

Çevre Sağlığı
Temel Kaynak Dizisi
No : 44

2001
ÜÇÜNCÜ BİN YILA HAZIRLANIYORUZ

RADON KİRLİLİĞİ

Prof. Dr. Çağatay GÜLER
Zakir ÇOBANOĞLU

Ankara
1997



TÜRKİYE CUMHURİYETİ

SAĞLIK BAKANLIĞI

Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü

T.C.

SAĞLIK BAKANLIĞI

Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü

RADON KİRLİLİĞİ

Prof. Dr. Çağatay GÜLER
Zakir ÇOBANOĞLU

Birinci Baskı

Ankara
1997

I. Basım : 3500 Adet - 1997

ISBN 975-8088-53-X

Bu kitap, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü işbirliği içerisinde yürütülen çevre sağlığı programı çerçevesinde kullanılmak üzere yazılmış ve çoğaltılmıştır. Birinci basımın telif hakları Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü'ne aittir.

Basıldığı Yer : Aydoğdu Ofset Tel : (0.312) 310 79 79 - ANKARA

ÖNSÖZ

Ülkemizde gerek Sağlık Bakanlığı gerekse ilgili diğer kurumların üzerinde büyük bir hassasiyetle durdukları ve son zamanlarda oldukça yoğun bir kamuoyunun oluştuğu **çevre sağlığı sorunları**, birinci basamakta görev yapan sağlık görevlilerinin öncelikli çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Diğer sağlık sorunlarına göre daha çok işbirliği, daha fazla mevzuat bilgisi ve bilgilerdeki gelişmeleri daha yakın izlemeyi gerektiren çevre sağlığı çalışmalarda sağlık personelinin göz önünde tutması gereken en önemli noktalar: sorunlara duyarlı olmak, bilgisini sürekli tazelemek ve ilgili sektörlerle yakın işbirliği ortamları yaratmaya çalışmaktır.

Bakanlığımız, birinci basamak düzeyinde verilen koruyucu sağlık hizmetlerinde; sağlık personelinin, sürekli eğitimi kapsamında bilgi ve beceri yönünden dünyadaki gelişmeleri yakından izlemesi üzerinde hassasiyetle durmaktadır. Bunun için uygulamaya konulan hizmetiçi eğitim programları kapsamında çevre sağlığı konusundaki eğitimlerin başarıya ulaşmasının, ancak yazılı kaynakların da personele sunulması ile gerçekleşebileceği bilinmektedir.

Eğitilmeye ve uygulamalara temel oluşturması ve gereğinde bir başucu kitabı olarak kullanılması amacıyla hazırlanan bu bir dizi yayının, ülkemiz çevre sağlığı sorunları ile mücadele eden sağlık personelimiz için gerçekten yararlı olacağına inancımız sonsuzdur.

Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü ile işbirliği içerisinde Birinci ve İkinci Sağlık Projeleri kapsamında yürütülmekte olan "Çevre Sağlığı Programı" hizmetiçi eğitimleri için hazırlanmış olan bu yayınların yakın bir gelecekte tüm sağlık çalışanları için vazgeçilmez birer kaynak olacağı ve pek çok yarar sağlayacağı ümidini taşımaktayım.

Dr. S. Haluk ÖZSARI

Uz.Dr. Cihanser ERER

Sağlık Projesi Genel Koordinatörü Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürü

Sevgili Meslektaşlarımız,

Çevresel etkenler giderek halk sağlığında daha büyük önem kazanmaktadır. Bu ağırlık bir yandan yeni çevresel etkenlerin etkili olmaya başlamasına bir yandan da diğer halk sağlığı sorunlarının kontrol edilmeye başlamasına bağlıdır.

Kişinin kendi sağlığının korunması ve geliştirilmesine yönelik uygulamalardan, doğrudan sorumlu olmasının yanısıra çevre ile ilgili olumsuz davranışların başkalarının sağlığını da tehlikeye düşürebilmesi, konunun önemli bir yasal düzenleme ve yaptırım sorunu olarak da karşımıza çıkmasına yol açmaktadır.

İnsanın dışındaki herşey çevrenin ögesidir. Çevre kişi üzerindeki dış etkenlerin bütünüdür. Çevreyi önce doğal ve yapay çevre olarak ikiye ayırabiliriz.

Çevrede sağlığı doğrudan ya da dolaylı etkileyen önemli etkenler bulunmaktadır. Çevre bir yaşamı sürdürme ve sağlama sistemidir. Su yiyecek ve barınak bu sistemin en önemli öğelerini oluşturur. Sağlık açısından baktığımızda çevre üç ana grupta incelenir : Fizik, biyoloji ve sosyokültürel çevre.

Hastalık nedenleri ise bünyesel ve çevresel nedenler olmak üzere iki grupta incelenebilir :

Bünyesel nedenler; gen. hormon ve metabolik kaynaklı olabilir. Bazı bünyesel nedenler bazı hastalıklara daha büyük oranda yakalanmaya yol açabilmektedir. Bunlar insan iç ortamı ile ilişkili bir durumdur. İnsan dış çevrenin etkilerine genetik yapısı ile cevap vermektedir.

Çevresel nedenlerin birincisi fiziksel nedenlerdir. Sıcaklık, soğuk, ışın, travma, içme ve kullanma suyu, atıklar, konuk sağlığı, iklim koşulları, hava ve su kirliliği, giyeceklerimiz, kamuya açık yerler, sağlığa az ya da çok zarar verebilme olasılığı olan kuruluşlar, mezarlıklar başlıca fiziksel çevre öğeleridir. Çevresel nedenlerin ikincisi kimyasal nedenlerdir. Bunlar, zehirler, kanser oluşuna neden olan bazı etkenler örnek olarak verilebilir. Temel madde eksiklikleri üçüncü neden olarak ele alınabilir. Bazı maddeler vardır ki insanın sağlıklı olabilmesi ve yaşamsal olayların yürütülebilmesi için dışarıdan alınmaları gerekir. İnsan ya da canlı bunu vücudundaki temel yapı taşlarından sentez edemez. Buna temel maddeler denmektedir. (Vitaminler, esansiyel aminoasitler veya yağ asitleri, mineraller gibi.) Çevredeki biyolojik etkenler ise mikroorganizmalar, asalaklar, mantarlar ve diğer etkenlerden oluşmaktadır. Bunlar canlı vücudunda hastalık yapabilirler. Çağdaş yaşamda sık rastlanan stres vb. durumların dahil olduğu psikolojik etmenlerle, sosyokültürel ve ekonomik etmenleri de çevresel etkenler arasında sayabiliriz.

Bu durumda çevre; hastalıklar için zemin hazırlayan, doğrudan hastalık nedeni olabilen, bazı hastalıkların gidişini ve sonucunu etkileyen, bazı hastalıkların da ya-

yılmasını kolaylaştıran bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün çevre olumsuzlukları her dört etkiye de neden olabilir. Hava, su, toprak kirlenmesi doğrudan hastalık nedeni olabildiği gibi, bir kısım hastalıkların yayılımını kolaylaştırabilir ya da bir kısım hastalığın gidişini etkileyebilir.

Fizik ve biyolojik çevre yakından ilişkilidir. Sözelimi iklim canlıların yaşaması ve çoğalmasıyla yakından ilişkilidir. Jeolojik ve coğrafik özellikler toplumlar arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır ve hastalık etkenlerinin yayılımıyla da bağlantısı olabilir.

İnsanlarca oluşturulan yapay çevre koşulları insanlar ve insan toplulukları üzerinde giderek çok daha önemli boyutlarda etkili olmaya başlamıştır. Uzay yolculukları veya denizaltı bilimsel araştırma merkezlerinde olduğu gibi kimi zaman da bu yapay çevre koşulları kişinin varlığını sürdürebilmesi için vazgeçilmez durumdadır.

Çevre sağlığı, bir çok meslek grubunun ekip hizmeti sunmasını gerektiren önemli bir sağlık sorunudur. Bir çok sektörün işbirliği olmadan çevre sağlığı sorunlarının çözümü mümkün olmaz. Toplumun ekonomik yapısı, ekonomik kalkınma çabaları ile bağlantılı olup, kentleşme süreci ile de yakından ilişkilidir. Bunun sonucunda başlangıçta alınacak koruyucu önlemler pahalı gibi görünse de, sonradan bozulan çevrenin düzeltilmesiyle ilgili çabaların maliyeti ve olumsuz sonuçları göz önüne alındığında daha ucuz bir yöntemdir.

Çevre sağlığı, çevre fizyolojisi, uygulamalı fizyoloji gibi bilim dalları ile yakından ilişkilidir. Uygulamalı fizyoloji ve çevre fizyolojisi çevredeki olumsuz etmenlerin insan ve canlı fizyolojisi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çevre sağlığı halk sağlığının da önemli bir koludur. Sağlık elemanları, sağlık ve çevre mühendisleri çevre sağlığı konusunda işbirliği yapmak zorundadır. Sağlık elemanları çevresel öğelerin sağlık üzerindeki etkilerini belirleyerek çevre mühendislerine yol gösterirler.

Canlıyı olumsuz etkileyen maddeler genel olarak toksik maddeler olarak adlandırılmaktadır. Zehir anlamına gelir. Toksikoloji günümüzde tek başına bir bilim dalı olarak önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Klinik toksikoloji, adli toksikoloji gibi dalların yanısıra giderek çevresel toksikoloji dalları da gelişmiştir. Toksikoloji bu açıdan farmakoloji, patoloji, beslenme ve halk sağlığı dallarıyla yakından ilişkilidir. Toksik maddelerin etkilerinin ilaç yan etkileri, orjinleri, etkileme süreci gibi özelliklerine dayanarak yapılması mümkündür. Toksik maddeden etkilenmenin değerlendirilmesi, doz cevap ilişkileri giderek büyük önem kazanan alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Uzun yıllar toplum hekimliği görüşünün hijyenden farklılığı vurgulandı. Bu vurgulama çoğu genç hekimde hijyen kavramının yok sayıldığı gibibir yanlış anlamaya yol açtı. Oysa bu yaklaşımın amacı toplum hekimliği görüşünün hijyen kavramına

göre daha çağdaş bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktı. 1800'lü yılların halk sağlığı yaklaşımının temeli olan hijyenin yadsınması veya yok sayılması söz konusu değildi.

Çevre sağlığının konuları gözden geçirildiğinde çoğunun alınacak önlemlerle radikal olarak ortadan kaldırılabilir özellik taşıması hekimlerde gelecekte çevre ile hekimin doğrudan ilişkisinin kalmayacağı şeklinde yanlış bir kanı da uyandırdı. Bu yanlış kanının dayandığı temeller yok değildi. Bir kanalizasyon sisteminin kurulması, buna bağlı arıtım tesislerinin varlığı insan atıkları ile ilgili bir çok sorunun ortadan kalkmasını sağlayabilirdi. Ancak günümüzde ortaya çıkan sorunlar hekimin çevre sağlığı konuları arasında işlenen bazı temel sorunlarla doğrudan ilişkisinin kalmamasına karşın, **çevre** sorununun önemli bir boyutunun doğrudan ilgisi olmak zorunda kalacağını gösterdi. Günümüz kaynakları bunu kısaca **çevre hekimliği** terimiyle tanımlamaktadır.

Öte yandan radikal önlemlerle ortadan kaldırılabilir olan çevre sağlığı sorunlarında da toplum bireylerine ve topluluklara yer, zaman ve kişi özelliklerine uygun, pratik çözüm önerileri götürülmedikle teknik danışmanlık hizmeti sağlanamadıkça ilerleme sağlanması çok zordur. Kimi zaman tek bir beldenin bütün köyleri için geçerli bir uygulama biçiminin sunulabilmesi bile zor olmaktadır. Oysa hızla gelişen teknolojiye uyum sağlama çabası içerisindeki ülkemizde yapılan her düzenleme doğrudan ve dolaylı olarak sağlık personeline Önemli görevler yüklemektedir. Ülkemizde çevre sağlığı ile ilgili mevzuatın sağlık personeline yüklediği görevler sanıldığından çok ağırdır. Çevre hekimliği yaklaşımı esas alındığında hekim ve sağlık personelinin eğitiminde görev alacak personelin eğitiminde tartışılması gereken konular oldukça kapsamlıdır. Mevzuattaki görev ve yetki karmaşaları ortadan kaldırılamadığı sürece bu kapsam doğrudan ve dolaylı olarak alanda çalışan personel tarafından dile getirilecektir. Kimi sanayileşmiş illerde içerik istemi daha çok sanayi tesislerinin çevresel etki değerlendirmesi ile bağlantılı olmaktadır.

Bütün bu noktalar esas alındığında kolay yenilebilir, kısa ve birbirine bağımlı olmadan ilgili bölümlerin sık sık gözden geçirebildiği bir kaynak kitapçıklar dizinin yararlı olacağı sonucuna varılmıştır. Yapılacak katkı ve önerilerle daha da gelişeceğine inandığımız bu dizinin **yararlı** olmasını diliyoruz.

Prof.Dr. Çağatay GÜLER
H.Ü. Tıp Fakültesi
Halk Sağlığı Anabilim Dalı

Zakir ÇOBANOĞLU
T.C. Sağlık Bakanlığı
Temel Sağlık Hizmetleri
Genel Müdürlüğü

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1	
Radyasyon.....	8
BÖLÜM 2	
Radon.....	17
BÖLÜM 3	
Radon Etkileniminin Kaynakları	22
BÖLÜM 4	
Evlerde Radon	24
BÖLÜM 5	
Radonun Sağlık Etkileri	30
BÖLÜM 6	
Radon ölçü mü	35
BÖLÜM 7	
Radonla İlgili Olarak Alınması Gereken Önlemler	37
KAYNAKLAR.....	42

Herkes, her gün radon solumaktadır.

Ernest Rutherford, 1907.

BÖLÜM 1

RADYASYON

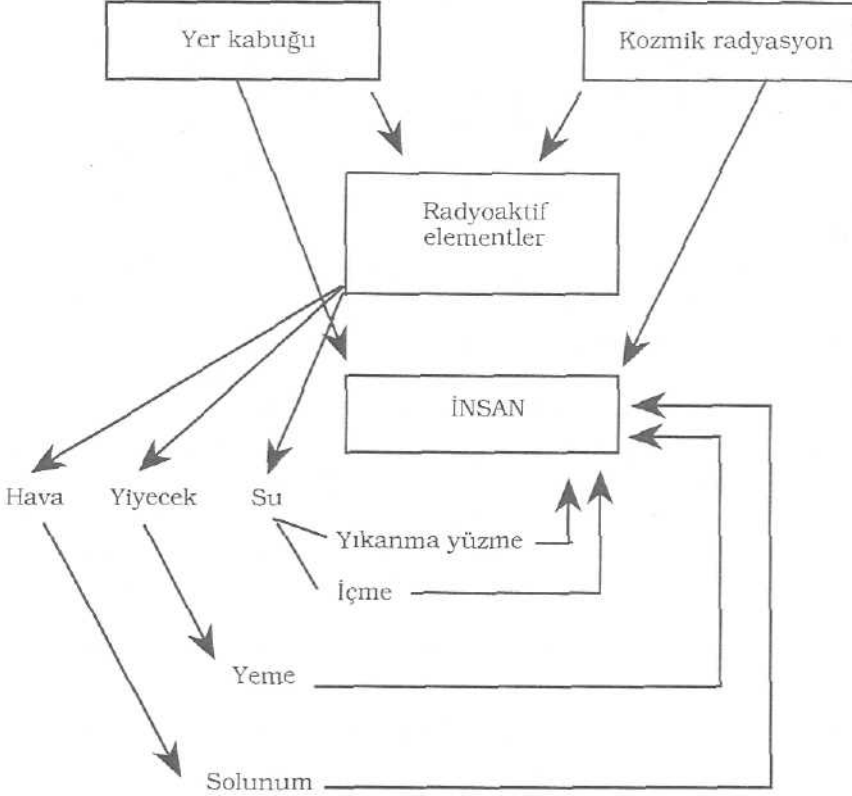
Parçacık ya da tek renkli ışık yayımı : bu parçacıkların ya da ışımının kendisi, maddesel ortamdan geçerken onunla etkileşerek iyon çiftleri oluşturabilen X ışını, gama ışını gibi elektromanyetik ışınlarla, kinetik enerjileri olan yüklü parçacıklar, ağır iyonlar ve serbest nötronlar gibi tanecik karakterli ışınlar radyasyon olacak tanımlanmaktadır. Radyoaktivite veya radyoaktiflik kararsız nükleitlerin, parçacıklar ya da elektro manyetik ışımaya (fotonlar) yayımlayarak kendiliğinden kütle yitirme özelliğidir. Uzay ve güneş kaynaklı radyasyon tüm insanları sürekli olarak etkilemektedir. Değişik nitelikteki radyasyon kaynakları sürekli insan ve canlılar üzerinde etkili olmaktadır. (1-8)

İyonlaştırıcı etkisi olmayan ışınların insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri fazla değildir. Katarakt, deride yanıklar, gözde yaralar ve yanıklara neden olabilmektedir. İster doğal ister yapay olsun iyonlaştırıcı ışınlar oldukça tehlikelidir. Doğal radyasyonun şiddeti azdır. Ancak yapay radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça önemlidir.

Radyasyon kirliliğinin en önemli nedenleri arasında atmosfer ve toprak altında yapılan nükleer denemeleri sayabiliriz. Nükleer reaktör kazaları bir diğer nedendir. Toprağa gömülen radyoaktif atıkların kaplarının sızdırması toprak aracılığı ile radyoaktif elementlerin bitkilere ve hayvanlara ulaşmasına yol açabilir. Nükleer yakıtla çalışan araçlardan olan sızıntılar, bir diğer faktör olabilir. Radyasyon tedavi birimlerinin çevresi, radyoaktif yöntemler kullanan laboratuvar atıkları da radyasyon kirlenmesi nedeni olabilir. (3,4,5)

Radyoaktif kirlenme dokularda hücrelerde mutasyonlara ve kanser gelişimine yol açabilir. Anne karnında bebeğin gelişimini olumsuz etkileyerek onun doğuştan bir takım gelişim bozuklukları ile doğmasına yol açabilir. Akkan sistemini etkileyerek hastalıklara karşı direnci de azaltabilir. Stronsiyum bu açıdan güzel bir Örnektir. Kimyasal ve fiziksel Özellikleri kalsiyum elementine çok benzeyen stronsiyum biyokimyasal döngülerde kalsiyumla birlikte ve ona benzer biçimde hareket etmektedir. Radyoaktif stronsiyum 90'm yarılanma ömrü 28 yıldır. Yani 28 yıl içerisinde yarısı hala aynı etkinlikte varlığını serpintilerle toprağa ulaşan stronsiyum likenler tarafından alınır. Bunu yiyen hayvanların etinde birikebilir. Bu hayvanları yiyen insanlar ise stronsiyumu etle birlikte alabilirler. Aynı zamanda bu

hayvanların sütünü içen insanlarda radyoaktif stronsiyumu alabilirler. Alınan bu stronsiyum kemiklerde birikir. Başlangıçta düşük miktarda alınsa bile zamanla daha büyük miktarda stronsiyum vücutta bulunacaktır. Bu stronsiyum yıllarca radyoaktif etki yapacaktır. C14 ve H3 gibi radyoaktif maddeler stronsiyum 90 dan daha da tehlikelidir. Bu radyoaktif maddeler dünyadaki bütün canlıları etkileyebilir. (3, 4, 5)



Şekil 1, Doğal ve yapay radyoaktivite insanı değişik yollarla etkiler. Solunum yolları korunması en güç sistemlerden birisidir.

100 kHz den 300 GHz e kadar frekans içeren, radyo dalgaları veya radyo frekansı radyasyonu elektromanyetik spektrumun bir bölümünde yer alır. (9)

Bu frekanslar AM, FM ve kısa - dalga radyo ; UHF ve VHF televizyon; radar: mikrodalga nakil hatları ve uydu haberleşmede kullanılır.

Elektromanyetik radyasyon uzaydan foton denilen enerji paketleri halinde yayılmaktadır. Bütün fotonlar ışık hızıyla hareket etmektedir. Foto-nun enerjisi frekansı ile doğru orantılıdır ve elektronvolt olarak ifade edilmektedir. (1) Bu bir voltluk bir potansiyel farkının etkisi altında ivme kazanan bir elektronun enerjisidir. Bu çok küçük bir değerdir. 1 miligram ağır-lığındaki bir cismin 0. 000001 cm yüksekliğe kaldırılabilmesi için bir mil-yon elektronvolt gerekmektedir. (eV) Düşük enerjili fotonlar etkilerini genellikle kaynağın yakınında göstermektedir.

Uzayda hareket ederken genellikle Tasladıkları maddelerin atomlarını aktive ederler. X ışını veya Gama ışını gibi yüksek enerjili fotonlar yörüngelerindeki elektronlar ile etkileşerek iyonize ederler. Normal koşullar altında bir atom elektriksiz olarak nötraldır ve yörüngesindeki elektron sayısı çekirdeğindeki pozitif yüklü protonlarla eşit sayıdadır. Elektron alındığında negatif yüklü bir birim olarak, geri kalan atom ise pozitif yüklü bir birim olarak davranır. Bu ikisine iyon çifti denmektedir (ion pair)

Bir elektronun atomdan ayrılması için gerekli enerji miktarı teorik olarak 10 eV, pratikte ise 34 eV dur. Ancak X ışınları, gama ışınları ve yüksek frekanslı ultraviyole ışınlarının bu miktar enerji gücü vardır.

1. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

Ultraviyole ışınları

Ultraviyole ışınlarının temel kaynağı güneştir. Elektrik arkları, kaynak arkları, ultraviyole lambaları ve güneş lambası olarak bilinen ultraviyole lambalarının bu özelliği bulunmaktadır. Güneşten dünyaya ulaşan ışın miktarı :

1. Koruyucu ozon tabakası
2. Bulut durumu
3. Mevsim
4. Günün saati

5. Enlem

6. Deniz düzeyinden yükseklik gibi durumlarda bağılıdır. UV ışınları su, kar veya kumdan yansiyarak etkili olabilir. Bu gibi durumlarda kar veya güneş körlüğü denilen durumlar ortaya çıkar.

Ultraviyole lambalarının maddelerden geçebilmesi zordur. Bu nedenle kolay engellenebilen bir ışındır. Normal pencere camları yüksek frekanslı ışınların büyük bölümünü engeller. Açık renkli elbiselerde aynı etkiyi yapmaktadır.

Açık renk elbiseler hemen hemen tüm frekansları engellemektedir. Ultraviyole ışınlarının etkisi belirli bir düzeye ulaşmadan önce görülemediğinden kişiler farkına vardıklarında büyük oranda etkilenmiş ve zarar görmüş durumda olmaktadır. Deride erken yaşlanma, bulantı, kusma, bitkinlik durumlarına neden olmaktadır.

Ultraviyole ışık, iyonlayıcı radyasyondan daha düşük enerjili ve dalga boyuna bağlı olarak soğurma özelliği nedeni ile ayrılır. Nükleik asidin 2600 °A de pik verecek şekilde geniş bir soğurma bandı vardır. Soğurmanın etkisi öncelikle nükleik asidin Pyrimidinlerine H ve.CH iyonlarının bağlanması ile onu kimyasal olarak değiştiren kimyasal bir olaydır.

Bu etkinin gözlenebilmesi için birçok fotona ihtiyaç vardır. Soğurulan fotonların gelenlere oram olarak tanımlanan verim, Örneğin, moleküller için 0, 01, virüsler için 0, 00001 dir. Proteinde, özellikle aromatik amin ve cystine tarafından büyük olmamakla birlikte UV soğurma olduğu bilinmektedir.

UV Radyasyonun etkileri şöyle sıralanabilir.

Yanıklar : UV ışık. güneş yanığı dediğimiz, deri üzerinde etki yaratır.

Mutasyon Oluşturması : UV ışık, bakteri ve virüsler dahil tüm hücreler üzerinde mutasyon yaratır. Mutasyonun, DNA üzerinde küçük kimyasal değişiklikler yarattığı düşünülmektedir.

Kromozom bölünmeleri yaratması : UV nin, iyonlayıcı radyasyona göre çok daha az da olsa kromozomları parçaladığı bilinmektedir.

Hücre bölünmesinde gecikme ve dev - hücre oluşumu : Hücre bölünmesi ile UV ile engelenemediği ve böyle hücrelerin aşırı büyüme gösterdiği tesbit edilmiştir.

Metabolizma ve Protein sentezine etkisi : UVnin DNA sentezi üzerinde iyonlayıcı radyasyona göre daha fazla etkisi olduğu bulunmuştur.

Laser dahil görünür ışınlar

Görünür ışınların sağlık etkisi doğrudan veya dolaylı olabilir. Doğrudan güneşe bakıldığında olduğu gibi gözde zarar meydana getirebilir. Yetersiz aydınlanma düşme kazalarına neden olmaktadır. Aşırı aydınlanmaya bağlı otomobil kazaları olabilir. (Parlamalar, göz kamaşmaları nedeniyle)

Laser ışınları söz konusu ışınların belirli odaklamalarıyla elde edilmektedir, endüstri, tedavi vb. gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

İnfrared radyasyon

Bütün cisimler düşük yüzeyel sıcaklık değerine sahip olan diğer cisimlere infrared ışınlar yayarlar. Sıcaklığın artması radyasyonun enerjisinin ve frekansının artmasına neden olmaktadır. İleri derecede sıcaklık artırımına bağlı olarak emisyon enerjileri infrared bölümünden görünür ışık bölümüne hatta düşük ultraviyole spektrum bölgelerine koyabilmektedir. Bu durum demir çelik endüstrisinde görülen bir durumdur ve meydana gelen beyaz sıcaklık, kırmızı sıcaklıktan daha fazla sıcaktır.

İnfrared ışınları derinin derin tabakalarına penetr olmamaktadır. Ancak eğer kontrol edilemeyecek olursa deri yanıklarına, gözde katarakta, retina! harabiyete neden olabilir. Bu spektrum insan vücudunun ısını terleme mekanizmasıyla etkin soğuyamayacak boyutlara kadar çıkarabilir. İnfrared ışınlar parlak ve cilalanmış yüzeylerden kolayca yansıtılmaktadır.

Mikro dalgalar

Mikrodalgalar. frekansı 1 - 300 GHz arasında olan elektromagnetik bir dalgadır. Radar, uydu veya uzak telefon haberleşmeleri, telgraf, televizyon yayınları, radyo astronomi ve diğer amaçlarda kullanılır. Mikrodalga, görme mesafelerinde atmosfer içerisinde karşıdan karşıya veya kısa mesafelerde dalga kılavuzu veya Koaksiyel kablolarla yönlendirilerek kullanılır.

Mikrodalga radyasyon kaynakları arasında radar, radyo ve televizyon vericileri sayılabilir. **Satelit** telekomünikasyon sistemleri ve mikrodalga fırınlarında da aynı tip ışınlar bulunmaktadır. Endüstride boyaların, mürekkeplerin, sentetik lastiğin kurutulmasında, tahılların böceklerden korunmasında kullanılmaktadır.

Tıpta infrared ışınlar derin sıcaklık tedavisinde kullanılmaktadır. Metaller tarafından bu ışınlar yansıtılır ve cam, kağıt ve plastikten geçerler. Su içeren meteryaller tarafından absorbe edilmektedir. Mikrodalga fırınlarında mikrodalga ışınları su moleküllerinin ajitasyonuna neden olur ve inoleküler sürtünmeye bağlı olarak ısı oluşumuna yol açarlar.

Mikrodalgaların mini canlılar üzerindeki etkisi sadece ısı mekanizmasıyla değildir. İnsan vücudunun değişik bölümlerinin iletkenliğinin farklı olması nedeniyle bu ışıklardan etkilenme derecesi farklı olmaktadır. Mikrodalgalar 108-1011 Hz frekanstadırlar.

Mikrodalgaların etkisine en duyarlı organlar gözler ve testislerdir.

A. B. D. Radyolojik halk sağlığı bürosu, çalışır durumdaki bir fırının yüzeyine yakın her cm² sinden 5 mWatt/cm² den fazla kaçak olmaması koşulunu getirmiş ve bu standardın sağlanmasını istemiştir. Bununla birlikte insanlarda doku harabiyeti 5mW/cm² den çok daha büyük değerler için rastlanmıştır. Ancak tekrarlı küçük dozların bir etki yapıp yapmadığı incelenmemiştir.

Saniyede 20. 000 den büyük titreşimlere ultrases denir. Normal İnsan kulağı 16 - 20000 arasındaki titreşimleri (sesleri) duyar.

Tıpta cerrahi, fizik tedavi, tanı. biyofiziksel etkileri vb. nedenlerle kullanılır. Ultrasesin biyolojik etkilerine ait geniş literatür olmasına rağmen, doku, organ ve hücre seviyesindeki etkileri henüz kesin olarak anlaşılmış değildir. Etkisi çeşitli seviyelerde incelenebilir. Ultrasesin hücre ve kromozom seviyesindeki değişikliklerini incelemek için lökosit kültürleri kullanılmış-tır. Mac Intoch ve Daveyin bu ilk çalışmasından sonra, ultrasesin değişik enerji düzeyleri. Frekans şiddet ve süreler için birçok deney yapılmıştır. Bu çalışmalarda tıbbi uygulamada kullanılan utrases enerjileri (5 - 20 milli-watt/cm²) için DNA molekül yapısında bozulma olduğu ileri sürüldü ise de bu henüz kesinlik kazanmış değildir. Teşhis düzeyindeki ultrasesin hayvan üzerinde yapılan deneyler yapısal ve davranış bakımından hiç bir değişik-lik oluşturmadığı ancak 10Watt/cm² ve daha yukarı değerler için prapleji oluşturduğu gözlenmiştir. Tıbbi uygulamada özellikle ultrasesin teşhis dozlarında (2 - 20 miliwatt/cm) genetik bir hasar vermesi en çok korkulan bir yan etkisidir. Bununla birlikte hayvan üzerindeki çalışmalar düşük şiddette ultrasesin genetik yönden hiçbir yan etkisi olmadığını ortaya koymuştur. Tedavi dozlarında (1 - 3 Watt/cm²) hatta hayvanları sterilize eden daha yüksek dozlarda bile genetik etki gözlenmemiştir.

Elektrik ve manyetik alanlar (Elektromanyetik alan) (EMF)

Güç-frekans alanları elektrik kablolarından alternatif akım geçtiği durumlarda oluşmaktadır. Bu gibi alanlarda dalga frekansı 50-60 Hz, tir ve 5000 km ve üzerinde uzun dalga boylu ve düşük kuantum enerjili dalgalarla ilgilidir. Bu elektromanyetik spektrumun ELF bandı içerisinde (Extremely Low Frequency) yer almaktadır. Elektromanyetik radyasyon terimi

erine elektroma tiye ukalan terimi kullanılmaktadır.

Devreden akım geçtiğinde hem elektriksel hem de manyetik alanlar ortaya çıkmaktadır. Elektrik alanlarının gücü veya şiddeti akım gücüyle (voltaj) orantılıdır. Manyetik alan şiddeti ise akım hızıyla (amperaj) orantılıdır. Elektrik alanları volt/metre; manyetik alanlar ise amper/ metre ya da daha bilimsel olarak manyetik akı yoğunluğu (magnetic flux density, gauss veya **tesla**, 1 tesla= 10 000 gauss) ile gösterilir.

Gerek elektriksel gerekse manyetik alan **şiddeti** elektrik akım devrelerinden veya güç kaynaklarından uzaklaştıkça düşer. Voltaj elektrik alanlarının şiddetini belirlediği için, yüksek voltaj hatları ve birinci dağıtım güç hatları gerek mesleki gerekse evsel etkilenimde temel kaynağı oluşturmaktadır. Bunun aksine manyetik akım yüksek akımın bulunduğu yerde ol-maktadır kaynakçılıkta, evlerde elektrikli aletlerin tekisinde kalmaya bağlı olarak meydana gelmektedir. Pratikte Ölçüm oldukça zordur (10). Çünkü değişik kaynaklar sözgelimi jeomanyetik alanlardan kaynaklanan akımlar birlikte etkilemektedir. Elektriksel alanlar genellikle topraklama ile bloke olurken, manyetik alanlar dokular dahil bir çok dokuya olayca penetre ol-maktadır. Bu nedenle manyetik alan- kanser bağlantısıyla İlgili çalışmalar daha yoğundur. (10)

İleri sürülen görüşler arasında EMF nm hücre zarı ve doku sıvılarında indüksiyon akımına neden olabileceği, pineal salgı bezinin melatonin yapımını engelleyebileceği gibi görüşler sayılabilir.

Elektriğin kablolardan hareket etmesi elektrik ve manyetik alanlar oluşturmaktadır. Yüksek voltaj hatlarının sağlık etkileri ile ilgili çelişkili görüşler bulunmaktadır. (1) Bu tip etkilenimin kansere neden olabileceğiyle ilgili değişik hipotezler kurulmuş olmakla birlikte bunlardan hiçbirisi kesinleşmiş değildir. Günümüze kadar iyonizan ışınların ve ultraviyole ışınımının altındaki frekans düzeylerinde herhangi bir elektromanyetik enerji biçiminin kansere neden olduğu gösterilebilmiş değildir. (20) **Günümüzde** yük-sek frekanslı noniyonizan radyasyon yayan radyo, televizyon ve mikrodalga fırınları gibi araçların giderek yayılması nedeniyle konuya olan ilgi giderek arttığı için sık sık basının gündemine gelmektedir.

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar düşük manyetik alan etkisiyle değişik kanser risklerinde artım arasında zayıf bir bağlantı kurmaktadır. Kızartma makineleri, elektrik battaniyeleri yüksek voltaj hatlarınıninkine yakın manyetik alanlar oluşturmaktadır. Eğer böyle bir risk varsa evlerdeki araç ve gereçler daha büyük oranda etki yapabilecektir.

Kanser ve elektromanyetik alan etkilenimi arasında bağ kurmaya yönelik ilk **çalışmalar** elektrik işlerinde çalışanlarda ve evlerde potansiyel etkilenim riski olanlarda lösemi ile bağlantı **kurulabileceğini** ileri sürmüştür. (11,12) Ancak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu, gerçek bir etkilenimi gösterebilecek yeterlikte olamamıştır. (10 17) Elektriksel ve manyetik alanların bağışıklık sistemini, iç salgı sistemini, büyüme düzenleyici mekanizmaları etkilemektedir.

2. İyonlaştırıcı radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon gama ışınlan ve röntgen ışınlan gibi elektromanyetik radyasyon ve partikül radyasyonunu kapsamaktadır. Radyoaktif nüklidlerin yapay ve doğal olarak parçalanması olayına radyoaktivite denmektedir.

Radyoaktif materyalin aktivitesi birim zamanda nükleer disintegrasyon sayısı ile tanımlanmaktadır. Aküvite birimi becquerel (Bq) ile tanımlanır. Bir Bq saniyede bir disintegrasyona eşittir. Daha önceleri aktivite birimi olarak Curie kullanılırdı ve bir Curi saniyede 3.7×10^{10} disintegrasyona denktir. Aşağı yukarı 1 gram radyuma denktir.

İyonlaştırıcı radyasyon hücrelere penetre olma özelliği, atomlar arasında enerjinin random olarak birikimini sağladığı için biyolojik harabiyete neden olan değişikliklere yol açabilmektedir. Bu etkiler arasında serbest radikaller ve hidrojen peroksit gibi toksik materyaller sayılabilmektedir.

Radyasyonun absorbe olan dozu radyasyon etkisi altında kalan materyelin birim kütlesi başına düşen enerjidir. Absorbe olan doz birimi kilogram başına bir Joule dür. Bunun için Gy (gray) terimi kullanılmaktadır. Günümüzde en sık kullanılan eşdeğer doz birimi sieverttir. (Sv). Eski birim olan rem de kullanılmaktadır. Bir Sv 100 remdir. İyonizan radyasyonun Öldürdüğü hücrede en önemli hedef yapı DNA dır. DNA. DNA üzerindeki iyonlaştırıcı etkiye bağlı olarak (Doğrudan etki) veya 00 adlakallerince meydana getirilmektedir. Serbest radikaller ve hidrojen peroksit bu açıdan güzel bir örnek oluşturmaktadır. Sarmal harabiyeti. en Önemli etkileri oluşturmaktadır.

İyonlaştırıcı radyasyonun en belirgin gecikmiş somatik etkisini karsinogenesiz oluşturmaktadır. Bu etki altında kalan bireyde kanser gelişme durumunu etkileven bir çok etmen bulunmaktadır :

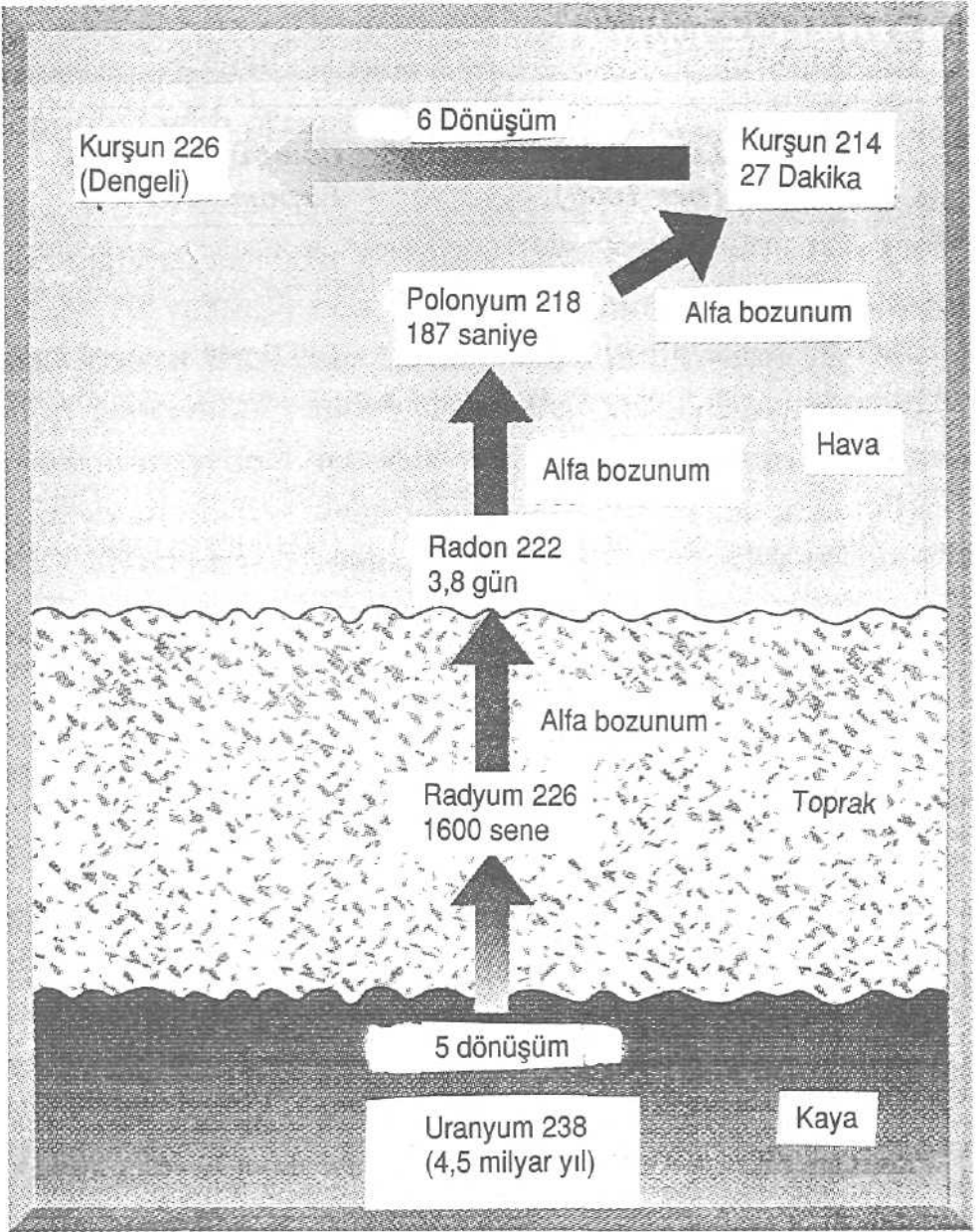
1. Radyasyonunun dozu ve yayılımı
2. Radyasyon kalitesi
3. Etkilendiđi sırada konakçının yaşı
4. Dokunun etkilenebilirlik derecesi
5. Cins
6. Genetik özellikler
7. Sigara içme
9. DiyetSEL alışkanlıklar
10. Birlikte kimyasal etkilenim olup olmaması.

BÖLÜM 2

RADON

Radon doğal olarak oluşan radyoaktif bir gazdır. Yerküre yüzeyinde herhangi bir yerde bulunabilir. Coğrafik bölgenin jeolojik yapısıyla yakından ilişkili olarak çevreye yayılım göstermektedir. Binalarda birikebilmekte ve kimi zaman-yüksek derişimlere ulaşabilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar radonun yüksek konsantrasyonda inhalasyonuna bağılı olarak akciğer kanseri riskinde önemli oranda artım olduğı ortaya çıkmıştır. Av-rupanın bir çok bölgesinde radon ikinci önemli akciğer kanseri nedenidir. (17,20)

Radon periyodik çizelgenin 0 grubunda (soy gazlar] yer alan kimyasal elementtir. Radon renksiz, kokusuz, tatsız bir gazdır. Havadan yedibuçuk kez, hidrojenden ise 100 kez daha ağırdır,-61,8°C derecede sıvılaşıır ve -71°C derecede donar. Daha çok soğutulacak olursa yumuşak sarı bir renk vererek parlak. Sıvı hava sıcaklığı olan -195°C derecede turuncu-kırmızı arası bir renk alır. Radyoaktif radyumun stabil özellikteki kurşuna dönüşümü sırasında meydana gelir. Radyum 226 nın bozunumundan yarı ömrü 3, 8 gün oları Radon 222 ortaya çıkar. Radon bozunarak alfa ışınımı ile Polonyum 218 e dönüşür. Polonyum 218 in yarı ömrü 3 dakikadır. Radon terimi bazan sadece Radon 222 için kullanılır. Diğer iki doğal izotopu Toron ve Aktinondur. Toron Radon 220 ve Aktinon ise Radon 219 dur. Radon 220 nin yarı ömrü 51,5 saniyedir. Toronun yan ömrü ise 3, 92 saniyedir



Şekil 2. Radon bozunum şeması.

Radon insan aktivitelerinden değil doğal süreçlerin sonucunda insana zarar verebilen çevresel etmenlerden birisidir.

Doğal radyoaktif elementler yerkürenin varlığından beri bulunmaktadır. Kısa yarı ömürlü olanlar kaybolmuşlardır. Ancak uzun yarı ömre sahip olan radyoaktif elementler varlıklarını sürdürmektedir. Bunlar arasında radonun ana elementi olan radyoaktif Radyum da bulunmaktadır.

Radyoaktivite Marie **Curi'nin** Radyum üzerindeki çalışmalarıyla bulunduktan sonra, doğal radyoaktivite ile ilgili olarak önemli boyutlarda bilimsel çalışma yapılmıştır. 1900 yılında fizikçi **E. Dorn** radyum tuzlarının radyoaktif radon gazı çıkardığını buldu.

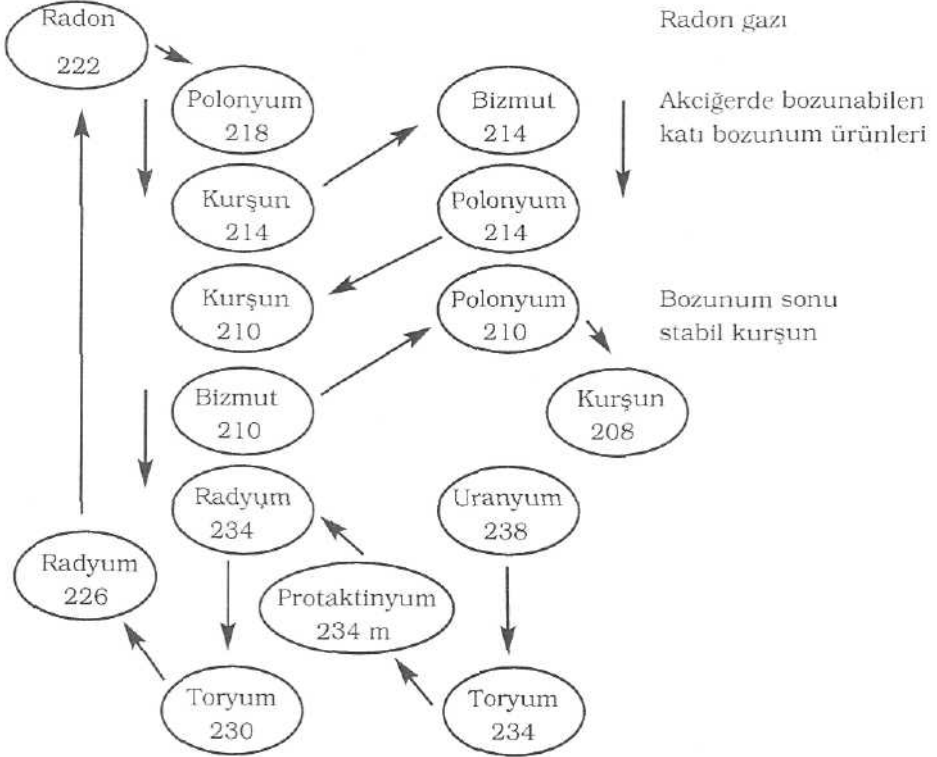
Radon atmosferde bulunan radyoaktif bir gazdır. u^{2a6} serisinden bir izotoptur. Ra^{226} **nın** radyoaktif bozunumu sonucu oluşmaktadır. (17.20) Parçalanmasıyla diğer radyoaktif elementlere ve daha sonra ise radyoaktif olmayan kurşuna dönmektedir. Biyosferde bol bulunur. Kimyasal açıdan neon, kripton, ksenon gibi nadir elementlerden birisidir. Radyum toprakta, kayalarda ve bazı inşaat malzemelerinde çok fazla miktarda bulunmaktadır. Radon diğer kimyasal elementlerle reaksiyona girmez. Bilinen en ağır gazdır. Yoğunluğu 0 C derecede 9. 72 g/l dir. Havadan sekiz kat daha ağırdır.

Topraktan havaya sızan radon önemli bir kapalı ortam kirletici faktör olarak belirlemektedir. Suda **eriyebildiğinden** bazen sudan havaya geçişi de olabilir. Normal atmosferde hava olaylarına bağlı olarak dilue olur ve düşük konsantrasyonlara ulaşır. Ancak kapalı ortamlarda veya radyoaktif su kaynaklarından oluşan kapalı havuz sistemlerinde yüksek konsantrasyona ulaşabilir.

İlk olarak Paracelsus 16. yy da gümüş madeninde çalışanların Almanya'nın Saksonya **Eyaletinin** Schneeberg kentinde daha yüksek oranda akciğer hastalığından Öldüğünü belirledi. Bu çalışmayı on yedinci ve on sekizinci yy da gümüş, bakır, kobalt madenlerinde çalışanlarla ilgili değerlendirmeler izledi. Bu hastalık 1879 yılında akciğer kanseri olarak **tanımlandı**.

1900 lü yıllarda radonlu sularda banyo yapmak sağlık açısından yararlı bir uygulama olarak kabul ediliyordu. Giderek radyum içeren bir çok ürün pazarlanmaya başlandı. **Çikolatalı** şekerlemeler, ekmeğe, diş macunu gibi ürünlere radon katılıyordu.(21) 1953 lü yıllara kadar ABİ de radyumlu kontraseptif jel **pazarlanmaya** devam edildi. Ölçümler ilk kez 1901 yılında Schneeberg madeninde yapıldı ve radonunun yüksek konsantrasyonda bu-

lunduğu belirlendi. Sonuçta o tarihten beri **radon-akciğer** kanseri ilişkisi ile ilgili kuramlar geliştirilmeye başlandı. 1920 li yuların başında aynı kent madenlerinde ve diğer maden ocaklarında yapılan daha kesin çalışmalar bu ilişkinin varlığını güçlendirdi. Özellikle Bohemya'da Jachymov bölgesinde maden yataklarında bu çalışmalar ayrıntılı olarak yapıldı. Bütün bu çalışmalara rağmen olayın kesin epidemiyolojik bağları kurulamamıştı. 1940 ı yıllarda uranyum maden etkinlikleri arttı. 1950 li yıllara kadar radon ölçümleri rutin hale gelemedi. 1950 li yıllarda yapılan hayvan deneyleri radonunun fareler üzerindeki kanserojen etkisinin belirlenmesini sağladı. 1960 lı yılların ortalarında gerçekleştirilen epidemiyolojik çalışmalar radonun insanlar üzerindeki potansiyel karsinojenik olasılığının yüksek olduğunu gösterdi. Maden ocaklarında yüksek doz radyumun bulunmasına bağlı olarak bronkojenik karsinoma geliştiğini ileri süren kaynaklar giderek artmaya başladı. (22-27)



Şekil 3. Radon bozunum ürünleri

1967 yılında ABD Federal Araştırma konseyi madenlerde radon etkilenimini azaltmaya yönelik önerileri yayınladı. Radonun yarattığı tehlike ile ilgili DSÖ ü 1988 yılında kesinlik kazandı. Ancak etkilenim-risk kesinleşmesiyle ilgili değerlendirmeler tam olarak yapılabilmemiş değildir. Ayrıntılı risk değerlendirmelerine olan gereksinim hala sürmektedir. Bunun belirlenmesi ayrıntılı korunma Önlemlerinin ortaya konulabilmesi açısından da çok büyük önem taşımaktadır. 1980 li yıllarda sadece uranyum madenlerinde değil kalay ve demir madenlerinde de radonla ilgili çalışmalar yapıldı. Ancak etkilenimin şiddeti, süresi, riskin miktarı kesin olarak belirlenebilmiş değildir.

BÖLÜM 3

RADON ETKİLENİMİNİN KAYNAKLARI

Toprakta büyük oranda doğal radyoaktif radon bulunmaktadır. Porlardan ve çatlaklardan sızabilmekte, çözünme özelliği nedeniyle suyla taşınabilmektedir. Topraktan radon salımım:

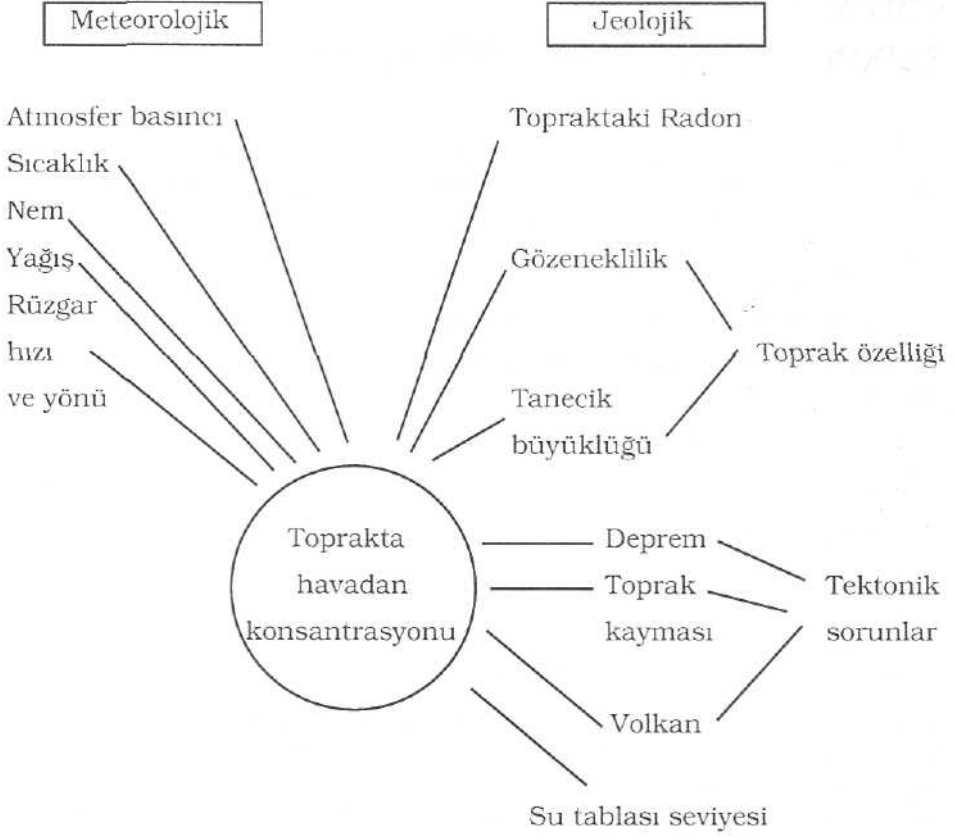
1. Toprağın permeabilitesi (dansite, porozite, granülometrik özellikleri)
2. **Durumu(kuruluk, suyla tıkanmış olma, donma, karla örtülü olma)**
3. Meteorolojik koşullar (Toprak ve hava sıcaklığı, hava basıncı, rüzgar hızı, rüzgarın yönü)
4. Bölgenin yüksekliği ile ilişkilidir.

Ayrıca:

1. Yeraltı suları
2. Doğal gazlar
3. Kömür
5. Okyanuslar sınırlı da olsa radon salınımı yapabilmektedir.

Yaygın olarak bulunan radonun değişik bölgelerde salınım bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Aynı yerleşim bölgesinde bile zamana bağlı olarak değişim söz konusudur. Sonuçta yeraltı kayalarının uranyum derişimi en önemli radon salınım nedenidir. Granit ve volkanik topraklar, tortul şistler en önemli radon kaynaklarını oluşturmaktadır. Sedimanter topraklarda ise konsantrasyonu düşüktür. Ancak bazı tebeşir çökelti bölgelerinde de radona rastlanılmaktadır.

İspanya kaplıcalarında yapılan değerlendirmelerde bir kaplıcada ölçülen su radon konsantrasyonu 824 Bq/l oda havasında ise 5000 Bq/lm³ ün üzerinde bulunmuştur. Bu nedenle ülkedeki bütün radyoaktif su kaynaklarının radon konsantrasyonunun Ölçülmesi, burada çalışan tüm elemanların ise radyasyona karşı koruyucu önlemler alınmaksızın çalıştırıl-maması gerektiği belirtilmektedir. (28)



Şekil 4. Radon konsantrasyonunu etkileyen meteorolojik ve jeolojik faktörler (IPSN, 29)

BÖLÜM 4

EVLERDE RADON

Konut insan hayatının Önemli bir bölümünün geçtiği yapay ortam **koşullarının** belirleyicisidir. Konutla sağlık arasındaki bağlantılar öteden beri bilinmektedir. **Günümüzde** kapalı ortam terimiyle konut içerisindeki kapalı **ortam** iklimi ve kirlenmesi, biyolojik etkilenmeler, değişik fizik travmalar söz konusu edilmektedir. Konut, işyerleri, kamuya açık yerlerin kapalı alan değerlendirmeleri açısından önemi büyüktür. Kapalı ortamda bir çok kirleticinin oranının, dış ortamdakinin çok üzerine çıktığı belirlenmiştir. Gelişmiş ülkelerde kapalı ortam hava kirliliği 1970 li yıllarda petrolün pahalalanması nedeniyle enerji harcanmasını **azaltmaya** yönelik önlemlerin alınmaya başlamasıyla artım göstermiştir.

Konutta ya da kapalı ortamda fiziksel zararlı etkenler arasında toksik gazları, solunabilir özellikteki asılı parçacıkları, asbest liflerini, radyasyon, (özellikle radon), noniyonizan radyasyon ve sigara dumanını sayabiliriz. Sigara dumanının içerisinde benzen, xilen, etil benzen, ve styren bulunmaktadır. Organik yükü fazla sularda kaynatıldığında, kloroform çıkmaktadır. Deodorantların ve mantar Öldürücülerinin içerisinde p-diklorobenzen bulunmaktadır. Bu durumda bir yandan dış ortamı kirleten öğeler ya da dış ortam kirliliği kapalı ortam havasını etkilerden, kapalı ortamda ki kullanılan araç gereç malzeme ve yaşama koşullarına bağlı önemli kirleticilerde bulunmakta, bunlar sürekli olarak birikmektedir. İnşaat malzemeleri, yanan yakıtlar, giyecek ve dokumalar, petrol ürünleri, pestisitler, toprak, değişik tüketim ürünleri, kimyasal maddeler, bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar kapalı ortam havasının kirlenmesine neden olabilmektedir, hayvanın tozlar, polenler ve mikroorganizmalarla kirlenebilmesi mümkün olabilmektedir. Endüstriyel olarak gelişmiş olan ülkelerde başlıca kapalı ortam kirleticisi olan öğeler Tablo 1 de sıralanmıştır:

Tablo 1. kapalı ortam kirleticilerinin kaynakları ve konsantrasyonları.

kirletici	kaynak	konsantrasyon sınırı
solunabilir parçacıklar	tütün dumanı, sobalar, spreyley, ocaklar	0.05-0.7 mg/m ³
karbonmonoksit	sobalar, ocaklar, gazlı ısıtıcılar	1-115 mg/m ³
nitrojen dioksit	gazlı ocaklar, sigara	0.05-1.0 mg/m ³
kükürt dioksit	yanma	0.02-1.0 mg/m ³
karbondioksit	solunum	600-9000 mg/m ³
formaldehit	halı yapıştırıcıları	0.06-2.0 mg/m ³
benzen, toluen vb.	solvent, yapıştırıcı, resinler, aerosol spreyley	0.01-1.0 mg/m ³
ozon	elektirik arki, uv ışık	0.02-0.4 mg/m ³
radon ve türevleri	İnşaat maddeleri	10-3000 bq/m ³
asbest	İzolasyon, yangın	14 lif/cm ³
mineral lifleri	değişik araç ve gereçler	100-10,000 /m ³

1984 yılında Pennsylvania, Boyer kentinde Limerick nükleer santralında teknik danışman olarak çalışmaya başlayan Stanley Watres radyasyon alarmıyla karşılaştı. Daha reaktör çalışmaya başlamamıştı. Watres'in elbiselerinin dikkatle değerlendirilmesi işyerinden değil dışarıdan bir kaynak-tan radyasyon aldığı ortaya çıkardı. Evindeki radyasyon seviyesi 3200 pCi/l idi ve bu değer EPA'nın kabul ettiği eylem seviyesi olan 4 pCi/l de-

ğerinin sekizyüz katma karşılık geliyordu. 1980 li yıllara kadar en yüksek ölçülen değer bu iken. daha sonra New Jerseydeki bir evde 3500 pCi/1 değeri ölçüldü. (30)

Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapıldı. Bazı evlerde çok yüksek konsantrasyonda radon bulunmasına rağmen fazla üzerinde durulmadı. Bunda sorunun söz konusu ölçüm bölgesine özel istisnai bir durum olduğunun düşünülmesiydi. Ancak 20 yıl kadar sonra tüm dünyada değişik ülkelerde geniş ölçekli sistematik çalışmalar başlatıldı.

Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığına giderek miktarı arttığından düşük dozda bile olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır. (17) Gelişmiş ülkelerde radon etkisinin azaltılmasına yönelik Önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır. (31) Ülkemizde evlerde radon ölçümüyle ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. Özellikle Özel toprak cinsleri ile sıvanmış kırsal kesim evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde: madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon yayınının söz konusu olduğu gösterilmiştir. (17)

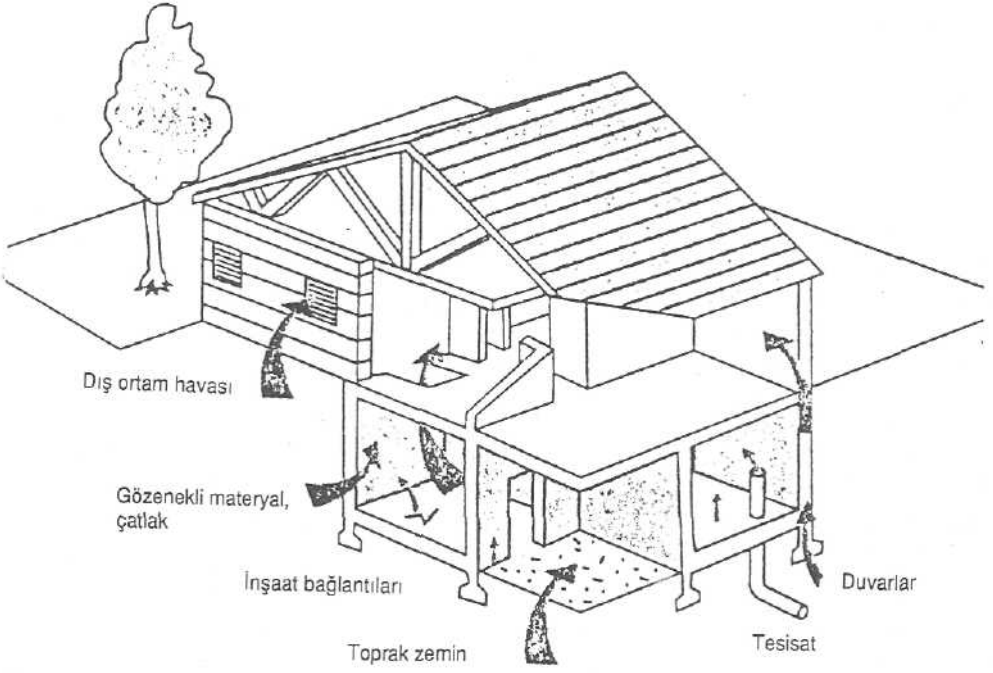
Ölçüm olmaksızın evlerde radon değerinin tahmini mümkün değildir. (32) Aynı ortamda bulunan evlerde bile farklı değerler elde edilebilmesi mümkündür. (17) New Jersey Halk Sağlığı Birimi akciğer kanserli 400 kadın ve 400 kontrolle ilgili olarak yaptığı karşılaştırmalı değerlendirmede litrede 2 pCi lik bir maruziyetin kanser riskini artırdığını belirlemiştir. (33) EPA litrede 4 pikokürlük değerini düzeltici çalışmaları gerektirdiğini belirtmektedir. (34,35) Sigara ve radonun aynı ortamda birlikte bulunması akciğer kanseri riskinin çok artmasına neden olmaktadır. (17,33) ABD de ölçülen her 12 evden birisinin radon değerinin 4 pCi/1 değerinin üzerinde olduğu belirtilmektedir. (20)

Evlerde bulunan radonunun büyük çoğunluğu evin yapıldığı yerdeki topraktan gelmektedir. Eğer zemin topraksa, radon kolayca penetre olabilmektedir. Eğer zemin çimento ise radon zamanla oluşan çatlaklardan sızmaktadır. Ayrıca su boruları, tesisat duvar arası boşluklar radonun sızmasını kolaylaştırmaktadır.

Eğer radyoaktif materyalden yapılmışsa duvardan da radon yayımlanabilmektedir. Özellikle volkanik kayaların kullanıldığı inşaat malzemesi, eğer radon içermekte ise musluk suyu da evlerde bulunan radonun kaynağını oluşturabilmektedir. (29)

Radon gazı evlere:

1. Toprak ve kayalardan evlerin zemin katlarına
2. Yeraltı sularında eriyerek kuyular aracılığıyla
3. Radonlu materyalden yapılmış briket vb. malzeme kullanıldığında evlere girmektedir. (21)



Şekil 5. Evlere radonunun girişi (IPSN, 29)

Sağlam çimento duvarlardan radonunun yayılımında başlıca mekanizma difüzyondur. (36) Kullanılan çimento karışımıyla **bağlantılı** olarak radon miktarı değişmektedir. Evin içerisine sızan radon **evin** içinde kalma eğilimindedir. **Çünkü** radon **havadan** ağırdır ve yerde genellikle 50 santimetre mesafede kalma eğilimindedir, ayrıca özel bir mekanizma söz konusu değilse evin içerisindeki basınç dışarıdaki basınçtan biraz daha düşük olma eğilimindedir. Bu nedenle kapalı ortamdaki hava binada kalma eğilimindedir. Ancak yapını sırasında doğal havalandırma mekanizmalarının kurulması, yeterince havalandırma ile bu **durum** önlenabilmektedir. Günümüzde petrol krizinden sonra artan bina yalıtım **eğilimi** söz konusu basınç **farkının** daha da artmasını sağlamaktadır.

Taban tahta döşemesinin altına çakıl ve kırma taş yerleştirilmesi durumunda radon konsantrasyonunda büyük oranda artım olduğu gösterilmiştir. (37,38) Yapılan çalışmalar açık havada yapılan Ölçümün gerçek oranda radon kirliliğini göstermediği, ancak kapalı ve oda ortamını andıran düzeneklerde yapılan ölçümlerle fikir sahibi olunabileceği belirtilmektedir.

Japon evlerinde **toryum** konsantrasyonu ortalama kapalı ortam değeri olarak 15 Bq/m^3 . sınırlar işe $0,04-8,2 \text{ Bq/m}^3$ bulunmuştur. (39) Standartize aktive kömür kutularıyla Hong Kongta değişik yaşlardaki 32 binada yapılan değerlendirmede radon emisyonunun binanın yaşıyla azaldığı sonucuna varılmıştır. [40]

Değişik ülkelerde radon ölçüm değerleri Tablo 2 de verilmiştir. (29)

Tablo 2 : Değişik ülkelerde radon ölçüm değerleri.

Ülke	Örnek hane sayısı	Ortalama (Bq/m ³)	200 Bq/m ³ ün üzerindeki hane sayısı	400 Bq/m ³ ün üzerindeki hane sayısı
Avusturya	3499	75	19	7, 4
Belçika	300	48	1, 7	0. 3
Bulgaristan	841	28	2, 4	0
Çek Cumhuriyeti	75000	140	32	11. 3
Danimarka	495	47	2, 2	0. 4 den az
Almanya	7500	50	1, 5-2, 5*	0. 5-1, 0*
Finlandiya	50 000	123	12, 3	3. 6
Fransa	6878*	68*	5, 8*	1, 8*
Yunanistan	571	92	3. 3	1, 4
Macaristan	1000	55	17	4
İrlanda	6211	60	17, 5	7, 7
İsrail	17000*	*	5 ten az	-
İtalya	4800	77	5	1
Litvanya	120*	37*	4*	1. 7*
Lüksembourg	2500	*	-	-
Norveç	7525	51-60	7	2, 5
Hollanda	1-000	29	0. 1	0. 01
Polonya	5 ten az	0	-	-
Portekiz	4200	SI	8. 6	2. 6
Romanya	-	-	0. 9	0. 4
İspanya	239	-	6, 46	2, 84
İsveç	350 000	108	25*	4-5
İsviçre	9000	70	15	7
İngiltere	270000	20	8	2. 5

"Çalışma sürmektedir.

BÖLÜM 5

RADONUN SAĞLIK ETKİLERİ

Radon özellikle uranyum madenlerinde çalışanlarda 100 WLM seviyesinde bronkojenik kansere neden olan bir bozunum ürünüdür. Yapılan **çalışmalar** 50 WLM seviyesinde de bu tip kanserlerin meydana gelebildiğini göstermektedir. Madenlerde çalışanlarda radon etkilenime bağlı akciğer kanser riskinin arttığını gösteren epidemiyolojik çalışmalar özellikle kapalı ortamda radon kirliliği ile ilgili endişelerin artmasına neden olmuştur. Ancak hayvan deneyleri ve epidemiyolojik çalışmaların yapılmasına kadar radonla ilgili kesin bir risk değerlendirme şansı olmamıştır. Günümüze kadar yapılan hayvan deneyleri ve epidemiyolojik değerlendirmeler radonla akciğer kanseri arasında doğrudan ilişki kurulmasını sağlamıştır. **İsveçte** demir madeni ve Çin'de kalay madenlerinde çalışan işçiler uranyumdan zengin jeolojik tabakalardan geçerken ileri derecede radon etkileniminde kalmaktadırlar. On yıllarca süren bu etkilenimle ilgili değerlendirmeler madencilerde akciğer kanser riskinin artımının söz konusu olduğunu göstermiştir.

Madencilerin etkilenimi çalışma düzeyi (WL) $1,3 \times 10^5$ MeV potansiyel alfa enerjisi salan herhangi bir radon ve türevleri karışımıdır. WLM değeri ise **170** saatlik çalışma ayında 1 WL değerinin sürekli etkisinde kalmadır. Evlerde 1 WL 200 pCi/L değere karşılık gelmektedir. (6) EPA evsel etkilenimle ilgili olarak 4 pCi/L radon konsantrasyonlarında ve üzerinde giderici çalışmaların yapılmasını gerekli görmektedir. (61,62)

Ancak bu değerlendirmelerle ilgili bazı sorunlar bulunmaktadır:

1. Madenci çalışmaları genellikle erişkin çağda göreceli olarak sınırlı süre ve dönemlerde etkilenim altında kalan erkek madencilerde **yapılmıştır**.
2. Madenciler tozlu ortamda çalışmak gibi akciğer kanser riskini artıran diğer faktörlerle de karşılaşmaktadırlar.
3. Madencilerin büyük çoğunluğu ağır sigara içicisidirler.
4. Etkilenim zamanındaki yaşın etkisi bilinmemektedir.
5. Belirli bir etkilenim düzeyinde hesaplanan risk çalışmanın tipine göre 3 kata kadar varan değişim göstermektedir.
6. Süre ve etkilenim şiddeti arasındaki ilişki kesin olarak ortaya konamamıştır. Yani 400 Bq/m^3 lük bir doza on yıl etkilenimin bir yıl 4000 Bq/nr^3 doza eşdeğer olup olmadığı bilinmemektedir. Radon hızlı bozunur. So-

nuçta meydana gelen ürünler kendisini havadaki parçacıklara bağlar. Bu parçacıklar solunum sistemiyle alındığında bronşiyal ağacın değişik kademelerine kadar ilerler. Radyoaktif parçalanma süreci burada sürdüğünden, alta parçacıkları yaymayı sürdürürler. Alfa parçacıklarının penetrasyon güçlerinin az olmasına rağmen bronş ve bronşiyollerin yüzeysel hücrelerine penetre olabilecek yeterlidir.

ABD de bütün kanser ölümlerinin %10-12 sinin evsel radon etkilenimine bağlı olduğu belirtilmektedir. (41,61,62) **Radon** etkilenimine bağlı olarak ABD de her yıl 20 000 akciğer kanseri olduğu hesaplanmaktadır. (21,42) Ancak yapılan bir değerlendirmede sigara ve radon etkileniminin bir arada yaptığı etkinin belirlenmesi aditif ve çoğaltıcı bir ilişkinin bulunduğu sonucunu vermektedir. (32) Sigara ve radonunun birlikte etkilemesi tek tek yaptıklarından en az on kat daha fazla oranda akciğer kanserine neden olmaktadır. (21,42) Radonla ilgili olarak hesaplanan risk Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3: Radonla ilgili olarak hesaplanan risk (Risk 70 yıl süre ile, zamanının %75 ini evde geçiren kişiler esas alınarak hesaplanmıştır) (43)

Düzyey(Pci/L)	Akciğer kanseri ölümleri (binde)	Karşılaştırmalı diğer etkilenim değerleri	Karşılaştırmalı Risk
200	440 - 70	Dış ortamın bin katı Sigara içmeyenlerin 60 katı, günde dört paket sigara içen kişi	
100	270 - 630	Ortalama iç ortam seviyesinin 100 katı	Yıllık 20000 akciğer grafisi
40	120-380		Günde iki paket sigara içilmesi
20	60-210	Ortalama dış ortam seviyesinin 100 katı	Günde bir paket sigara içilmesi
10	30-120	Ortalama iç ortam seviyesinin on katı	Sigara içmeyen bir kişinin 5 katı
4	13-50	Ortalama dış ortam seviyesinin 10 katı	Yılda 200 akciğer filmi
2	7-30		Sigara içmeyenlerin akciğer kanserinden ölüm riski
1	3-13	Ortalama iç ortam seviyesi	Yılda 20 akciğer filmi
0,2	1-3	Ortalama dış ortam seviyesi	

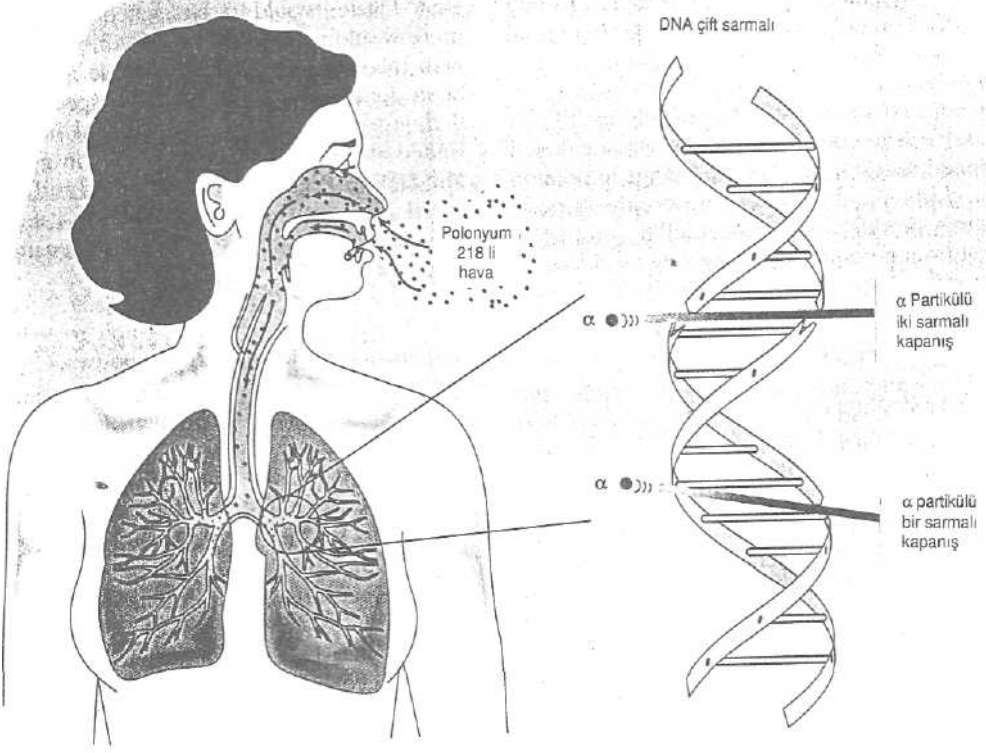
Evsel radon **etkilenimiyle** akciğer kanseri arasında az. istatistiksel olarak önemsiz bir risk artımı olduğunu ileri süren yayınlar da olmakla birlikte (43) ilişkinin yasal düzenlemelerle gerekli önlemlerin alınmasını gerektirecek kadar **kuvvetli** olduğunu gösteren kanıtlar daha güçlüdür.

Radyasyon etkisinde kalan hücreler aldıkları radyasyon enerjisine bağlı **olarak** canlılıklarını yitirebilir, sterilize olabilir veya **mutasyona** uğrayabilir. Bu mutasyona bağlı olarak meydana gelen kanser süreci diğer karsinogenlerin neden olduğu sürecin hızlanmasına da neden olabilir. Bronşiyal ağaçta yapılan ölçümler iç duvarda birikimin daha yüksek olduğunu göstermiştir. (44)

Radona bağlı olarak meydana gelen risk dozla artar. Etkilenimin şiddetine ve etkilenim süresine bağlıdır. Bu parametreler **miktarı** belirler. Bu parametreler bronşiyal hücreleri etkileyen alfa parçacık miktarını belirlemektedir.

Toplumun büyük bir kesimi kapalı ortam nedeniyle radon etkilenimiyle karşılaşma riskine sahipse, kapalı ortam ölçümleri ve buna bağlı etkilenim tahminlerine dayanılarak yapılan epidemiyolojik değerlendirme ve izlemler özellikle önem taşımaktadır.

Radonun akciğer kanseri etkisi doğrudan radonun kendisine değil bozunum ürünlerine bağlıdır. (29)



Şekil 6: Polonyum 218 in akciğerlerde birikimi sonucu meydana gelen alfa parçacıkları bir veya iki DNA sarmalını koparmakta ve bu mutasyon başlamış olan kanserojen etkilerin hızlanmasına veya yeni bir sürecin başlamasına neden olmaktadır. (21)

Lösemi, böbrek kanseri, malign melanoma ve diğer kanserlerin de kapalı ortam radon kirliliği ile ilişkili olabileceğini ileri süren görüşlerde bulunmakla birlikte bu konuyla ilgili madenci değerlendirmeleri söz konusu görüşleri desteklememiştir. (45)

Kurşun, radon, tütün dumanı, asbest, pestisitler. cıva. karbon monoksit ve elektromanyetik alanların çocuklar üzerinde daha yıkıcı etkisi olacağını ileri süren görüşler bulunmaktadır. {46}

Hiroşima ve Nagazakiden sonra yaşayan kişilerin kapalı ortam radon etkilenimini belirlemek üzere yapılan bir çalışmada iki kentte de düşük etkilenim bölgelerinde akciğer kanserinden ölüm oranlarında istatistiksel olarak herhangi bir farklılık bulunmamıştır. Ancak görünür değerler Hiroşima için daima Nagazakinin üzerinde çıkmıştır. Bunda atom bombasının ve radon etkileniminin akciğer kanseri yönünden birbirini artırıcı bir yön olabileceği sonucu çıkarılmaktadır. (27)

BÖLÜM 6 RADON ÖLÇÜMÜ

Radon kapalı ortamda çevreye yayıldığına giderek miktarı arttığından düşük dozda bile olsa etkisi açısından tehlikeli olabilmektedir. Çevrede ve toprak tabanda bol miktarda bulunmaktadır. (18) Gelişmiş ülkelerde radon etkisinin azaltılmasına yönelik önlemleri açıklayan halka yönelik kaynaklar hazırlanmıştır. (19) Ülkemizde evlerde radon ölçümüyle evlerinde, yine toprak tabanlı evlerde bu ölçümlerin yapılmasının yararlı olacağı açıktır. 1980 yılında gelişmiş ülkelerde başlatılan çalışmalar, bazı evlerde; madenler için izin verilen miktarın üzerinde radon yayılımının söz konusu olduğu gösterilmiştir. (18)

Radon konsantrasyonunun ölçümüyle ilgili bir çok araç, gereç ve yöntem vardır. Bunların hemen büyük çoğunluğu alfa parçacıklarının ölçümü esasına dayanır. Bu araçlarla değişik bozunum aşamalarında ortaya çıkan alfa parçacıklarının miktarı ölçülür. Belirli bir bölge veya ev için genel bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu yolla binaya radon giriş bölgeleri belirlenir. Bu yolla düzeltici önlemlerin alınması mümkün olur.

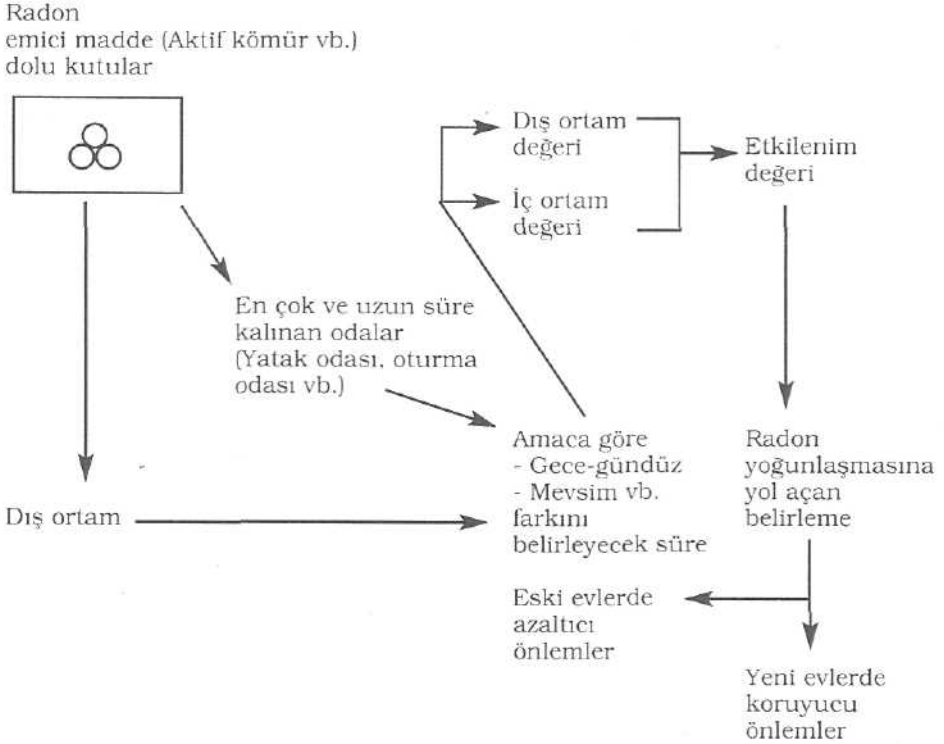
Riskin genel değerlendirmesini sağlayan yöntemler 20 dolarlık bir maliyete sahiptir. (29) Oldukça etkili olan bu araçlar özellikle oturma ve yatak odaları üzere kişilerin uzun süreli olarak oturdukları yerlere konur. Değerlendirme önceliği olan diğer bina bölümleri ise atölyeler ve bürolardır. Nadiren havalandıran ve kullanılan yerlerle, bodrumlara konulmaması gerekir. Çünkü burada yapılan ölçümler gerçek insan etkilenim sonuçlarını yansıtmayacaktır.

Havada radon ve bozunum ürünlerinin ölçümüyle ilgili bir çok farklı teknik vardır. Havanın aktif veya pasif olarak alınışına göre iki gruba ayrılabilir. Yani herhangi bir pompa kullanılmaksızın ya oda elektriksel güç kaynağı kullanılarak örnek alınabilir.

Tek ölçümlü teknikte dakika ile ölçülebilir sürelerde ölçüm yapıldıktan sonra sonuç mümkün olan en kısa sürede değerlendirilir. Sürekli ölçüm tekniği ile ise analiz eş zamanlı olarak veya kısa bir süre geçtikten sonra yapılır. Entegre ölçümler ise günler veya bir yıl ölçümden sonra yapılmaktadır. Süreninin uzunluğu oranında zamana bağlı değişimlerin genel etkisi daha kolay belirlenir. (29.48,49,50,51,17)

Kapalı ortam ölçümlerinde kullanılan aktive kömür kutularında su buharı etkisine bağlı olarak emilişin azalabileceği görüşleri doğrulanmamıştır. (52)

Radon ölçümüyle ilgili daha karmaşık yöntemler de vardır. Bunlardan birisi difüzyon katsayısının hesaplanmasıdır. (53)



Şekil 7: Radon Ölçümü

BÖLÜM 7

RADONLA İLGİLİ OLARAK ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Bazı Avrupa ülkelerinde yıllık radon konsantrasyonundaki azalım hedefleri Tablo 4 de gösterilmiştir

Tablo 4: Bazı Avrupa ülkelerinde evlerde yıllık ortalama radon kirliliğinde azalım hedefleri (29)

Ülke	Evlerde varolan	Gelecekte evlerde
Çek Cumhuriyeti	200	200
Finlandiya	400	200
Almanya	250	250
İrlanda	200	200
İsrail	200	-
Litvanya	100	50
Lüksemburg	250	250
Norveç	200	200
Polonya	400	200
İsveç	400	140
İsviçre	1000	400
İngiltere	200	200
Avrupa Topluluğu	400	200

Avrupa topluluğu ile ilgili değerlendirmeler ortalama bir Avrupa vatandaşının her gün 19,2 saatini kapalı ortamda geçirdiği (zamanının %80 ini) varsayılarak hesaplanmıştır.

Ev inşaatından Önce radonla ilgili risk göz önüne alınmalıdır, özel kapalı ortam koşullarında bölgedeki radon emisyonunun ölçülmesi gerekmektedir-

dir. Radon ölçümlerinin **mevsimsel**, zamana bağlı hatta gece ve gündüz farklılıklarını da gösterecek biçimde yapılması gerekmektedir.

Konut hijyeni açısından havalandırmanın önemi tartışılmaz. Kapalı ortam kirliliğinin önlenilmesi açısından da bu çok büyük önem taşımaktadır. Havalandırma kapalı ortam radon kirliliğinin azaltılmasına da önemli boyutta katkıda bulunmaktadır. Evin aynı zamanda ısıtılması gerekir. Evin ısıtılması evin içinde zemine göre negatif bir basınç yaratmaktadır. Bu etkiye bağlı olarak binanın içerisine radonunun girmesi kolaylaşmaktadır.

Radonla ilgili sorunun çözümü iki önemli zorunluluk arasındaki bu çelişkinin dengelenmesinden ibarettir.

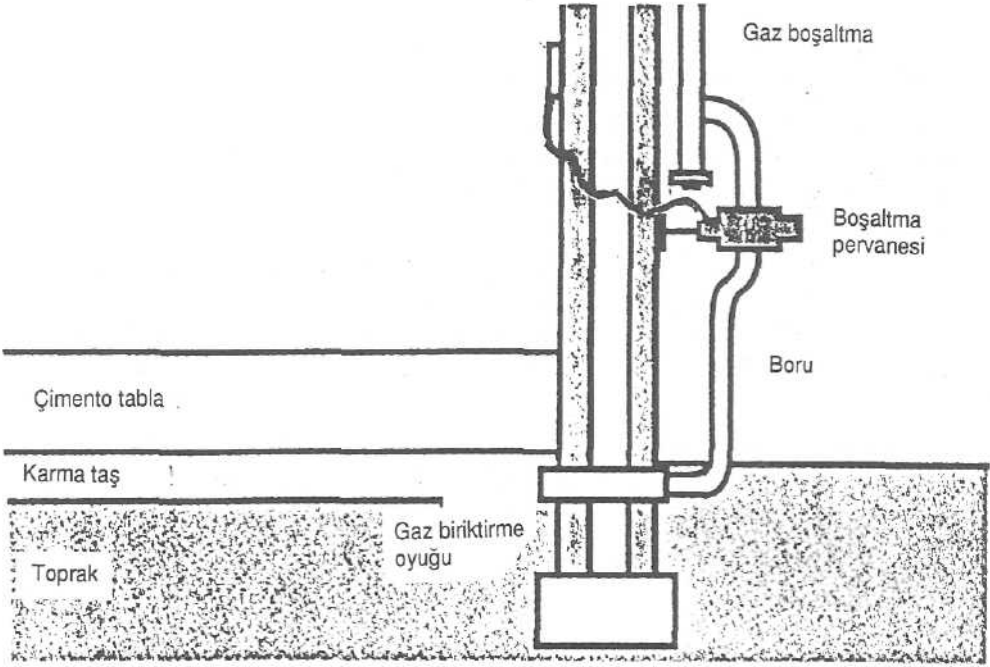
Üst camların açılması baca etkisi yapmaktadır. Sonuçta sıcak hava çıkmakta ve zeminden soğuk havanın girmesini sağlamaktadır. Bu nedenle evin havalandırmasında üst pencerelerin yerine alt pencerelerin açılması tercih **edilmelidir**. Zemin katlara pasif havalandırıcılar da takılabilir.

Bacalar ve aktif havalandırıcılar da tabandan radon **alımını** engelleyici etki yapmaktadır. Girişi zeminden yeterince yüksek ve yeterli akım hızına sahip girişlerden yapılmalıdır. Soğuk havanın zeminden alındığı sistemler engellenmelidir.

İlk adım değişik yerleşim yerlerinde ve kullanılan bina teknolojisine göre radon kirlilik düzeyinin ölçülmesidir. Radon kirliliğinin yüksek olduğu binalarda nedene yönelik değerlendirmeler alınması gereken koruyucu önlemleri de birlikte getirecektir. Bu önlemler arasında:

Tabanlar ve tavanlarla duvarların birleşim yerleri, su sistemleri ve boruların giriş çıkış yerlerinin iyice tıkanması gerekir. Tabanın toprak olması durumunda üzerine poşetlenen bir naylon örtüldükten sonra çimento dökülmesi en uygun yöntemdir. Köy evlerinde bu yöntem yararlı olabilir.

Zeminden binanın içerisine radonun girmesini engelleyecek en önemli uygulamalardan birisi binanın üst bölümlerinden aşağı bölümlerine doğru basınçlı havanın üflenmesidir. Ancak bu sistemin teknik tüm ayrıntılarının dikkatle değerlendirildikten sonra etkili olabileceği unutulmamalıdır. Bu önlemlerin yetmemesi durumunda özel havalandırma **sistemleri** gerekmektedir. (54-59)



Şekil 8: Evlerde alınacak en etkili önlemlerden birisi temele yapılacak küçük bir çukur yapılması ve düşük güçlü bir elektrik motoru ile bu çukurun havasının boşaltılmasıdır. (15)

Alınması gereken Önlemler Özetlenecek olursa:

1. Giriş çatlaklarının ve yerlerinin tıkanması (geçirgen olmayan bir çimento tabakasıyla toprağın örtülmesi),
2. Hava akımının bina içerisinden toprağa doğru olmasının sağlanması.
3. Suyun radon kapsamının azaltılması (suyun havalandırılması, karbon filtrelerden geçirilmesi],
4. Radyoaktif içeriği düşük materyal kullanılması,
5. Havanın süzülmesinde elektrostatik presipitasyon yapan temizleyiciler mekanik filtreler, negatif iyon jeneratörü tipi temizleyiciler kullanılması
6. Yeni inşaatların yapımında radon kapsamı az olan materyalin kullanılması.
7. Havalandırma sisteminin duvarın üst seviyesinden havayı atıp, alt seviyeden hava almak içimindeki döngüsünün tersine çevrilmesi. Tabana yakın olan radon gazının oda atmosferinin üst tabakalarına çıkmasının engellenmesi
8. Binalarda doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmesi.
9. Eğer alman temsil edici örneklerde bölgede radon kirliliği tehlikesi yüksekse toplum bireylerinin kendi ev radon izlemelerini yapma yönünde özendirilmeleri. Radon emici cihazların ölçümünün yaptırılacağı merkezlerin kurulması. Ölçüm bedelinin radon absorban satış bedeline eklenerek toplum katılımının sağlanması gerekir.
10. Ulusal veya bölgesel kartografik çalışmalar aracılığıyla veri eksikliği veya yetersizliği olan bölgeler sürekli izlenmelidir.
11. Konuyla ilgili olarak yeterli bir risk iletim ağı kurulmalıdır. Toplum bireylerinin duyarlılığı arttırılmalıdır.
12. Radon konsantrasyonu yüksek bölgelerde toprak tabanlı kırsal kesim evlerinde tabana polietilen bir örtü serildikten sonra üzerine çimento dökülmelidir.

Literatürde değişik radon azaltma tekniklerinin karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. (56}

Radon konsantrasyonu yüksek binalarda alınması gereken önlemler ve etkileri Tablo 5 de özetlenmiştir:

Tablo 4: Radon konsantrasyonu yüksek binalarda alınacak önlemler ve etkileri (29'dan] USEPA)

Yöntem	Uygulama maliveti	İşletim maliveti	Maksimum azaltıcı etki	Açıklama
Doğal havalandırma				Çabuk sonuç veren etkili bir yöntem
Zeminkat, taban kat	minimal	yüksek, çok yüksek	% 90 ve üzeri	
Bodrum Nabız biçiminde havalandırma	minimal	orta	% 90 veya üzeri	Doğal ventilasyondan daha iyi kontrol edilebilir.
Zemin veya taban kat	düşük, orta	çok yüksek	% 90 veya üzeri	
Bodrum Sıcaklıkla birlikte havalandırma	düşük, orta	orta	% 90 veya üzeri	
Ventilasyon kanallarından	orta, yüksek	düşük, orta	% 50-75	Hava alımı ve atılması eşit olmalı. Yüksek havalandırma hızına sahip binalarda bu sistemle radon azaltımı daha az olacaktır.
Duvardan takılan	düşük, orta	düşük, orta	veri yok	
Toprak zeminin örtülmesi	orta, yüksek	düşük	bölgeye bağlı	Diğer yöntemlerin etkinliğini artırmak için gerekir.
Çatlak ve açıklıkların kapatılması	minimal, yüksek	-	Bölgeye bağlıdır	Diğer yöntemlerin etkinliğini artırmak için gereklidir.
Havalı yer altı borusuyla çekme	orta, yüksek	düşük	% 99 ve üzeri	Açık bir halkasal sistemden sürekli ise daha etkili
Zemin altı çekme	Yüksek	Düşük	% 99 ve üzeri	Zemin altında çok geçirgen bir toprak veya birikinti varsa işlevi yüksek

KAYNAKLAR

1. Tacher, Alyce Bezman, Principles and Practice of Environmental Medicine, Penum Medical Book Company, New York and London, 1991.
2. Moeller. D. W. Environmental Health, Harvard University Press. Cambridge, London. England, 1992.
3. Güler, Ç. Çevre ve **Sağlık** Üzerine Etkileri. Sağlık. Toplum ve Çevre Bülteni, 1, 3, 3 - 8. Mart 1991
4. Güler, Ç. Çevre ve Sağlık, Tıbbi **Dokümantasyon** Merkezi Yayınları, ISBN - 975 - 7431 - 01 - X Ankara, 1992
5. Güler, Ç. Çevre Hekimliği, Sağlık, Toplum ve Çevre Bülteni, 4, 37, 1 - S, Ocak 1994.
6. Last, J. M. , Wallace. R. B. Maxcy - Rosensu - Last Public Health And Preventive Medicine, Appleton Lange, Newyork, 1992.
7. Güler. Ç. Ekoloji, Sağlık ve Sosyal Yardım Vakfı. Dergisi, 1, 3. (2 - 6), Temmuz 1991.
8. Nebel, B. J. Environmental Science, Third Ed. , Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990,
9. Güler, Ç. , Çobanoğlu, Z. Elektromanyetik Radyasyon, SB, Ankara, 1994.
10. Heah, Clark W. Electromagnetic Field Exposure and Cancer: A Review of Epidemiological Evidence, CA-A Cancer Journal For **Clinicians**, 46, 1, Jan-feb, 29-44, 1996.
11. Milham, S. Jr., Mortality from Leukemia in Workers Exposed to Electrical and Magnetic Fields, N. EnglJ. Med, 307, 249. 1982.
12. Wertheimer N, Leeper, E. Electrical Wiring Configurations and Childhood cancer, Am J Epidemiol 109, 273-284, 1979.
13. National Radiological Protection Board, Electromagnetic Fields and the Risk of Cancer, Documents of The NRPB, 3. 1. 1992.
14. Sağan, L. A. , Epidmiological and Laboratory Studies of Power Frequency Electric and Magnetic Fields, JAMA, 268, 625-629. 1992.
15. US Congress, Office of Technology Assessment; Biological Effects of Power Frequency Electric and Magnetic Fields, Background Paper (OTA-BP-E53) Washington DC, Government Printing Office, 1989.

16. Monson, RR. Epidemiology and Exposure to Electromagnetic Fields. *AmJ Epidemiol*(Editorial), 307, 884-885, 1993.
17. Harley, N. H. Harley, J. H. Potential Lung Cancer Risk From Indoor Radon Exposure. *Ca, A Cancer Journal for Clinician*. 40. 5, 265-275. Sept/Oct, 1990.
18. NCRP : Evaluation of Occupational and Exposures to Radon and Radon Daughters in Md, National Council on Radiation Protection, 1984.
19. EPA, Radon Reduction Methods, A Home Owners Guide. US Environmental Protection Agency Report EPA - 86 - 005. Nasington DC. Environmental Protection Agency, 1986.
20. Harley, N. H. , Harley, J. H . Potential Lung Cacer Risk From Indoor Radon Exposure, *Ca, A Cancer Journal for Clinician*, 40, 5, 265 - 275, sept/oct, 1990.
21. Botkin, D. . Keller. E. *Environmental Science*, John Willey Sons, 1988.
22. B. Cooke, T. F. *Indoor Air Pollutants, A. Literature Review, Reviews on Environmental Health*, 9. 3. 1991
23. NCRP : Evaluation of Occupational and Exposures to Radon and Radon Daughters in the United States, National Council on Radiation Protection Report No. 78, Bethesda, Md, National Council on Radiation Protection, 1984.
24. Hornung R. W. Meinhardt, T. J. Quantitati ve Risk Assesment of lung Cancer in US Uranium Miner, *Health Phys* 53:417-430, 1987.
25. Muller, J. Kusiak, R. Ritchie A. C. Factors Modifying Lung Cancer Risk in Ontario Uranium Miners, 1955-1981. Ontario Ministry of Labour Report, Toronto, Ministry of Labour, 1989.
26. Sevi, J. Kunz E. Tomasek L, et al, Cancer in Man After Exporsure to Rn Daughters. *Health Phys* 54, 27, -46, 1988.
27. Yonehara H; Aoyama T; Radford EP; Kato H; Sakanoue M, Radon concentrations in Residential Housing in Hiroshima and Nagasaki. , *Health Phys*. 1995 May. 68(5). P 683-8.
28. Soto J; Fernandez PL; Quindos LS; Gomez-Arozamena J, Radioactivity in Spanish Spas. *Sci Total Environ*. 1995 Jan 27. 162(2-3). P 187-92.

29. Bard, D. . Tirmarche, D. , Radon, WHO, Regional Office for Europe, March, 1996.
30. Nero, A. V. Jr. Controlling indoor Air Pollution. Scientific American, 258(5), 42-48, 1988.
31. EPA, Radon Reduction Methods, a Home Owners Guide. US Environmental Protection Agency Report OPA-86-005. Wasington DC. Environmental Protection Agency. 1986.
33. Schoenberg, J. Klotz, J. A Case Control **Study** of Radon and Lung Cancer Among New Jersey Women, New Jersey State Department of Health Technical Report. Plase
34. EPA indoor Air Quality Implementation Plan, Washington, D. C. EPA/600/6-87/002A. 1987.
35. Kerr, R. A. The Deadliest **Pollutant**, 240, 606-608. 1988.
36. Renken KJ; Rosenberg T. **Laboratory** Measurements of The Transport of Radon Gas Through Concrete Samples, Health Phys. 1995 Jun. 68 (6). P 800-8.
37. Robinson AL; Sextro RG, The influence of a Subslab Gravel Layer and Open Area on Soil-Gas and Radon Entry into Two Experimental Basements. , Health Phys. 1995 Sep. 69(3). P 367-77.
38. Ennemoser O; Oberdorfer E; Brunner P; Schneider P; Purtscheller F; Stingl V; Ambach W, Mitigation of Indoor Radon in An Area **with** Unusually High Radon Concentrations. Health Phys. 1995 Aug. 69(2). P 227-32.
39. Yamasaki T; Iida T. Measurements of Thoron Progeny Concentration Using a Potential Alpha-Energy Monitor in Japan. Health Phys. 1995 Jun. 68(6). P 840-4.
40. Yu KN; Chan TF; Young EC, The Variation of Radon Exhalation Rates from Building Surfaces of **Different** Ages, Health Phys. 1995 May. 68(5). P 716-8.
41. Lubin JH; Steindorf K, Cigarette Use and The Estimation of Lung Cancer Attributable to Radon in The United States. Radiat Res. 1995 Jan. 141(1). P 79-85.
42. USA, Environmental Protection Agency, Radon Measurement in Schools, EPA 520/1 89-010Office of Radiation Programs, Washington, D. C. 1989.

43. Alavanja MC: Brownson RC: Benichou J: Swanson C: Boice JD Jr, Attributable Risk of Lung Cancer in **Lifetime** Nonsmokers and Long-terra Ex-smokers . *Cancer Causes Control*. 1995 May. 6(3). P 209-16.
44. Kinsara AA: **Loyalka** SK; Tompson RV; Miller WH: **Holub RF**, Deposition Patterns of Molecular Phase Radon Progeny (218Po) in Lung Bifurcations. . *Health Phys*. 1995 Mar. 68(3). P 371-82.
45. Axelson O. Cancer Risks ironi Exposure to Radon in Homes., *Environ Health Perspect*. 1995 Mar. 103 **Suppl** 2P 37-43.
46. Little DN, Children and Environmental Toxins.. *Prim Çare*. 1995 Mar. 22(1). P 69-79.
47. UNSCEAR. Report of The General Assembly **with** Scientific Annexes. Newyork, UNSCEAR. 1993.
48. Hughes, J. S. . O'Rirdan, M. C. , Radiation **Exposure** of the UK Population, Chilton, National Radiation Protection Board. NRPB-R263, 1993.
49. Scarpitta SC. A Theoretical Model for 222Rn Adsorption on Activated Charcoal Canisters in Humid Air Based on Polanvi's Potential Theory. , *Health Phys*. 1995 Mar. 68(3). P 332-9.
50. ICARP, Protection Against Radon 222 at Home and Work, A Report of Task Group of The International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication No. 65. Newyork. Pergamon. 1993.
51. UNSCEAR, Sources and Effect of Ionizing Radiations. United Nations Scientific **Commnities** on The Effect **of** Atomic Radiation, UNSCEAR, NewYork, 1993.
52. -, Radon in Water and Air. Resource Highlights. University of Maine and Maine Department of Human Services, Feb. . 1983.
53. Gadd MS: Borak TB. **In-situ** Determination of The **Diffusiori** Coefficient of 222Rn in Concrete. , *Health Phys*. 1995 Jun. 68(6). P 817-22.
54. EPA, Radon Reduction Techniques for Detached Houses, Technical Guidance, EPA 625/5-86-019. Resareh Triangle Park. Air and Energy Engineering Research Laboratory Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1986.
55. Osborne, M. C. , Radon Resistant Residential New Construction, EPA 600/8-88/087, Research Triangle Park N. C. , 1988.
56. FiskWJ: Prill RJ; Wooley J: Bonnefous YC: Gadgil AJ: Riley WJ,

New Methods of Energy Efficient Radon Mitigation. Health Phys. 1995 May. 68(5). P 689-98.

57. **Brenner, D. J. Radon Risk and Remedy, W. If. Freernan, New York, 1989.**

58. Hurlburt. S. . Radon:A Real Killer or Just An **Unolved** Mystery? WaterAYell JournalJune. 34-41, 1988.

59. Egginton , J,. Menace of Whispering Hills. Audubon, 91(1)28-35 Jan 1989.

60. Lubin JH: **Boice JD Jr; Edling C; Hornung RW; Howe GR; Kunz E; Kusiak RA; Morrison HI; Radford EP; Samet JM: et al, Lung Cancer in Radon-Exposed Miners and Estimation of Risk from indoor Exposure., :J Natl Cancer Inst. 1995 Jun 7. 87(11). P 817-27.**

61.Samet. J.M. et al.Review of Radon and Lung Cancer Risk,Risk Analysis, 10:65-75, 1990.

62.Harley. N.H. et al. Potential Lung Cancer Risk from indoor Exposure, Ca-a Cancer Journal for Clinicians, 40, 265-275. 1990.