep 'değişiminden' söz etmiştik ve bununla epey de yol almıştık.¹³

Örnek: Bir soğutma çantası, yani bir termo çanta alıyoruz, bu bizim kapalı sistemimiz. İçine daha küçük iki tane soğutma çantası koyuyoruz. Her birinin içinde, fantezi eksikliğinden, bir parça demir var. Ama altın, su ya da alkol de koyabilirsin. Demirlere biri sıcak, diğeri soğuk.

Şimdi büyük soğutma çantasını kapatıyoruz, artık kapalı olduğundan ısı enerjisi de dâhil olmak üzere hiçbir şey içeri giremez ve dışarı çıkamaz. Çantanın içine küçük bir robot da yerleştirdik, şimdi el fenerini yakıyor ki, bir şeyler görebilsin ve içlerinde demir parçaları olan termo çantaları açıyor. Demir parçalarını çıkarıp yanyana koyuyor. Sıcak demir, ısısını yavaş yavaş soğuk demire vermeye başlıyor. Sıcak demir soğuyor, soğuk demir ısınıyor. Basit olsun diye sadece kısa bir zaman süresinde olanları ele alıyoruz. Çünkü kısa bir zaman süresinde çok az ısı enerjisi bir demirden diğerine akar, o kadar kısa zamanda bir demir parçasının sıcaklığı hemen hemen değişmediğinden hesaplama kolaylaşır.

Öyleyse ΔE kadar azıcık bir ısı miktarı, sıcak demirden soğuğa akar. Diyelim ki, sıcak demirin sıcaklığı 20 (birimleri yine bir kenara bırakalım), soğuk demirin sıcaklığı da 10 olsun. Sıcak demir $\Delta S = \Delta E / T = \Delta E / 20$ kadar entropi yitirir. Soğuk olan da $\Delta S = \Delta E / T = \Delta E / 10$ kadar entropi kazanır. $\Delta E / 20$, $\Delta E / 10$ 'dan daha küçüktür. $\Delta E / 20$ entropi azalımı, $\Delta E / 10$ entropi ka-

¹³ Başka bir şey olmadan, üçüncü yasanın yardımıyla, bir maddenin ne kadar entropisi olduğunu hesaplayabiliriz. Aynı şekilde, en sonunda şimdi bir maddenin toplam olarak ne kadar enerjisi olduğu hesaplanabilir. Maddenin enerjisi, 0 derece Kelvin'e karşılık gelen durağan kütle artışı enerjisidir.

zanimından daha azdır. Öyleyse kapalı sistemdeki toplam entropi artmıştır. İkinci yasayla anlatılmak istenen budur: **“Kapalı bir sistemdeki entropi ya aynı kalır ya da artar.”**

Örneğimizde, “Isı, hep sıcak demirden soğuğa akar, tersi olmaz.” demek daha kolaydı. Devamı da şöyle olurdu: Soğuk demir değil, sıcak demir soğuduğundan, işte tam bu nedenle, entropi artar.

İkinci yasanın daha genel tanımını, “Entropi kapalı sistemlerde hep artar” ise çok daha karmaşık durumları incelemeye izin verir. Örneğin, bir motorun çalışmasında olduğu gibi: genleşen sıcak bir gaz, silindir pistonunu harekete geçirir ve bu arada soğur, sonra da daha az sıcaklıkta tekrar sıkıştırılır ve tekrar ısınır ve bu böyle sürüp gider.

Genel olarak, evrende olan her şeye ikinci yasanın sonucu gözüyle bakılabilir, çünkü evrende olan her şey, toplam entropiyi arttıracak şekilde olur.

Mantıklı hiç kimse, sıcak maddenin soğumasından soğuk olanın ısınmasından kuşkulamaz, bu çok açık. ve fiziksel bir yasada bunu yazabilmek güzel bir şey: “2 . Yasa+ $\Delta S = \Delta E / T$ ”. Yine de, bu yasa nereden geliyor? Anlaşılabilir bir yasa mı?

İkinci Yasa: İstatistiksel Fizik

Entropinin İkinci Tanımı

Bir madde çeşitli durumlarda (toplam durum sayısı = W) bulunabiliyorsa, böylece entropisi

$$S = k \cdot \ln W$$

olur. “ln”, logaritma adındaki bir fonksiyondur, ama sadece adından dolayı korkma, aynı bir San Bernar köpeği gibi zararsızdır. Bu bağıntı sözcüklere döktüğünde: “Bir maddenin entropisi, olası hal sayısı, W 'nin, logaritmasıyla k adlı dönüşüm katsayısının çarpımına eşittir. (k yine Boltzmann katsayısıdır.)

Kişisel olarak, tüm fiziksel bağıntılar içerisinde en anlamlı bu bağıntıyı buluyorum, yine de günlük düşüncelerimizden oldukça uzaktadır. Bunu değiştirmek için elinden bir şey gelmez.

Sadece anlamından dolayı ya da o aptal logaritması yüzünden bu bağıntıyı defterine yazmana gerek yok. Unutursan da Viyana Merkez Mezarlığına gidip Boltzmann'ın mezar taşına bakman yeter. Mezartaşında “rahat uyusun”

yerine bu bağıntı yazılıdır. Boltzmann, kendini astıktan sonra Duino'dan buraya getirilmişti (Bu arada Boltzmann'ın mezarında $S = k \cdot \log W$ yazılıdır, bu teknik bir ayrıntı, “**log**” da bir logaritma fonksiyonudur, daha birçok logaritma fonksiyonu vardır, bugün **ln** kullanılıyor, eskiden log kullanılıyordu.). “Logaritma” gibi insanın midesini bulandıran bir adı olan fonksiyonlara karşı bir antipati duyuyorsan, bunları kafandan at gitsin. Hesap yapmak istemediğin sürece hiç sorun olmaz.

$\Delta S = \Delta E / T$ bağıntısıyla herhangi bir sıcaklıktaki bir demir parçasının entropisini oldukça kolay hesaplayabilirim. 0 derece kelvinle (-273 derece celcius) başlıyorum. Mantıklı bir şekilde entropinin de sıfır noktasını buraya koyuyorum, çünkü bir şey 0 derecede ise, artık ondan hiçbir enerji ve entropi alınamaz. Sonra demire birazcık ΔE enerjisi aktarıyorum, yani biraz $\Delta S = \Delta E / T$ entropisi aktarmış oluyorum (T neredeyse 0'dır, ama tam değil), ve ΔS değerini yazıyorum.

Sadece az enerji verebilirim, ΔE küçük olmalıdır ki sıcaklık hemen hemen değişmesin. Yoksa, bağıntımızda T için hangi değeri vermem gerektiğini bilmezdim. Kuşkusuz, sıcaklık çok azıcık artmış olmalıdır. Bu yeni, birazcık artmış sıcaklıkta tekrar birazcık ΔE enerjisi veriyorum, tekrar ΔS 'i hesaplıyorum ve bir yana yazıyorum. Sonunda istediğim sıcaklığa ulaştığımda, ΔS için yazılı tüm değerleri sayıyorum. İşte bu maddenin istenilen sıcaklıktaki S entropisidir. Kuşkusuz sıcaklık arttıkça, S de büyür.

Öyleyse, $\Delta S = \Delta E / T$ bağıntısıyla bir maddenin entropisini nasıl hesapladığımı anlaşıyor.

Ama $S = k \cdot \ln W$ bağıntısını nasıl kullanırım? W'yi nereden elde edeceğim bir durum nedir?

(Hans Grassmann'ın Alles Quark kitabından alıntılar burada sona eriyor./ Türkçesi Fizik ve Ötesi, Evrim Yayınları, 2002, Çeviri yenileme ve bilimsel uyarlama: Y.Atakan)



A

- Akkuyu NGS 168, 169, 171, 176,
186
Akkuyu sözleşmesi 188
aktivite 3, 302, 318, 323, 324, 325,
326, 330, 331
alfa 3, 10, 11, 12, 13, 17, 21, 30,
62, 63, 64, 71, 74, 75, 81,
82, 85, 89, 70, 88, 87, 88,
89, 109, 120, 152, 210, 212,
254, 301, 307, 312, 313,
323, 324, 325, 326, 327,
328, 334, 335, 361
atomaltı parçacıklar vii, 201, 363

B

- baz istasyonları ix, 7, 222, 230,
231, 233, 236, 238, 239,
240, 241, 243, 246, 247,
248, 249, 251, 252, 253,
254, 255, 271, 272, 296
Becquerel 12, 63, 72, 82, 83, 104,
117, 121, 142, 143, 149,
293, 302
besinlerdeki radyoaktivite 161,
332
beta 3, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 21,
22, 24, 25, 44, 57, 63, 66,
70, 71, 74, 87, 301, 308,

- 100, 87, 95, 101, 120, 151,
152, 202, 254, 301, 303,
307, 323, 325, 327, 334,
353, 361

- BfS 112, 113, 125, 164, 215, 225,
245, 246, 260, 271, 338,
346, 354
Bilgisayarlı Tomografi (BT) 203,
345
bilimania 184, 190, 191, 380
biyolojik etkiler 352
biyolojik yarılanma süresi 81, 88,
154, 162, 304, 327, 352
Bluetooth kulaklıkları 225
BTK 239, 270
buhar üretici 169

C

- cep telefon kulaklıkları 225
cep telefonları v, ix, 5, 7, 219, 224,
225, 229, 230, 231, 232,
233, 242, 250, 265
Compton olayı 11
Coulomb 304, 305
Cs 137 22, 47, 103, 123, 141, 142,
145, 148, 149, 150, 151,
154, 310
çatılardaki baz istasyonları 255
çay çuvaları 140, 142
ÇED raporu 174, 180, 190

çelişkili uzman görüşlerinin nedenleri? vi, 295

Çernobil iv, ix, 9, 10, 21, 24, 30, 39, 43, 45, 50, 51, 52, 54, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 123, 131, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 149, 153, 154, 192, 193, 295, 296, 309, 337, 338

Çernobil kazası iv, 9, 45, 121, 122, 130, 135, 145, 192, 295

D

dalga boyu 3, 13, 301

dıştan ışınlanma 124, 138, 327, 328

doğal radyasyon 7, 8, 14, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 43, 44, 51, 52, 59, 60, 62, 64, 66, 72, 85, 92, 111, 116, 117, 120, 122, 124, 125, 128, 129, 130, 131, 133, 135, 141, 144, 146, 151, 154, 163, 164, 258, 312, 333, 343

doğal radyasyon dozu 8, 17, 52, 60, 62, 92, 117, 124, 131, 133, 141, 144, 163

doğal radyasyon kaynakları 14

doğal uranyum 63, 205, 214, 215, 314, 324, 325

doz ağırlık katsayıları 309

Dünya Seyreltilmiş Uranyum (DU) Stokları 333

E

Einstein 191, 294, 368, 369, 370

ek kesin risk (EAR) 336, 337

elektrik enerjisi üretimi 291

elektiriksel güç akısı 235, 236, 238, 239, 240, 248, 252, 253, 260

elektromanyetik dalgalar 5, 10, 13, 219, 222, 224, 239, 246, 249, 252, 254, 268, 270, 301, 361

elektromanyetik (EM) dalgaların zırhlanması v, vi, ix, x, xi, xii, 3, 5, 7, 10, 13, 23, 57, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 230, 231, 235, 236, 238, 239, 240, 241, 243, 246, 247, 248, 249, 250, 252, 253, 254, 255, 256, 261, 262, 263, 264, 265, 268, 269, 270, 271, 272, 293, 296, 301, 302, 345, 361, 371

elektromanyetik kirlilik ve kanser riski? 268, 271

elektronvolt (eV) 4, 302

enerji birimi 201, 302

eşdeğer doz 40, 57, 66, 89, 90, 92, 117, 157, 306, 307, 309, 311, 342, 66, 89

etkin doz 18, 20, 40, 62, 77, 89, 90, 91, 92, 110, 126, 127, 157, 127, 157, 210, 214, 308, 309, 318, 323, 327, 328, 329, 330, 342

etkin yarılanma süresi 304

F

fallout, tıpta iyonlaştırıcı radyasyonlar 21

fiziksel yarılanma süresi 154, 162, 327

fosil yakıtlar 144

Fotoelektrik olay 293, 295

fotovoltaik vi, x, 280, 281, 282,

284, 285, 286, 289, 290,
291, 292, 293, 295

G

gama ışınları 3, 4, 10, 13, 17, 20,
23, 57, 63, 124, 152, 198,
202, 203, 254, 301, 302,
304, 310, 311, 323, 325,
327, 328, 345, 352, 353

genel kanser riski (GKR) 337, 340

granit 20, 47, 70, 140, 141, 143,
181, 316

Gray 57, 89, 305, 306, 307, 311

GSM 232, 233, 236, 239

GWh 278, 281, 289, 290

H

helyum 14, 64, 87, 301, 312, 363
HSDPA 232

I

ICRP 39, 40, 43, 54, 81, 91, 92,
134, 214, 307, 309, 328,
329, 337

Interfon araştırması 223, 225, 248

ısı ve ısı olmayan etkiler 230

içme sularındaki radon 76, 320

iyon çifti 4, 55, 303

iyonlaştırıcı radyasyon 21, 22,
171, 352, 353

J

jeolojik kayalar 140

K

K 40 11, 12, 17, 87, 140, 146, 317,
318, 319, 140

kalite katsayıları 307

kanser riski iii, v, 7, 41, 60, 79, 84,

85, 92, 95, 113, 128, 130,
156, 204, 212, 213, 268,
271, 337, 340, 344, 346,
347, 348, 353, 354, 355,
356, 357

karbon 12 10, 197, 201, 202, 345

kesin (absolut) risk (AR) 129, 132,
133, 138, 157, 158, 212,
221, 247, 260, 271, 336,
337, 372

kohorten. 297

kozmetik ışınlar 3, 8, 13, 14, 17, 20,
55, 57, 312

kömür santralleri 9

körfez ve balkan savaşları
sendromları v, 204

kuarklar 364, 365, 367

kurşun 210 9, 11, 60, 61, 64, 65,
70, 118, 119, 146, 287

kWh 278, 279, 280, 282, 281, 282,
283, 284, 285, 286, 287, 289

L

Leningrad Ölçütü (B) 317

LTE 232

M

Manyetik Rezonans Tomografisi
(MRT) 203, 268, 344, 348

Marie Curie 17

mezonlar 3, 14, 16, 312, 370

mikroSievert 58, 120, 150, 328

Milyon elektron Volt (MeV) 302

mobil iletişim 232, 234, 241, 253,
265

mSv 4, 9, 11, 12, 16, 18, 20, 22,
23, 24, 29, 32, 33, 34, 40,
42, 43, 44, 48, 49, 51, 52,
57, 58, 59, 63, 66, 77, 78,
79, 80, 89, 90, 91, 92, 101,

105, 110, 111, 117, 123, 60,
123, 78, 62, 123, 124, 125,
126, 127, 128, 129, 130,
133, 134, 143, 144, 145,
146, 151, 153, 157, 160,
161, 162, 163, 164, 173,
211, 212, 214, 308, 309,
311, 312, 313, 320, 321,
328, 329, 331, 333, 335,
336, 337, 338, 339, 340,
342, 343, 346, 347, 348,
356, 358

MW 46, 169, 170, 174, 175, 180,
185, 186, 187, 188, 226,
250, 282, 283, 284, 287

N

NGS iv, 46, 99, 100, 165, 168,
169, 170, 171, 174, 176,
178, 179, 180, 181, 185,
186, 190

nötrino 16, 202, 303, 353, 364,
365

nötron 4, 10, 57, 64, 100, 168,
178, 192, 202, 203, 301,
302, 303, 332, 364

nükleer bomba denemeleri 22

nükleer enerji v, 188, 189, 190,
282

nükleer reaktör 59

P

plütonyum 21, 73, 180, 206, 210,
215, 324, 326, 331, 332, 333

Po 210 61, 62, 63, 64, 65

polimer malzemeler vi, 264

pozitron 16, 202, 303, 312, 344,
352, 353

Pozitron Emisyon Tomografisi
(PET) 344, 352

proton 3, 10, 12, 16, 22, 64, 75, 81,
85, 87, 100, 197, 301, 303,
307, 312, 363, 364, 3, 10

R

Ra 226 81, 85, 303, 317, 318, 322,
325

rad 61, 225, 246, 306, 308

radon iii, vi, ix, 7, 8, 10, 11, 12,
17, 18, 19, 63, 64, 68, 70,
76, 78, 79, 80, 81, 82, 83,
84, 75, 85, 76, 85, 77, 86,
81, 87, 85, 86, 87, 88, 89,
90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,
112, 117, 124, 129, 141,
144, 146, 212, 247, 311,
314, 315, 317, 320, 321

radon 222 11, 17, 64, 70, 81, 85,
91, 93, 94, 146, 314

Radyasyon iii, iv, v, vi, vii, xii, 1,
3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14,
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22,
23, 24, 25, 26, 29, 32, 33,
34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 45, 48, 49,
51, 52, 53, 54, 55, 57, 58,
59, 60, 62, 63, 64, 65, 66,
71, 72, 75, 80, 81, 82, 83,
84, 85, 87, 88, 89, 91, 92,
93, 94, 95, 100, 101, 102,
103, 104, 105, 106, 110,
111, 115, 116, 45, 120, 119,
118, 41, 45, 38, 39, 117, 92,
117, 119, 120, 121, 122,
123, 124, 125, 126, 127,
128, 129, 130, 131, 132,
133, 134, 135, 136, 137,
138, 139, 140, 141, 143,
144, 145, 146, 149, 150,
151, 152, 153, 154, 156,
157, 158, 160, 161, 162,

- 163, 164, 166, 167, 168,
171, 172, 173, 174, 177,
179, 180, 182, 191, 197,
202, 204, 212, 219, 223,
224, 233, 247, 250, 254,
258, 259, 260, 296, 297,
301, 302, 303, 304, 305,
306, 307, 308, 309, 310,
311, 312, 315, 317, 319,
323, 324, 326, 327, 328,
329, 331, 332, 333, 334,
335, 336, 337, 338, 339,
340, 342, 343, 344, 345,
346, 347, 348, 352, 353,
354, 355, 356, 357, 380
- radasyon dozları iii, iv, v, vi, vii,
8, 9, 16, 17, 18, 19, 20, 22,
24, 32, 35, 41, 42, 51, 52,
55, 57, 71, 72, 80, 84, 87,
91, 101, 110, 102, 110, 111,
115, 119, 123, 125, 126,
129, 131, 144, 145, 151,
153, 160, 163, 174, 180,
204, 297, 304, 306, 335,
338, 344, 346, 347, 353,
354, 357
- radasyon dozu iii, iv, 4, 7, 8, 13,
16, 17, 22, 23, 24, 26, 29,
33, 40, 44, 45, 51, 55, 57,
58, 60, 62, 64, 66, 75, 80,
82, 83, 89, 92, 52, 84, 63,
92, 39, 87, 94, 101, 104,
105, 115, 116, 117, 118,
120, 121, 123, 124, 131,
133, 134, 138, 141, 144,
145, 151, 153, 157, 161,
162, 163, 164, 168, 173,
179, 212, 224, 247, 254,
259, 297, 306, 308, 324,
328, 329, 331, 337, 338,
339, 340, 344, 352, 355, 356
- radasyon enerjisi 87, 105, 302,
326
- Radyasyon fiziği iii, 3, 10, 45, 49,
140, 143, 156, 311, 317
- radasyon fizikçisi xii, 53, 54, 127
- radioaktif atıklar 45, 46, 136, 167
- radioaktif madde kaçağı iv, 152
- radioaktivite iii, vi, xii, 3, 8, 10,
11, 12, 39, 46, 47, 60, 68,
69, 70, 71, 72, 75, 83, 85,
95, 96, 101, 102, 104, 105,
106, 107, 108, 110, 111,
112, 117, 121, 125, 126,
136, 139, 141, 142, 144,
145, 146, 149, 152, 154,
155, 156, 161, 163, 167,
174, 180, 193, 210, 223,
296, 302, 303, 311, 314,
315, 316, 317, 319, 325,
328, 332, 356, 380
- radioizotop 17, 23, 104, 107, 303,
314, 317, 325, 380
- radyonüklid 303
- radyum 4, 9, 10, 11, 13, 17, 60,
61, 64, 66, 70, 80, 82, 118,
315, 317, 3, 85, 287, 303,
314, 322, 324
- reaktör kazanı 47, 166, 167, 168,
169, 173, 181
- rem 308
- risk hesapları 214, 309
- RNA ve Mutasyon vii, 359
- Röntgen ix, 4, 7, 8, 13, 14, 22, 23,
24, 25, 38, 39, 59, 60, 84,
124, 145, 197, 198, 203,
258, 259, 260, 302, 304,
305, 335, 336, 344, 345,
346, 348, 352, 353, 356, 357
- Röntgen birimi 304
- Röntgen ışınları 22, 25, 335, 345,
346

rüzgâr enerjisi 282, 283, 284, 289

S

Sağlık fiziği 3, 39

sağlık fizikçisi 3

seyreltilmiş uranyum 205, 206,
211, 212, 213, 214, 215,
324, 325, 326, 329, 330,
331, 333

sezyum 99, 123, 125, 149, 152,
154, 155, 156, 161, 162,
203, 303, 304, 327

sıcaklık ve entropi nedir? 370

sınır değerler iii, 40, 41, 67, 68,
69, 71, 73, 75, 80, 101, 104,
131, 136, 137, 145, 220,
222, 230, 239, 240, 255,
260, 265, 269, 270, 306, 322

Sievert, Sv 4, 9, 16, 24, 34, 45, 57,
60, 62, 105, 117, 130, 134,
161, 140, 141, 151, 161,
157, 306, 308, 309, 311,
323, 328, 335, 336, 338,
339, 347, 355, 356, 358

sulardaki radyoaktif maddeler ve
sağlığımız iii

T

TAEK 53, 54, 69, 71, 75, 81, 111,
112, 121, 124, 125, 126,
127, 128, 135, 136, 137,
138, 139, 142, 143, 145,
146, 177, 179, 319, 320,
342, 344, 380

temel parçacıklar vii, 303, 363,
369

Tesla 262, 264, 268, 269, 270,
271, 351, 352, 353, 354

topluluk dozu 24, 42, 52, 131, 309,
310, 337

toryum 232 9, 17, 60, 64, 70, 118,
140, 287, 314, 324

trafo ve yüksek gerilim hatlarının
(YGH) yaydığı dalgalar vi,
265, 271

Türkiye’de uygulanan radyasyon
doz sınır değerleri vi, 342
tütündeki radyoaktif polonyum 63
tütündeki radyoaktivite iii, 60

U

U 235 47, 99, 100, 101, 205, 206,
213, 214, 303, 324, 325,
329, 330, 331, 332, 334

U 238 47, 63, 100, 205, 206, 318,
319, 324, 325, 326, 327,
328, 329, 330, 331, 332

UAEA 112, 121, 167, 178, 179,
380

UMTS 232, 233, 236, 239, 240

unscar vi, 20, 51, 54, 76, 78, 92,
121, 123, 130, 144, 296,
297, 318, 319, 320, 322,
335, 336, 338, 340, 341

uranyum vi, 3, 4, 9, 11, 13, 16, 17,
21, 46, 60, 61, 63, 64, 70,
72, 73, 74, 75, 80, 81, 85,
99, 100, 118, 140, 144, 169,
176, 182, 204, 205, 206,
209, 210, 82, 210, 207, 209,
210, 211, 212, 213, 214,
215, 287, 303, 314, 315,
323, 324, 325, 326, 328,
329, 330, 331, 332, 333, 334

V

Volt/m 222, 235, 239, 243, 244,
252, 268, 270

vücut içinden ışınlama 327

W

Watt 120, 221, 222, 226, 222, 232,
235, 228, 256, 278, 256,
289, 290, 302, 351, 278,
233, 236, 239, 240, 242, 252

Y

yapay radyasyon kaynakları 7,
24, 35

yarılanma süresi 81, 85, 87, 88,
154, 162, 210, 303, 304,
313, 314, 327, 334, 352,
353, 141

yenilenebilir enerjiler v, 194, 277,
279

Z

zenginleştirilmiş uranyum 99, 205,
206, 324



Yüksel ATAKAN'ın Çalışma Yaşamı

Fizik Y. Müh.,Dr. Yüksel Atakan Türkiye'nin ilk radyasyon fizikçilerindendir. 1961'de Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünü bitirdikten sonra Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi ve Ankara DSİ Radyoizotop Laboratuvarı'nda görev yaptı. 1972'de Heidelberg Üniversitesinde doktorasını bitirdikten sonra nükleer santrallerin projelendirilmesinde Almanya'da Brown Boveri Reaktorbau (BBR) ve Siemens'de 25 yıl çalıştı. Bu arada, Almanya'da nükleer standartların hazırlanmasına (KTA) 15 yıl katkıda bulundu. ABD'deki nükleer santrallerin bakım ve onarım çalışmalarını sık sık yakından izledi. Nükleer santrallerin bakım ve onarım çalışmaları sırasında personelin aldığı radyasyon dozlarını ABD'deki Babcock Wilcock reaktörlü santrallerde yerinde ölçtü ve bunlarla ilgili araştırma çalışmaları ABD'de Nuclear Safety ve Almanya'daki teknik dergilerde yayımlandı. Ortaya çıkan radyasyon dozlarını 80'li yıllarda Almanya'da yapımı süren Mülheim Kärlich nükleer santrali için projelendirdi. Nükleer santralin radyasyon alet sistemlerini, 'alan ve sistem monitor'larından baca gazları ölçüm sistemlerine kadar projelendirdi, alet yapan firmaların yerine getireceği teknik özellikleri (spesifikasyonları) hazırladı, KTA'da bunlarla ilgili çalıştı. 1981 ve 1984'te Akkuyu'da planlanan nükleer santralin işletme öncesi radyoaktivite ölçümleri ve radyasyondan korunma konularında UAEA (Viyana) ve TAEK'nın kısa süreli uzmanı olarak görevler üstlendi, bunlarla ilgili UAEA/TAEK'ya teknik rapor sundu. Dört kitabı (ikisi çeviri), ABD, Almanya ve Türkiye'de yayımlanmış teknik ve bilimsel, popüler çok sayıda yazıları bulunuyor. Hâlen, radyasyonlarla ve nükleer santrallerle ilgili olarak Türkiye'deki TÜBİTAK, Bilim ve Gelecek, Cumhuriyet Bilim Teknik dergilerinde, Almanya'daki Radyasyondan Korunma Derneği dergisinde (Strahlenschutz Praxis) ve Türkiye'de www.bilimania.com sitesinde yazıları yayımlanıyor. Yüksel Atakan, Almanya'da Heidelberg yakınlarındaki Heppenheim'da senyörler takımında tenis, Türkiye gezilerinde de rüzgâr sörfü yapmayı sürdürüyor.

