

RADON GAZI - JEOLOJİ İLİŞKİSİ VE KIBRIS'ın Kuzeyinde DURUM

Yüksel Örgün Tutay & Nilgün Çelebi

Eylül 2022, Lefkoşa



Yerbilim
Mühendisleri Odası



İÇİNDEKİLER

Giriş	1
1. RADYASYON VE RADON	2
2. RADON GAZININ MEYDANA GELMESİ	3
3. RADON GAZININ KAYNAKLARI	3
3.1. Kayalar ve Toprak	4
3.1.1. Yer İçinde Radon Birikimi ve Transferi	4
3.2. Su Kaynakları	5
3.3. Yapı Malzemeleri	6
3.4. Fosil Yakıt Kaynakları, Doğal Gaz ve Jeotermal Kaynaklar	6
4. KAPALI ALANLARDA RADON KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	7
5. BİNA İÇİ RADON KONSANTRASYON LİMİT DEĞERLERİ	12
6. RADON GAZININ SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	14
7. KAPALI ALANLARDA RADON SEVİYESİNİN AZALTILMASI İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER	15
8. RADON GAZI ÖLÇÜM TEKNİKLERİ	16
8.1. Katı Hal Nükleer İz Dedektörleri	17
8.2. Aktif Kömür Dedektörleri	17
8.3. Elektret İyonizasyon Odaları	18
8.4. Sürekli Radon Monitörleri	19
9. KIBRIS'ın Kuzeyi ve RADON	20
9.1. Jeolojik Özellikler	20
9.2. Kıbrıs'ın Kuzeyinde Jeoloji -Radon İlişkisi	22
9.3. Kıbrıs Adasının da Yapılan Radon Çalışmaları	26
SONUÇ VE ÖNERİLER	27
KAYNAKLAR	32

PROF. DR. YÜKSEL ÖRGÜN TUTAY;
JEOLojİ YÜKSEK MÜHENDİSİ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, JEOLojİ
MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ORGUN@ITU.EDU.TR; ORGUNY@GMAIL.COM

DR. NILGÜN ÇELEBİ,
FİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ
RADYASYON KORUNMASI UZMANI
NILGUNCELEBI86@GMAIL.COM

GİRİŞ

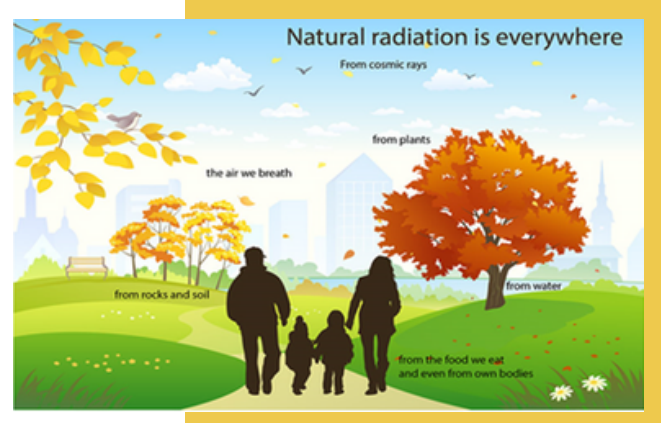
Soluduğumuz havadan, içtiğimiz sudan, yediğimiz besin maddelerinden ve temas ettiğimiz yer kabuğundan (kaya ve toprak) farklı geçiş yolları kullanarak insana ulaşan ve arka plan radyasyonu (natural background radiation) olarak tanımlanan doğal radyasyonun birincil kaynağı (%80), yaşam ortamı veya jeolojik ortamda bulunan ilkel radyonüklidler (primordial radionuclides) olarak adlandırılan ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th ve ^{40}K 'dir[1,2]. Jeolojik ortamın temel bileşenleri olan kayalar, toprak ve suda değişen miktarlarda bulunan bu doğal radyonüklidler ve bunların radyoaktif ürünleri, radyoaktif nüklid zincirleri içinde α -, β - ve γ -radyasyonu bozunması yaparak tekrar radyoaktif nüklidler (radyojenik nüklidler) ortaya çıkartarak insan sağlığı üzerinde önemli etki yaratırlar.

Doğal kaynaklardan alınan bu radyasyonun en önemli bileşeni (%42,7)soluduğumuz havada radyoaktif bir soy gaz olarak bulunan radon gazıdır (^{222}Rn). ^{238}U ' in izotopu olan ^{226}Ra 'nın bozunum ürünü olan ^{222}Rn , kararlı hale geçene kadar alfa ve beta parçacıkları yaymak suretiyle radyoaktif bozunmaya uğrar ve kısa yarı ömürlü -gaz olmayan- katı radyoaktif bozunum ürünleri ortaya çıkarır. Bu nedenle radon gazı sigaradan sonra akciğer kanserinin önde gelen ana nedeni olarak kabul edilir. Bu nedenle de çoğu ülke bir dizi düzenlemeyi benimseyerek ve radon eğilimli alanları belirlemek için büyük çaba sarf etmektedir[3].

Uranyum (U), toryum (Th) ve potasyum (K) jeokimyasal davranışlarından dolayı belirli jeolojik ortamlarda zenginleşirler, dolayısıyla bu elementler açısından zengin kayalar, topraklar ve U-Th yataklarının bulunduğu bölgeler radyolojik riskin yüksek olduğu alanlardır. Bu nedenle radyolojik risklerin belirlenmesi çalışmaları öncelikle bu jeolojik ortamların belirlenmesiyle başlamalıdır. Radon, akciğer kanserine sigaradan sonra en çok katkıda bulunan madde olarak kabul edildiğinden, Avrupa Birliği bu doğal tehlike hakkında halkı bilgilendirmek için sürekli çaba sarf etmektedir. Son araştırmalar [2] evlerdeki radonun Avrupa Birliği'nde (AB) her yıl yaklaşık 20.000 akciğer kanseri ölümüne neden olduğunu göstermiştir; Bu toplam akciğer kanseri ölümlerinin yaklaşık %9'u ve genel olarak kanser ölümlerinin yaklaşık %2'sidir [4].

Bu yazıda radyasyon ve radon kavramları genel olarak tanıtıldıktan sonra, radon gazının kaynakları, kapalı ortamlarda radon, bu konuda yapılan çalışmalar, ülkelerin sınır değerleri, radonun sağlık üzerine etkisi, Kıbrıs'ın kuzeyi için radon riski, kaynakları, radon haritasının oluşturulması ve bu çalışmaların önemi ve sürdürülebilirliği üzerinde durulacaktır.

Radyasyon (ışınım), günlük hayatımızın her anında, her yerinde (Şekil 1) maruz kaldığımız ve kayalardan, topraktan, sudan, bitkilerden, güneşten ve diğer doğal çevre bileşenlerinden sürekli yayılmakta olan elektromanyetik dalga, parçacık veya foton olarak yayılan enerji olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla insanlar, öncelikle yaşadıkları bölgenin jeolojik yapısı olmak üzere, coğrafik ve çevresel koşullara, yaşadıkları mekânın yapı malzemesine, zemin özelliklerine, konutun fiziki koşullarına ve yaşam standardına bağlı olarak yıllık ortalama 2,4 mSv radyasyon dozuna (etkin doz) maruz kalmaktadır.



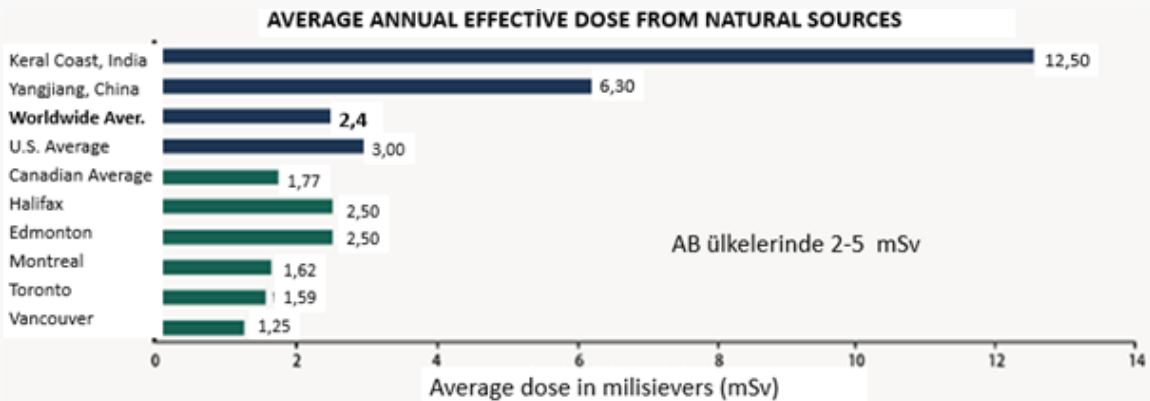
ŞEKİL 1. GÜNLÜK HAYATTA RADYASYON VE KAYNAKLARI

Doğal ve yapay kaynaklardan ileri gelen radyasyon kaynakları Tablo 1'de gösterilmiştir. Başta radon gazı (doz oranı:1,2mSv, %42,76) ve karasal gama ışınması (%17,80; 0,5 mSv) olmak üzere doğal kaynaklarının günlük etkin radyasyon dozuna katkısı yaklaşık %85'dir. Doğal radyasyon kaynaklarından maruz kalınan iç ışınlanmada toprak ve kayaların potasyum (40K) içeriğine bağlı olarak yiyecek ve içeceklerden kaynaklanmaktadır (%10,68; (0.3mSv).

Radyasyon kaynakları	Doz (mSv)	Doza katkı %		
Soluma (esas olarak radon)	1,2	42,72	%85,5 (2,4mSv)	Doğal kaynaklar
Karasal gama ışınmaları	0,5	17,80		
Kozmik ışınlar	0,4	14,24		
İç ışınma (Yeme-içme)	0,3	10,68		
Tıbbi teşhis	0,4	14,24	%14,5 (0,41 mSv)	Yapay-insan yapımı
Atmosferik nükleer testler	0,005	0,18		
Çernobil kazası	0,002	0,07		
Nükleer enerji üretimi	0,002	0,07		
Toplam doz/yıl	2,81	100,00		

TABLO 1. DÜNYA GENELİ İÇİN 2000 YILINDA AÇIKLANAN RADYASYON KAYNAKLARI, DOZ MİKTARLARI VE ORTALAMA YILLIK ETKİN DOZA KATKILARI (MİLİSIEVERT (MSV)). [2]

Radyasyon kaynaklarının etki oranı bölgeden bölgeye ve kişiden kişiye farklılık gösterir. Örneğin, Avrupa'da çoğu insan için yıllık etkin doz 2 ile 5.5 mSv arasındadır[1]. Şekil 2'de gösterilen ülkeler, hatta Kanada örneğinde olduğu gibi bölgeler arasındaki yıllık etkin doz değerlerinin büyük ölçüde değişmesinin temel nedeni öncelikle jeolojik yapı ve doğal yapı malzemeleridir. Bu nedenle zemindeki radyonüklidlerin yoğunlaşma miktarı büyük önem taşımaktadır.



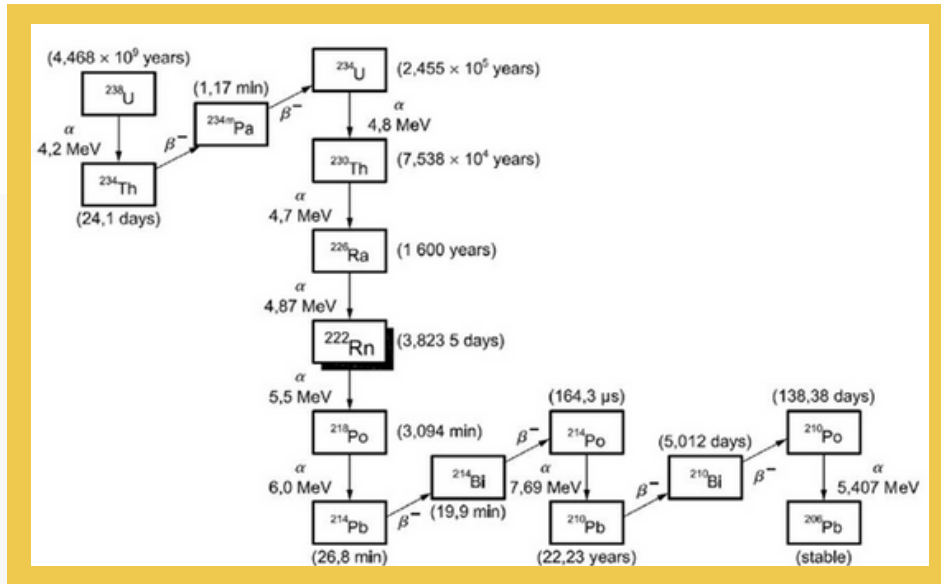
ŞEKİL 2. FARKLI BÖLGELER İÇİN DOĞAL KAYNAKLARDAN İLERİ GELEN ORTALAMA YILLIK EFEKTİF DOZ (MSV) DEĞİŞİMİ, 2014 [5]

Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni, havada radyoaktif bir soy gaz olarak bulunan radondur (^{222}Rn). Radon, başta kayaç, toprak ve su olmak üzere yer kabuğunda değişik miktarlarda bulunan uranyumun (^{238}U) radyoaktif bozunmasıyla açığa çıkan radyum (^{226}Ra) izotopunun radyoaktif bozunum ürünüdür. Radon'un 27 izotopu vardır; bunlardan en önemlileri radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) ve aktinon (^{219}Rn) dur. Radon ölçümlerinde toron ve aktinon izotoplarının yarı ömürlerinin çok kısa, miktarlarının da çok küçük olması nedeniyle ^{222}Rn dikkate alınır ve ölçülür. ^{222}Rn gazı kararlı hale geçene kadar alfa parçacıkları (helyum çekirdeği) yaymak suretiyle radyoaktif bozunmaya devam eder ve Şekil 3'de gösterildiği gibi kısa yarı ömürlü -gaz olmayan- katı radyoaktif bozunum ürünleri ortaya çıkar; bozunum kararlı ^{206}Pb ile son bulur.

Kapalı ortamlarda radon gazının sağlık açısından asıl önemi ^{222}Rn gazının kararlı hale geçene kadar yaydığı bozunum ürünlerinden gelmektedir[1].

3.RADON GAZININ KAYNAKLARI

Radon gazı ve bozunum ürünlerinin oluşması ve miktarı esas olarak yaşam ortamının jeolojik özellikleriyle ilişkilidir. Bu bağlamda Şekil 4'de gösterildiği gibi radon gazının en önemli kaynakları kayaçlar, toprak, su kaynakları ve yapı malzemeleridir (kum, çakıl, beton, tuğla, kiremit vb.). Dolayısıyla, şehirlerin kurulduğu bölgedeki kayaçlar ve toprağın mineralojik ve jeokimyasal bileşimi; buna bağlı olarak kayaçların, toprağın ve kullanılan yapı malzemelerinin radyonüklid içeriği; kayaların tektonik örselenmişliği, özellikle fayların varlığı; yer altı suyunun varlığı ve seviyesi ve kayaçların, toprağın ve kullanılan malzemenin nem miktarı radon gazının konsantrasyonunu artırmaktadır. Buna göre binalardaki radon gazının dört temel kaynaktan ortaya çıktığı söylenebilir. Bu kaynaklar önem sırasına göre aşağıda tanıtılmıştır.



ŞEKİL 3. URANYUMUN (^{238}U) BOZUNUM ZİNCİRLERİ, ^{222}Rn OLUŞUMU VE BOZUNUM ÜRÜNLERİ



ŞEKİL 4. RADON GAZININ BAŞLICA KAYNAKLARI [6]

Radon gazının birincil temel kaynağı olan kayalar, uranyum (U) ve toryum (Th) içeriği açısından değerlendirildiğinde, asitik/felsik kayaç olarak adlandırılan, SiO₂ içeriği %60' dan büyük olan granitik ve volkanik kayaçlar ilk sırada yer almaktadır. Ortalama U içeriği 5 ppm, Th içeriği ise 15ppm olan granitik ve volkanik kayaçların, bu kayaçların metamorfik eşlenikleri, bunlardan türemiş sedimanter kayaçlar ve tüm bu kayalardan oluşmuş toprakların U ve Th içerikleri, bunların dışındaki kayaç ve toprakların U ve Th içeriklerinden daha yüksek olacaktır. Bu nedenle granitik kayaçların (granit, siyenit, granodiyorit, kuvarsdiyorit, vb.), bunların damar kayaçlarının (pegmatit ve apolit gibi) ve volkanik kayaçların (riyolit, andezit, trakit, gibi) bulunduğu bölgelerde radon gazı riski çok daha yüksek olacaktır [7].

Bu tip kayalarla kaplı bölgelerde kayaçlar tektonik açıdan örselenmişse, fay zonu veya zonları ile kesilmişse, kayaçlar altere olmuşsa (özellikle kimyasal alterasyon) ve bölgede yeraltı su seviyesi de yüksekse, radon gazı riski daha da yükselmektedir [8]. Radon açısından bir diğer önemli kayaç ve toprak türü fosfatlı kayaçlardır. Uranyum atomu, fosfat cevherlerinde kalsiyum (Ca) atomunun yerini alarak, uranyum cevherleşmesi oluşturacak kadar zenginleşebildiğinden, bu alanlarda radyoaktivite, dolayısıyla da radon açısından dikkat edilmesi gereken alanlar olmaktadır [9]. Bu açıdan bir diğer önemli alan, asitik kayaçlarla ilişkili olarak bu kayalarda gelişmiş hidrotermal alterasyon zonları, maden sahaları ve bu kayaçlarla kontak halindeki karbonatlı kayaçlar ve kumtaşları ile kaplı alanlardır [9,10] (Şekil 5a ve 5b).



ŞEKİL 5A. FAY ZONU BOYUNCA OLUŞMUŞ BİR
HİDROTERMAL ALTERASYON ZONU
(KAYNAK: WWW.INDIANA.EDU)

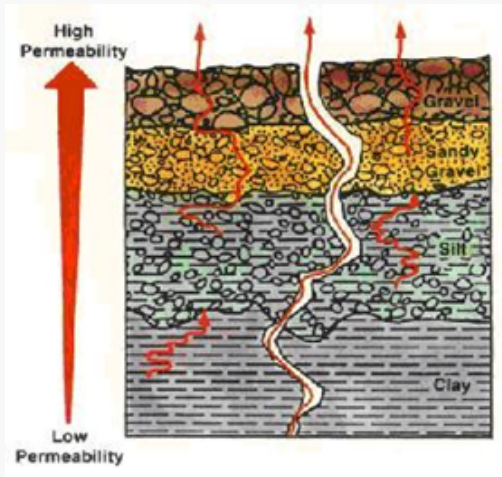


ŞEKİL 5B. HİDROTERMAL ALTERASYON VE İLİŞKİLİ CEVHER ZONU
(KAYNAK: WWW.PHOTOVOLCANICA.COM)

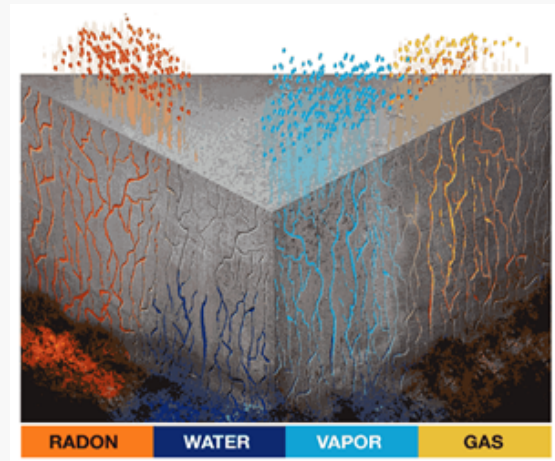
3.1.1. YER İÇİNDE RADON BİRİKİMİ VE TRANSFERİ

Kayaç ve toprakta oluşan radon, önce yerin içinde kapalı gözeneklerin içine girer ve buralara tutunur/birikir; sonra toprağın hava dolu gözeneklerine kaçar ve bu gözenekler arasından atmosfere geçmek için hareket eder (Şekil 6a). Dolayısıyla Radon gazının atmosfere geçebilmesi, toprak ya da kaya zeminin gözenekleri arasında yayılması ile mümkündür. Örneğin, killi birimde radon geçirgenliği düşük iken, radon geçiş oranı silt, çakıl dolgu ve dolgu zeminlere doğru giderek artar. Yapılan hesaplamalar göstermiştir ki topraktan gelen radyoaktivitenin yalnızca küçük bir yüzdesi çatlağı olmayan betona sızar, şayet beton tabakada çatlak varsa gelen aktivitenin %25'i yayılma yolu ile beton tabakaya, oradan da bina içine aktarılmaktadır [11,12] (Şekil 6b). Sonuç olarak doğal zeminden radon salınımı oranı aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişir.

- ZEMİNİ OLUŞTURAN KAYAÇ YA DA TOPRAKTAKİ RADYUM (226RA) MİKTARI
- RADYUM'UN BOZUNMA ORANI VE RADON GAZININ YAYILMA GÜCÜ
- TOPRAĞIN GEÇİRGENLİĞİ (POROZİTE, PERMEABİLİTE, YOĞUNLUK, VB.)
- TOPRAĞIN KURULUK, NEM İÇERİĞİ, SUYA DOYGUN OLMA, DONMA, KARLA ÖRTÜLÜ VB. OLMASI
- METEOROLOJİK KOŞULLAR (TOPRAK VE HAVA SICAKLIĞI, HAVA BASINCI, RÜZGÂR HIZI, RÜZGÂR YÖNÜ, VB.) VE BÖLGENİN YÜKSEKLİĞİ (RAKIM).



ŞEKİL 6A. KAYAÇTAKİ ÇATLAKLARDAN RADON GAZININ TOPRAKTAKİ TANE BOŞLUKLARI İÇİNE GÖÇÜ VE HAVAYA KARIŞMASI
(KAYNAK: WWW.NWBSHOSHONE.COM)



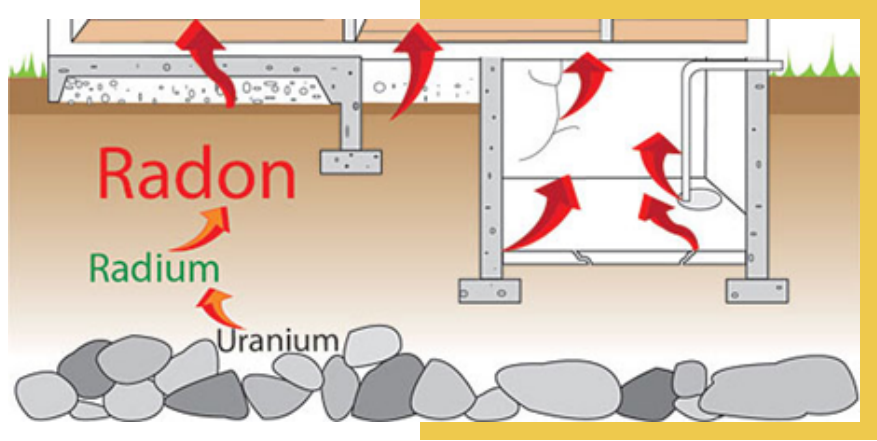
ŞEKİL 6B. ZEMİNDEN BETONA VE BETONDAN ORTAMA RADON GAZI SALINIMI
(KAYNAK: WWW.RADONSEAL.COM)

3.2. SU KAYNAKLARI

Başta yeraltı suları olmak üzere bütün su kaynakları temas halinde oldukları kayaların litolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlı olarak onlardan aldıkları belli miktarlarda U içeriğine sahiptir ve bununla bağlantılı olarak da sulara radon gazı bulunur. Buna ek olarak, suyun temas halinde olduğu toprak ve kayalarda bulunan radon gözenek ve çatlaklardan sızarak suya karıştığı için suyun radon içeriği artabilir. Yeraltı suları daha uzun süre kaya ve toprakla temas ettiği için radon konsantrasyonu yüzey sularından daha yüksektir. Bu durum içme ve temizlik amaçlı kuyu ve kaynak suyu kullanan bölgelerde mutlaka göz önünde tutulmalı ve suların radon içeriği mutlaka ölçülmelidir.

Yapılan çalışmalar bina zemininde ve ev içinde kullanılan suyun radon miktarı arttıkça, bina içindeki radon düzeyinin de arttığını göstermiştir. Kapalı mekânlarda ölçülen radon gazının yaklaşık %0,2'sinin yüzeysel sulara, %20'sinin ise yeraltı sularından kaynaklandığı ortaya konmuştur [12]. Suda bulunan radon, su musluktan aktığı zaman ev içine girer ve suyun sıcaklığı arttıkça ortama verilen radon miktarı da artar; özellikle suyun püskürtülmesi veya çalkalanması büyük miktar radonun salınmasına neden olur. Avrupa'da kişi başına ortalama 0,2-0,4 m³/gün su kullanıldığı varsayılarak, ev içindeki havaya musluk suyundan radon gazı salınımının %0,5-0,6 olduğu rapor edilmiştir.

Çimento, tuğla, briket, yer ve duvar karosu, vb. yapı malzemelerinin esas bileşeni, bilindiği gibi kum, kil, marn, kalker gibi doğal kaynaklardır ve bu kaynakların kimyasal ve mineralojik bileşimine bağlı olarak değişen oranlarda U, Th, K ve bunların radyonüklitlerini içerebilmektedir. Örneğin çimento üretiminde kullanılan ana hammadde kaynaklarından biri olan kireçtaşlarının ortalama U içeriği 2,2ppm, Th 1,7 ppm ve K %0,2; kumtaşları için ise bu oranlar U:0,45 ppm, Th:1,7 ppm ve %1 K'dir. Bu nedenle yapı malzemeleri kapalı alanlarda radon düzeyini artırıcı etkenlerden biridir. Yapılan çalışmalar "Dış solunum" adı verilen mekanizma ile binanın zemininden, duvarlarından ve yapı aksamından sürekli olarak difüzyon yolu ile iç ortama radon gazı salınımı olduğunu ve bina içi ortamda radon miktarını artırdığını göstermektedir (Şekil 7).Ayrıca taş, tuğla veya betondan yapılan evlerde, bölgenin yüzey jeolojisine bağlı olarak dış ortam gama ışınlarının duvarlar tarafından etkili bir şekilde soğurularak ev içine aktarıldığı; bu şekilde de ev içi radon konsantrasyonunun daha da arttığı ortaya konmuştur.



ŞEKİL 7. ZEMİNDEN VE DUVARLARDAN RADON GAZININ EV İÇİNE SIZMA YOLLARI

3.4. FOSİL YAKIT KAYNAKLARI, DOĞAL GAZ VE JEOTERMAL KAYNAKLAR

Doğal gaz ve kömür en yaygın ve en önemli ısınma kaynaklarıdır. Doğal gaz ölçülemeyecek kadar düşük seviyeden 50 Bq/m³ seviyesine kadar değişen miktarlarda radon içerebilmektedir. Doğal gazın üretimi ve depolanması sürecinde radyoaktif bozunmayla radon konsantrasyonu azalmakla birlikte, evlerde ısıtma ve yemek pişirmede kullanıldığı esnada doğal gazdan radon gazı salınımı olmakta ve ev içi radon miktarını artırabilmektedir.

Sedimanter bir kayaç olarak da tanımlayabileceğimiz kömür, oluşum ortamının litolojik özelliklerine bağlı olarak yüksek oranlarda Uranyum içerebilmektedir. Dünya kömürleri için ortalama U değeri 0,5 ppm- 10 ppm arasında değişmektedir [13]. Bu durum hem yanma hem de depolanma süresince kömürün önemli bir radon kaynağı olduğunu göstermektedir.

Jeotermal sular/akışkanlar ve sismik dalgalar, radon gazının derinlerden yüzeye taşınmasını sağladığı için jeotermal sahalar, bu sahalardaki kaya ve topraklar ve buralardan yüzeye çıkan sıcak sular 3000-75000 Bq/m³ gibi yüksek radon gazı değerlerine sahip olmaktadır [14] .

Uranyum ve toryum madenleri başta olmak üzere kurşun, çinko, kalay, demir, bakır, kömür vb yeraltı maden ocaklarında çalışanlarda radon gazına bağlı akciğer kanser riskinin yüksek olduğu açıklandıktan sonra, radon kirliliği ile ilgili endişeler artmıştır.

Maden ocaklarının dışında metro istasyonları, tüneller, mağaralar, kaplıcalar, alışveriş merkezleri, fabrikalar, okul ve ofisler radon riski taşıyan iş yerleri olarak tanımlanmaktadır. Günümüz insanı zamanının yaklaşık %80 ve daha fazlasını bu ve benzeri kapalı alanlarda geçirdiği için kapalı alanlarda radon ayrı bir önem kazanmıştır.

Evlerdeki radon gazının miktarını belirleyen önemli kaynaklar (yaklaşık %90) binaların temelindeki toprak, kaya ve yeraltı suyu seviyesi, yanı sıra özellikle fay zonlarına olan uzaklıktır. Bu faktörler nedeniyle bir evden diğerine iç mekânda radon miktarında farklılıklar gözlenir [15]. Örneğin Türkiye de Ezine ilçesi (Çanakkale) ve köylerinde yapılan çalışmada, granitik ve volkanik, kayalarla kaplı bölge üzerine yerleşmiş olan 21 yerleşim biriminde ev içi radon konsantrasyonu, 33-208,5 Bq/m³ (ortalama 75,75 Bq/m³) arasında değişirken, ofiyolitik kayalar üzerine yerleşim olan 3 köyde 15-42 Bq/m³, sedimanter kayalar üzerindeki 2 beldede ise 35,7-44,6 Bq/m³ arasında değişim olduğu ortaya konmuştur [7].

Ev içi radon miktarını belirleyen bir diğer faktör de iklim koşullarıdır. Pencerelerin daha fazla açık tutulduğu iklim koşullarında iç ve dış radon miktarı arasında fazla bir fark olmazken, ılıman bölgelerde ev içi radon konsantrasyonunun dış ortama oranla 8 kat fazla olduğu, soğuk bölgelerde ise çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

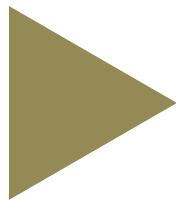
Bina içine radon gazı transferi, Binaların temelindeki toprak veya kayalarda oluşan radon gazı, zemin katmanı boyunca yükselerek binanın altında birikir; özellikle soğuk ve ılıman iklim bölgelerinde bina içindeki havanın dış ortama göre daha sıcak olmasının yarattığı basınç farkıyla radon gazı çatlak ve boşluklardan sızarak bina içlerine girer [16]. Şayet bina taştan (granitik ve/veya volkanik) yapılmış ise ya da tahta zemin altına çakıl ve kırma taş döşenmiş ise malzemenin uranyum içeriğine bağlı olarak duvarlardan ve zeminden daha fazla radon yayılması olacaktır [17].

Radon gazının binalara giriş yolları Şekil 8' de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi taban, kaya ve/veya topraktan, yeraltı sularından, kuyulardan, bodrum katlarındaki eşya ve yakıt depolarından sızan radon zemindeki çatlaklardan, yapı bağlantı yerlerinden, duvar çatlaklarından, tesisat boşluklarından, duvar ve asma kat arası boşluklardan, musluk ve duşlardan akan sudan evin içine nüfuz etmektedir.

Radon genellikle yerden 50 cm yukarıda biriktiği için ev içine sızan radon evin içinde kalma eğilimindedir. Bu nedenle binaların üst katlarındaki radon miktarı zemin katlardan daha azdır.

Norveç'te yapılan bir araştırmada, ağaçtan kaynaklı radon gazı salınımı olmamasına rağmen, ağaçtan yapılan evlerin genel olarak daha alçak ve toprağa daha yakın olması nedeniyle diğer evlerden daha çok radon gazı içerdiği saptanmıştır.

Şüphesiz yaşadığımız bölgenin coğrafi konumu, yaşam standardı, evin ısıtılma şekli ve günlük alışkanlıklar ev içi radon miktarının değişimine neden olmakla birlikte, iç mekânlarda radon konsantrasyonunu artıran temel unsurlar aşağıda verilmiştir:



- Zemini oluşturan kaya ve topraktaki radyum miktarı,
- Fay zonlarına yakın veya uzak olmak,
- Yeraltı suyu seviyesi ve suyun radon içeriği,
- Bina zeminindeki nem oranı,
- Bina temelinin toprak veya kaya zeminle olan temas yüzeyinin boyutu ve zeminden olan yükseklik,
- Evde kullanılan suyun radyum içeriği,
- Meteorolojik koşullar, İç -dış hava sıcaklık ve basınç farkı,
- Kullanılan yalıtım malzemesinin niteliği ve difüzyon potansiyeli,
- Binadaki havalandırma kapasitesi,
- Bina zemin ve/veya bodrum katlarının kömür vb. malzeme için depo olarak kullanılması.



ŞEKİL 8. RADONUN BİNALARA GİRİŞ YOLLARI (KOYU RENK OKLAR İLE GÖSTERİLMİŞTİR [18].

Türkiye'nin jeolojik özellikleri ile Şekil 9'da verilen radon gazı dağılımı karşılaştırılmış ve aşağıdaki bulgular tespit edilmiştir.

1-Yüksek radon konsantrasyonuna sahip bölgelerde genelde:

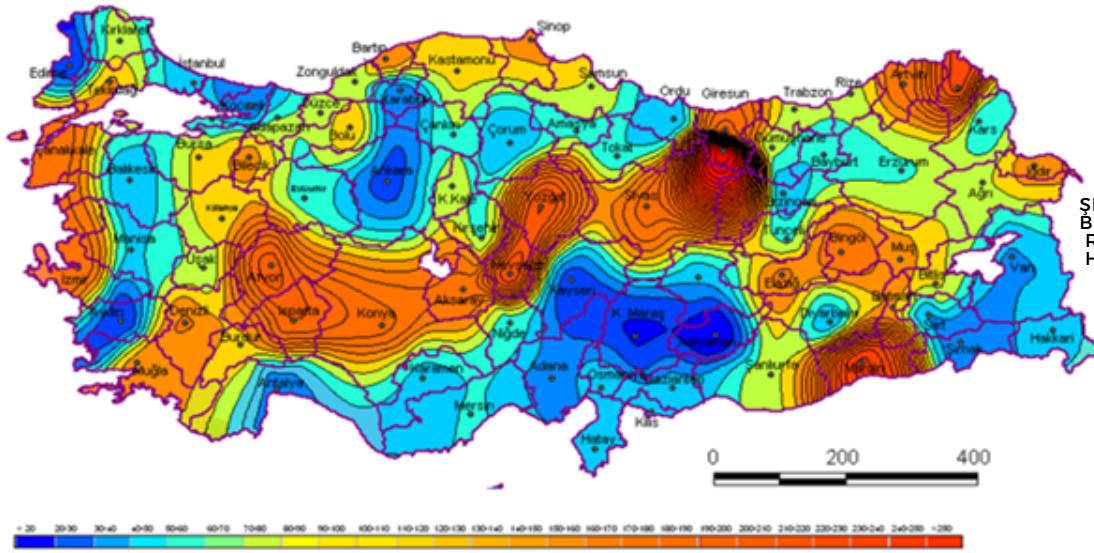
- Granitik ve volkanik kayaçların yaygın olduğu,
- Deprem riskinin genelde yüksek olduğu,
- Yerel ölçekte kayaç türünün değiştiği,

2-Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde granitik ve volkanik kayaçlar öne çıkmakta,

3-Batı Anadolu, İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinde kayaç türünün yanı sıra bölgenin depremselliği, alterasyon zonları/jeotermal sahaların etkili olduğu,

4-Güney Doğu Anadolu bölgesinde litolojik özelliklerin yanı sıra fosfat yataklarının da Rn gazı konsantrasyonu üzerinde etkili olabileceği ortaya çıkmıştır.

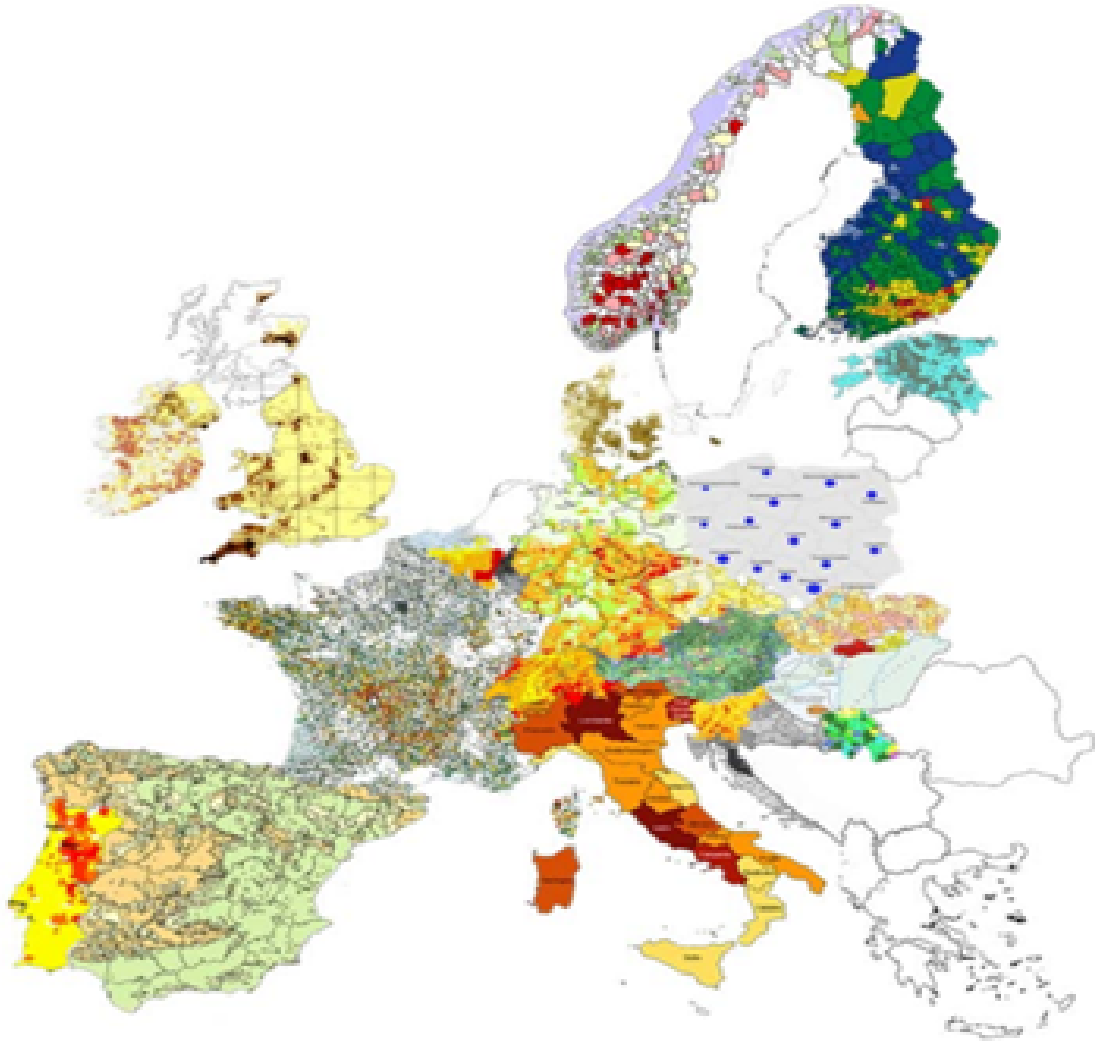
Evlerde radon ölçümü ilk kez 1956 yılında İsveç'te yapılmış, daha sonraki yıllarda bu tip çalışmalar yaygınlaşmıştır. AB ülkeleri, ABD, Kanada, Avustralya, Japonya, Çin ve diğer pek çok gelişmiş ülke, genelini temsil edecek şekilde ev içi radon ölçümleri yaparak, ülkelerin radon dağılım haritalarını hazırlamıştır. Tablo 2'de ülkemiz ile birlikte bazı ülkelerin ortalama ev içi radon konsantrasyonları verilmiştir. UNSCEAR (2000) tarafından yayınlanan raporda en yüksek ev içi radon değerinin 85.000 Bq/m³ olarak İsveç'te kaydedildiği, ikinci yüksek değer ise 55.000 Bq/m³ olarak Norveç'te ölçüldüğü görülmektedir [11]. Bu yüksek değerler bu ülkelerde granitik kayaçların yaygın olmasıyla örtüşmektedir.



ŞEKİL 9. TÜRKİYE'DE BİNA VE KONUTLARDA RADON GAZI DAĞILIM HARİTASI (BQ/M3) [19].

TABLO 2. FARKLI ÜLKELERDE EV İÇİ ORTALAMA RADON KONSANTRASYONLARI (BQ/M3) [3, 11A]

Ülke	Radon	Ülke	Radon	Ülke	Radon
ABD	46	Hırvatistan	68	Malta	40
Almanya	50	Hindistan	57	Mısır	9
Arjantin	37	Hollanda	23	Norveç	89
Arnavutluk	120	İngiltere	20	Polonya	49
Avusturya	97	İran	82	Portekiz	62
Belçika	48	İrlanda	89	Romanya	45
Cezayir	30	İspanya	90	Japonya	16
Çek Cum.	140	İsveç	108	Kanada	34
Çin	24	İsviçre	77	Slovakya	108
Danimarka	53	İtalya	70	Slovenya	87
Ermenistan	104	Letonya	55	Suriye	44
Estonya	120	Lüksemburg	115	Tayland	23
Endonezya	12	Sırbistan-Karabağ*	144	Türkiye	57b
Finlandiya	120	Macaristan	107	Yunanistan	55
Fransa	63	Malezya	14	Avustralya	11



Şekil 10. Yayınlanmış Avrupa radon haritalarının mozaïği [3].

Tablo 3’de Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından yayınlanan bazı ÷lkelerde değişik yeraltı mekânlarında ölç÷lmüş olan radon konsantrasyon değerleri verilmiştir. Gör÷ldüğü gibi özellikle büyük şehirlerde ulaşımda yaygın olarak kullanılan metro istasyonlarında ve tünellerde radon konsantrasyonları oldukça yüksektir ve iç ortam radon konsantrasyon limit değerlerini aşmaktadır.

TABLO 3. FARKLI KAPALI ALANLARDA ÖLÇÜLEN RADON KONSANTRASYONU (BQ/M3)[21]

Mekân	Ülke	Radon konsantrasyonu
Turistik Mağaralar	Almanya	400-11180
	Macaristan	130-21100
	İrlanda	260-19060
	Slovenya	20-10000
	ABD	48-1850
Tüneller	Çek Cum.	229-3312
	Finlandiya	500-7000
	Norveç	250 (ortalama)
Metro	Finlandiya	45-200 (İstasyon)
		20-790 (ofisler)
	Yunanistan	9-22 (istasyon)
Kömür madeni	Türkiye	253-1470 [20] (Zonguldak taşkömürü havzası)

5. BİNA İÇİ RADON KONSANTRASYON LİMİT DEĞERLERİ

Radon konusunu, farkındalığın artmasıyla birlikte günümüz insanının her gün ortalama 19.2 saatini (zamanın yaklaşık %80'i) kapalı alanlarda geçirmesi ile daha da önem kazanmıştır. Bu nedenle kapalı ortamlarda radon gazı miktarının kontrolüne yönelik çalışmalar hızlanmış, radon gaz miktarıyla ilgili sınırlamalar getirilmiştir.

ICRP, ev içi ortamda radon gazı için belirlenen 200 Bq/m³ - 600 Bq/m³ aralık değerini 2007 yılında 200 Bq/m³ - 300 Bq/m³ olarak revize etmiştir [22]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2009) radondan kaynaklı sağlık risklerini azaltmak için 100 Bq/m³ değerini üst limit değeri olarak belirlemiştir.

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP), yıllık ortalama radon yoğunluğu 300 Bq/m³ olması durumunda tehlikeli bölge olarak kabul edilen bu alanda yaşananların güvenliğini sağlamak için etkin dozu 10 mSv olarak hesaplamış ve bu değeri referans standart olarak önermiştir. WHO bu limit karşılanamıyorsa kapalı mekânlarda radon yoğunluğunun 300 Bq/m³'ü aşmamasını tavsiye ederek, ülkelerin konutlarda önerilen radon üst limit değerlerinde güncel düzenlemelere gidilmesi yaklaşımını benimsemiştir [23].

Avrupa Birliği daha da ileri giderek yeni ev inşaatından önce radon gazı ile ilgili risk değerlendirmesi yapılmasını ve özel kapalı ortam koşullarında bölgedeki radon

emisinin mevsimsel ve hatta gece ve gündüz farklılıklarını da gösterecek şekilde ölçülmesini istemektedir. Çoğu ülke, radon risk haritalarını tanımlamak için referans olarak, mevcut binalarda 300 Bq/m³ ve yeni yapılar için 200 Bq/m³ olan aşılması gereken yıllık ortalama iç mekân konsantrasyonlarına ilişkin AB'nin önerisini [2] dikkate almaktadır. Farklı ülkelerin kabul ettiği ev içi radon gazı sınır değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Bina içi dünya ortalama radon konsantrasyon değeri 39 Bq/ m³ olarak kabul edilmiştir (WHO,2009).

TABLO 4. BAZI ÜLKELER VE ULUSLARARASI KURULUŞLAR TARAFINDAN BENİMSENEN EVLERDE İZİN VERİLEBİLİR RADON KONSANTRASYON LİMİTLERİ (BQ/M3) [23]

Ülke	Rn-Limit	Ülke	Rn-Limit	Ülke	Rn-Limit
A.B.D.	150	Hindistan	150	Lüksemburg	250
Almanya	250	İngiltere	200	Norveç	200
Avustralya	200	İrlanda	200	Polonya	400
Çekya	200	İsrail	200	Rusya	200
Çin	200	İsveç	200	Türkiye	400
Danimarka	400	İsviçre	400	AB	300, 200*
Fransa	400	Kanada	800	ICRP	300-400
Finlandiya	200	Litvanya	100	WHO	100-300

*: YENİ İNŞA EDİLEN BİNALAR İÇİN 200 BQ/M3 SINIR DEĞERİ [22]

Kapalı alanlarda radon gazının etkisini araştırmak amacıyla yapılan epidemiyolojik çalışmalar, kapalı mekânlarda yüksek seviyede radon ve radonun bozunum ürünleri dolayısıyla radyasyona maruz kalmış bireylerde, akciğer kanseri oranlarının yüksek olduğunu açıklamıştır [25]. Sigara dumanı ve radon gazına aynı ortamda birlikte maruz kalma durumunda ise riskin daha da artacağı açıklanmıştır [2, 4, 22,23].

Nefes alıp-verme süresiyle kıyaslandığında, daha uzun bir yarı ömre (3,82 gün) sahip olan radon gazı (^{222}Rn) dikkate değer ölçüde vücut tarafından tutulmaz; akciğerlerde yarı ömrünü tamamlayamadan yine nefes yolu ile dışarı atılır. Yarılanma ömrü 3,094 dakika olan ^{218}Po atomları, iyonize halde hava içindeki herhangi toz ve diğer parçacıklara yapışıp tutunarak bozunmaya devam eder (bakınız Şekil 3); sağlık açısından asıl tehlikeli olan da bu sürecin gerçekleştiği havayı solumakla başlar; yüksek dozda maruz kalınması halinde de DNA yapısını bozarak bronkojenik kansere neden olabilmektedir (Şekil 11).

Polonyum (^{118}Po) izotopları alfa yayıcılarıdır ve akciğer dokularıyla doğrudan temas halinde salınan partiküller, uzun süreler boyunca bile radyasyon hasarına neden olabilir (^{210}Po 'nun ortalama 140 günlük yarı ömrü vardır). Avrupa, ABD'nin kuzeyi ve Asya'da yapılan son araştırmalar, radon toksisitesinin önemli sayıda akciğer kanserine neden olduğunu iddia etmiştir [26].

Gün boyunca uzun süre kapalı mekânlarda kalan insanlarda sıklıkla görülen ve kişisel sıkıntılar olarak ifade edilebilecek sorunların giderek artması "hasta bina sendromu" tanısını ortaya çıkartmıştır. Hasta bina sendromunun en yaygın semptomları baş ağrısı, tıkalı burun, boğaz ağrısı, gözlerde kaşıntı ya da sulanma, uyuşukluk, boyun ağrısı, kuru gözler ve kuru cilt olarak tanımlanmıştır. Aşağıda sıralanan etkenlere bağlı olarak, radon gazına maruz kalan bireylerde kanser meydana gelebilmektedir [25](Yoon et al., 2016).

- Radyasyon dozu ve yayılımı
- Etkilendiği sırada etkilenen kişinin yaşı
- Dokunun etkilenebilme derecesi
- Cinsiyet ve genetik özellikler
- Sigara içme durumu
- Beslenme alışkanlıkları
- Radon gazı ile birlikte kimyasal maddelerden etkilenmenin olup olmaması

How Radon Causes Lung Cancer



(courtesy of epa.gov)

ŞEKİL 11. RADON BOZUNUM ÜRÜNLERİNİN AKCIĞERDE BİRİKİMİ SONUCU AKCIĞERLERDE YAPILAN İŞİNLANMA VE DNA SARMALINDA MEYDANA GELEN HARABİYET

Kapalı ortamlarda radon seviyesini düşürmek için alınabilecek en kolay ve en etkin önlem havalandırmadır. Havalandırma hem kapalı ortamda radon kirliliğinin azaltılması hem de konut hijyeni açısından son derece önemlidir.

Evin ısıtılması, evin içinde zemine göre negatif basınç yaratarak binanın içerisine radonun girmesini kolaylaştırdığı için, evin ısıtılması ile evin havalandırılması arasında bir denge oluşturulmalıdır. Bina içi radon gazı konsantrasyonunun azaltılması için alınabilecek tedbirler şöyle sıralanabilir:

·Kapalı ortamlarda sigara içilmemelidir.

·Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve doz değerlendirmeleri mutlaka yapılmalı ve bu yasal olarak desteklenmelidir.

·Binaların, özellikle bodrum katlarının zemin izolasyonu iyi yapılmalıdır. Bu amaçla toprak ile temas eden yüzeyler sızıntıya imkân vermeyecek şekilde beton ile izole edilmeli; bodrum katlarının ve zemin katların tabanına şap, beton vb. dökülmelidir.

·Yaşı 20 yıl ve daha eski olan binalarda, radon düzeyi yüksek olabileceğinden taban ve duvarlardaki çatlaklar kapatılmalı, izolasyon kontrol edilmeli ve periyodik bakımı yapılmalıdır.

·Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina dışına çıkamaz ise bina içindeki konsantrasyon artacaktır; bu nedenle kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir.

·Binalarda doğal havalandırma sistemlerine ağırlık verilmeli, pencereler zemine yakın yapılmalı ve havalandırma alt pencerelerden sağlanmalıdır.

·Bodrum katlara, özellikle yakacakların depolanması amaçlı kullanılıyorsa, mutlaka pasif havalandırıcı sistemler takılmalıdır.

·Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa havalandırma süresi artırılmalıdır.

Radon ve ürünlerini ölçmek için aktif ve pasif olmak üzere iki temel ölçüm yöntemi vardır [26,27]. Aktif ölçüm yöntemi, elektronik sistemler, pompalar, güç kaynakları gibi cihazlar gerektirir. Aktif sistemde iyon odaları, sintilasyon hücreleri veya spektroskopik sayım cihazları kullanılır (Tablo 5). Pasif ölçüm yönteminde termoluminesans detektörler (CaSO₄:Dy veya LiF gibi), alfa-iz detektörleri; selüloz nitrat (LR-115), allildiglikol karbonat (CR-39) veya polikarbonat malzeme (Makrofol), aktif kömür detektörleri ve elektret iyon odaları kullanılır. Evlerde radon ölçümlerinde genellikle uzun süreli, pasif radon ölçüm yöntemleri tercih edilir.

TABLO 5. RADON GAZI ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖZELLİKLERİ

Detektör tipi	Pasif/Aktif	Ölçüm Belirsizliği* %	Örnekleme süresi	Maliyet
Alfa iz detektörü	Pasif	10-25	1 - 12 ay	Düşük
Aktif kömür detektör	Pasif	10-30	2 - 7 gün	Düşük
Elektret iyon odası	Pasif	8-15	5 gün - 1 yıl	Orta
Elektronik entegre cihazlar	Aktif	~25	2 gün - yıl	Orta
Sürekli radon monitorları	Aktif	~10	1 saat - yıl	Yüksek

*BELİRSİZLİK OPTİMUM IŞINLAMA SÜRELERİ VE 200 BQM-3 DEĞERİ İÇİN VERİLMİŞTİR (WHO 2009).

Katı hal nükleer iz dedektörleri genellikle küçük bir kap içine yerleştirilmiş bir plastik dedektörden oluşur. Radon gazı kabın içine yayılır, bozunur ve plastik dedektörde izler bırakan alfa parçacıkları yayar. Dedektörün maruz kaldığı radon miktarını belirlemek için, dedektörlere inorganik bir çözelti içinde iz kazıma yöntemi uygulanır. Alfa izleri, bir mikroskop altında veya bir slayt tarayıcısı ile otomatik olarak sayılabilir. En yaygın olarak kullanılan hassas plastik, poli alil diglikol karbonat (PADC, CR-39 olarak da bilinir) ve selüloz nitrat (LR-115) tir. Katı hal nükleer iz dedektörlerinin uygulamaları uluslararası kabul edilmiş standart bir kullanımdır. Katı hal nükleer iz dedektörleri küçük, ucuz, basit ve tehlikesizdir. Yerleştirilmeleri ve iade edilmeleri için talimatlarla posta yoluyla radon ölçüm yerlerine gönderilebilir. Bu tür pasif radon dedektörleri uluslararası karşılaştırmalarda iyi performans göstermektedir. Ölçümler 10 gün ile 180 gün arasında değişen zaman aralığında yapılır [28](Şekil 12).



ŞEKİL 12.KATI HAL NÜKLEER İZ DEDEKTÖRÜ
ÖLÇÜM SİSTEMİ VE CR 39 DEDEKTÖRÜ

8.2. AKTİF KÖMÜR DEDEKTÖRLERİ

Aktif kömür dedektörleri havada bulunan radonu adsorbe eden küçük bir aktif kömür kabından oluşur; kömür bir örtü ve genellikle bir difüzyon bariyeri ile kaplıdır. Kullanımdan sonra, dedektör kapatılır ve bir sintilasyonededektörü ile analiz edilmek üzere laboratuvara geri gönderilir. Analiz yöntemi, radonun kısa yarı ömürlü ürünlerinden gelen gama radyasyonu emisyonlarını ölçmektir.

Kömür dedektörleri uzun süreli ölçümler için uygun değildir, ancak tarama amacıyla kullanılabilir; örneğin, önleyici tedbirlerin ve düzeltici faaliyetlerin etkinliğini ölçmek veya bir binanın radon ile ilgili önemli bir sorunu olup olmadığını araştırmak amacıyla kullanılırlar. Ölçüm süresi bir haftadan az ile sınırlıdır [29](Şekil 13).

Bir elektret iyonizasyon odası, tipik olarak yaklaşık 700 Volt potansiyelle pozitif yüklü, bir politetrafloroetilen (PTFE) elektret diski içerir. Elektret, odadaki havanın, radon ve ürünleri tarafından yayılan alfa parçacıkları tarafından iyonlaştırılmasıyla nötralize edilen elektrostatik yükü tutar. Bu ölçüm periyodunun başında ve sonunda elektret üzerindeki yükün ölçülmesi, radon konsantrasyonunun hesaplanmasını sağlar. Birkaç gün ile birkaç aylık periyotlar boyunca ölçümler için uygun olan farklı elektret tipleri ve farklı boyutlarda odalar mevcuttur. Elektretiyonizasyon odalarının dikkatli bir şekilde kullanılması gerekir, düşmesi veya yüzeyin bozulması yanlış ölçüm sonuçları doğurur. Elektretler genellikle tarama ve teşhis ölçümleri için kullanılır, büyük ölçekli araştırmalar için kullanılmazlar [30](ISO-4, 2012) (Şekil 14).



ŞEKİL 13. AKTİF KÖMÜR DEDEKTÖRÜ



ŞEKİL 14. ELEKTRET İYONİZASYON ODALI MONİTÖR

Spektrometrik veya spektrometrik olmayan algılama prensiplerini kullanan çeşitli elektronik sürekli radon monitör türleri mevcuttur. Bu tür monitörler, sürekli olarak hava örneği alır ve ya aktif örnekleme ile ya da radon yüklü havanın dedektörlerin hassas hacmine taşınması yoluyla radonu veya ürünlerini ölçer. Radon gazı monitörü durumunda, radon ürünlerini ve havanın tozunu uzaklaştırmak için bir filtre kullanılır. Ölçümler birbirini izleyen zaman dilimlerinde tekrarlanır. Bu, zamanla, radon konsantrasyonundaki değişiminin belirlenmesini sağlar.

Çok doğru ölçümler, özellikle de çok düşük radon konsantrasyonlarının ölçümü isteniyorsa puls darbeleri iyonizasyon odalı bir cihaz tercih edilir. Bu tür ekipmanlar pahalı ve karmaşıktır. Bununla birlikte, bir binadaki radon konsantrasyonlarını etkileyen faktörlerin ayrıntılı bir çalışmasının yapılması için avantajlı olabilir fakat, personel zamanı ve veri analizi açısından pahalıdır ve bu nedenle genellikle yalnızca teşhis veya araştırma uygulamalarında kullanılır [31] (Şekil 15).



ŞEKİL 15. SÜREKLİ RADON MONİTÖRLERİ

9.1. JEOLJİK ÖZELLİKLER

Kıbrıs Adası, Doğu Akdeniz bölgesinde Avrasya ve Afrika-Arap levhaları arasında tektonik açıdan son derece aktif bir bölgede yer alır. Dolayısıyla Ada, Erken Mezozoikten beri bu levhaların kenarları boyunca riftleşme, yitim, üzerleme, kıta-kıta çarpışması ve transform faylanma gibi ardışık jeolojik olayların ürünü olduğu için karmaşık bir tektonik yapıya sahiptir. Adanın topografik karakteristikleri olan Trodos Ofiyolit Kompleksi Geç Kretase döneminde bir yitim-üstü zon ortamında meydana gelmiştir. Beşparmak Dağları/Pentadaktylos Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun eski aktif kıtasal kenarının bir parçasını oluşturur. Kıbrıs'ın yükselimi geç Kuvaterner'de devam etmiş ve çok sayıda denizel ve karasal seki oluşmuştur.

Bu şiddetli tektonizmanın sonucu olarak meydana gelen Adanın kuzeyindeki ana tektonik hatlar veya fay zonları kuzeyden güneye doğru şöyle sıralanabilir: [32, 33]

- 1) Girne Sıra Dağları'nın kuzeyindeki ters bindirme
- 2) Girne Sıra Dağları'nın güneyindeki Değirmenlik (Kythrea) Fayı
- 3) Ovgos (Dardere) Fayı
- 4) Trodos kuzey kenar fayı

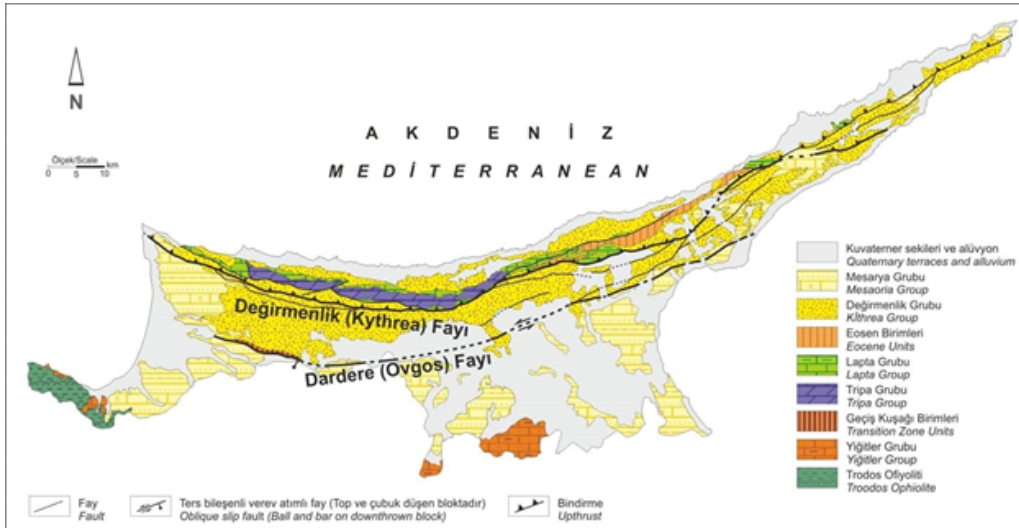
Kıbrıs Adası'nın jeolojik çatısını oluşturan dört ana zon veya istifte vardır. Bunlar: Trodos Ofiyoliti, Mamonia bölgesi, Beşparmaklar/Pentadaktylos bölgesi, Trodos çevresi sedimenter istifi ve Pliyo-Kuvaterner istifidir (Şekil 16). Kıbrıs'ın kuzeyi içinde bu istiflerden Trodos Ofiyoliti'nin üst kesimi, Trodos çevresi sedimenter istifi, Beşparmaklar/Pentadaktylos bölgesi ve Pliyo-Kuvaterner istifi bulunmaktadır (Şekil 17) [32,33]. Bu istifler aşağıda ana hatlarıyla tanıtılmıştır.

Trodos Ofiyolit İstifi: Ultramafik, mafik ve volkanik lavlardan oluşan istifin üst zonunu temsil eden andezitik tabakalı dayklarla çevrelenmiş bazik ve ultrabazik yastık lavlardan oluşan kesimi Kıbrıs'ın kuzeyi içinde yer alır. Adanın kuzeyinde, güney batısında takip edilen Masifin üst zonu alttan üste doğru sırasıyla diyabaz dayk karmaşığı, taban grubu, alt yastık lavlar ve üst yastık lavlar ile ana andezit ve bazalt dayklarından oluşur.

Trodos çevresi sedimenter istifi (Yiğitler/Arsos Grubu): Trodos ofiyolitik istifini uyumsuz olarak örten istif üstte doğru sığlaşan iç içe geçmiş karbonat çökelleri ve jipslerden oluşur. İstif alttan üste doğru şu birimlerden oluşur: kıltaşı ve volkanojenik kumtaşları; tebeşirler, tebeşir-çört ar dalanması; çört ara katmanlı ve yumrulu- kalın katmanlı tebeşirler; kumtaşı marn ve tebeşir ar dalanması, Lefke/Lefka kireçtaşı ve Miyosen yaşlı Kırıkale/Melouseia jipsi.



ŞEKİL 16. KIBRIS ADA'SININ JEOLJİK ÇATISINI OLUŞTURAN ANA KUŞAKLAR (CGSD, 1995).



Şekil 17. Kıbrıs'ın kuzeyinin jeoloji haritası (Hakyemez vd. 2002) [33]

Başparmaklar/Pentadaktylos İstifi: İstifin temelini Mezozoik yaşlı Tripa Grubu metamorfik karbonat kayaları oluşturur. İstif üste doğru ince katmanlı rekristalize kireçtaşı, kalkışist, fillit ve klorit şistler; dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara düzeyleri; siyah renkli dolomitler, laminalı kireçtaşları, metakumtaşı-metavolkanit, metaçört, fillit ve rekristalize kireçtaşından oluşan bir matriks ile rekristalize kireçtaşı ve ofiyolitli melanja ait farklı boyutlarda bloklar; pelajik ve yarı pelajik karbonatlarla asitik ve bazik volkanitler; kireçtaşı çakılları; çört yumrulu killi kireçtaşı-türbiditik kireçtaşı-kumtaşı araldanması; denizaltı lavlarından oluşan riyolit, dasit, trakit gibi asitik volkanitlerin piroklastik ve lavlar; bazaltik lavlar ve türbiditik kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, çört araldanması; kumtaşı-şeyl araldanması; kaba kumtaşı matriksli, farklı kaya türlerinde kaya blokları.

Pliyo-Kuvaterner yaşlı Değirmenlik/Kythrea Grubu: İstif, kumtaşları, çakıltaşları ve filiş türü kaya birimleri, şelf çamurtaşları ve jipslerden oluşur. İstif en üstte killi kireçtaşı, kumtaşı ve marnlar ve jips birimleriyle sonlanır.

Pliyo-Kuvaterner yaşlı Mesarya/Mesaoria Grubu: Tabanda çakıltaşı ve üzerinde marn ile başlayan istif, kumtaşı-marn-çakıltaşı araldanması- Trodos volkaniklerinden ve Beşparmak Dağları/Pentadaktylos türeyen çakıltaşlarıyla tamamlanır.

Güncel çökeller: Plaj kumları, kumullar, akarsu çakıl ve kumları, yamaç molozu çakılları ile heyelan kütleleri ve travertenler ile temsil edilir.

9.2. KIBRIS'IN Kuzeyinde JEOLJİ - RADON İLİŞKİSİ

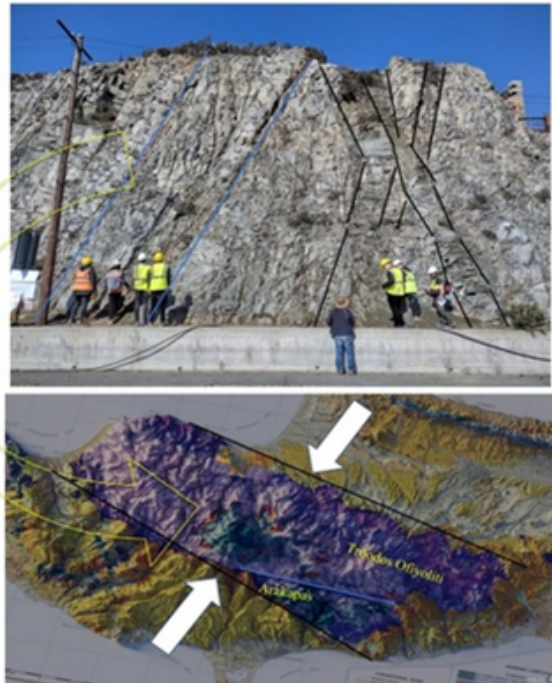
Bölüm 3' de etraflıca anlatıldığı gibi radon gazının en önemli kaynağı ilgili bölgenin jeolojik özelliklerine bağlı olarak kayalar, toprakta ve su kaynaklarındaki radyonüklidlerin varlığıdır. Dolayısıyla, şehirlerin kurulduğu bölgedeki kayaçlar ve toprağın mineralojik ve jeokimyasal bileşimi; buna bağlı olarak kayaçların, toprağın ve kullanılan yapı malzemelerinin radyonüklid içeriği; kayaların tektonik örselenmişliği, özellikle fayların varlığı, kayalardaki alterasyon ve bunlarla ilişkili olarak meydana gelmiş maden yataklarının varlığı ve yeraltı suyu ve suyun seviyesi kapalı ortamlarda radon gazının konsantrasyonunun artmasına neden olmaktadır. Buna göre Kıbrıs'ın kuzeyinde kalan alanın jeolojik özelliklerine bakıldığında radon gazının oluşması ve zenginleşmesinde öne çıkan özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- 1-Kayaların litolojik çeşitliliği ve bununla ilişkili olarak toprak yapısı
- 2-Faylar ve ilişkili jeolojik süreçler
- 3-Maden yatakları
- 4-Yeraltı suyu ve seviyesi

1-Litolojik çeşitlilik: Kıbrıs'ın kuzeyinde ve güney batısında jeoloji haritasından da (Şekil 17) görülebileceği gibi Trodos masifi'nin volkanik birimleri sınırlı bir alanı kaplamaktadır. Oluştukları petrolojik ve jeokimyasal süreçlerin bir sonucu olarak ofiyolitik istiflerin üst zonunu oluşturan volkanik birimler radyasyonun ana kaynakları olan U, Th ve K açısından istifin alt ve orta kesimlerini oluşturan kayalara göre daha zengindir. Bu durum Kıbrıs'ın kuzeyinde radon potansiyeli açısından son derece önemlidir. Adanın kuzeyinin geri kalan kısmı ise Trodos masifi ve Beşparmak dağlarındaki kayaların fiziksel ve kimyasal ayrışmasıyla meydana gelen son derece çeşitli ve iç içe geçmiş sedimanter birimler ve güncel alüvyonlarla kaplanmıştır. Bölgenin bu zengin litolojik çeşitliliği radon gazı oluşumu ve zenginleşmesi açısından son derece etkilidir. Bu çeşitlilik ve litolojik birimlerin böylesine iç içe geçmiş olması radon gazı ölçümlerinin planlanmasında çözülmesi gereken en önemli problemdir. Dolayısıyla Kıbrıs'ın kuzeyinde radon gazı çalışmalarının planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken birden çok litolojik parametre vardır.

2-Faylar ve ilişkili jeolojik süreçler: Kıbrıs'ın kuzeyine ait jeoloji haritasından (Şekil 17) görüleceği gibi bölge 4 önemli fay zonuyla kuzeyden güneye parçalanmıştır. Derin konumlu bu fay zonları, bir yandan yerin içinde biriken radon gazının yeryüzüne boşaldığı kanallar olurken, aynı zamanda kayaç ve topraklarda bulunan radon gazının konsantrasyonunun artmasına neden olan kayaların fiziksel ve kimyasal olarak ileri derecede ayrışmasını kolaylaştırmış ve kalsiyum açısından alkali tip, kalın bir toprak katmanının oluşmasını sağlamıştır. 1966 Taşkent/Vouno ve 1995 Kobe depremleri sırasında alınan kayıtlarda radon gazının deprem sırasında ve sonrasında oluşan artçı sarsıntılar ile birlikte ortama salındığı tespit edilmiştir. Aktif faylardan radon sızıntısı olmasına rağmen radon gazı konsantrasyonu, fay kırıldığı anda maksimuma ulaşmakta, depremin sönümlenmesiyle birlikte boşalarak doğal durumuna dönmektedir. Trodos Masifin'de tanımlanmış faylardan bir görüntü Şekil 18'de verilmiştir. Dolayısıyla Kıbrıs'ın kuzeyinde tanımlanmış ana fay hatları ve bunların tali kolları adanın radon açısından dikkate alınması gereken en önemli yerleridir.

ŞEKİL 18. TRODOS VOLKANİK İSTİFİNİ KESEN FAYLAR



3-Maden yatakları: Bu alanlar kimyasal alterasyonun etkin olduğu ve buna bağlı olarak element ve minerallerin dünya ortalamalarının çok üstünde zenginleştiği yerlerdir. Dolayısıyla hem işletilen aktif sahalar hem de terkedilen maden sahaları ve maden atıklarının depolandığı alanlar radon açısından da mutlaka hedef saha olarak dikkate alınıp, incelenmelidir. Kıbrıs'ın kuzeyinde metalik maden içeren jeolojik ortamlar; batıda, Lefke/Lefka-Yeşilirmak/Limnitis bölgesinde yüzeyleyen Trodos Ofiyolit Masifinin kenar-üst kısımlarını oluşturan yastık yapılı lavlar, Karpaz/Karpasia da izlenen bazik karakterli volkanitler ile Karpaz/Karpasia'nın güneyinde gözlenen genç çökel birimlerinden oluşur [34]. Kıbrıs Adası'nın metalik cevherleşmelerini n yaygın olarak gözlemlendiği birim "Trodos Ofiyoliti"dir. Trodos masifinin kuzeyindeki yaklaşık 60 km²'lik alan değerlendirmeye tabii tutulmuştur. Ada'nın metalik madenler yönünden esas zenginliğini oluşturan bakır sülfür yatakları da bu birimler içinde yer alır. Lefke/Lefka-Yeşilirmak/Limnitis arasında geniş yayılım gösteren bu yastık yapılı volkanitlere bağlı oluşan Cu-yatakları Karadağ/Mavrovouni bakır yatağı ve bir takım alterasyon zonlarına sahip olan Bağlıköy/Ambelikou, Ömerli/Galini, Yukarı Yeşilirmak/Xerovounos sahalarıdır.

Lefke/Lefka'nın yaklaşık 1,5 km güneybatısında yer alan Karadağ/Mavrovouni bakır yatağı büyük bölümü yeraltı işletmesi, çok az bir bölümü de açık işletme (Şekil 19) şeklinde olmak üzere işletilmiş, yeraltı işletmesinden 1973 yılına kadar yaklaşık 15 milyon ton cevher üretilmiş, galeriler deniz seviyesinin 250 feet (76,20m) aşağısına kadar inmiştir. Yatağın son durumuna ait görünüm Şekil 20'de verilmiştir. Karadağ/Mavrovouni bakır yatağı, dünyanın önemli "volkanik masif sülfid tipi-VSM" yataklarından biridir ve bu tip yatak, oluşum süreçlerinin jeokimyasal özelliklerinden dolayı U ve Th zenginleşmesine de sahip olabilmektedir.



ŞEKİL 19. LEFKE/LEFKA KARADAĞ/MAVROVOUNI AÇIK İŞLETME SAHASI

-Beşparmak/Pentadaktylos Dağ silsilesinde yer alan Lapta/Lapethos Grubu içinde bazik karakterli, yastık lavların içinde Balalan/Platanissos köyü yakınında, mangan ve bakır cevherleşmeleri tanımlanmıştır.

-Adanın kuzeyinin orta kesimlerinde Ziyamet/Leonarisso Köyü'nün güneyinde kalan kesiminde tebeşir, kireçtaşı ve marnlı seviyeler içinde jipsli mangan seviyeleri de saptanmıştır.

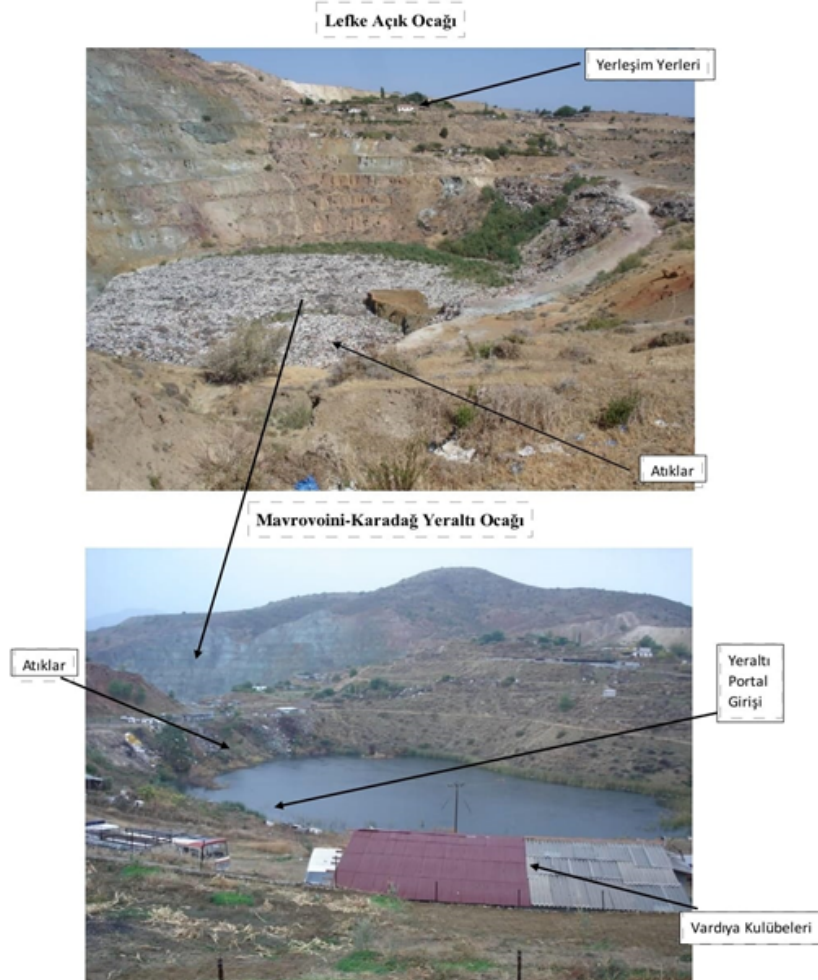
Maden atıkları: Eski çağlardan beri maden üretimi yapılan Ada'da maden işleme faaliyetlerinin arttığı eski cüruf yığınları gözlenir; özellikle Lefke/Lefka'nın güneyindeki maden ocakları sahasında atıklar yaygın olarak görülür. VSM tipi Kıbrıs bakır yatakları zengin Cu ve Zntenörlü yataklardır ve atıkları da önemli miktarda sülfür minerali (kalkopirit, sfalerit, pirit, vd.) içermektedir. Dolayısıyla Ada'nın kuzeyinde on binlerce ton maden atığı hem toprak ve su kirliliği açısından hem içerdikleri U ve Th gereği de radon gazı açısından potansiyel risk taşımaktadır.

Terkedilen maden sahaları atıkların yanı sıra Şekil 21'de görüldüğü gibi geride bırakılan işletme çukurlarında meydana gelen yapay göl suları nedeniyle de potansiyel risk taşımaktadır. Çünkü bu sular içinde yer aldıkları kayaların zengin element ve mineral içeriklerinden dolayı diğer göl sularına göre çok zenginleşmiş toksik element (Pb, As, Hg, U, Th, vd.) içeriğine sahip olmaktadır.



ŞEKİL 20. CMC TARAFINDAN İŞLETİLEN VE 1970 DE TERKEDİLEN KARADAĞ/MAVROVOUNI BAKIR YATAĞINDA SON DURUM

4-Yeraltı suyu: Yeraltı suları süzülerek içinde depolanıp-boşaldığı akiferin mineralojik ve kimyasal bileşimine bağlı olarak radyonüklid içerebilmekte, bu nedenle radon gazının önemli kaynağı (yaklaşık %18,5) olabilmektedir. Bu nedenle adanın en önemli su kaynağı olan ve toplam yüzey alanı 415 km² kadar olan Güzelyurt/Morphou akiferi (2/3 kadarı Kıbrıs'ın kuzeyinde kalmakta) ve akiferin beslenme alanı, radon gazı açısından incelenmelidir [34].



ŞEKİL 21. Kıbrıs'ın kuzeyinde terk edilen maden sahalarında maden çukurları ve oluşan yapay göller

Ada'da yapılan çalışmalardan dördü (4) aşağıda özetlenmiştir.

1.Çalışma: Kıbrıs'ın kuzeyinde Nilgün Çelebi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Girne/Kyrenia, Lefkoşa, Güzelyurt/Morphou, İskele/Trikomo ve Mağusa'da toplam 46 konutta radon ölçümü yapılmıştır [35]. CR-39 dedektörlerinin kullanıldığı bu çalışmada ev içi radon konsantrasyonları dağılımı 15-56 Bq/m³, genel ortalama 34,5±3,3 Bq/m³ olarak bulunmuştur.

Radon dedektörleri 2005 yılında Şubat ortasından Nisan ortasına kadar yaklaşık iki ay, zemin kat veya birinci katta bulunan binalarda oturma odalarına yerleştirilmiştir. Toplanan dedektörlere 4 saat boyunca 90°C, %25 NaOH şartlarında iz kazıma yöntemi uygulanmış ve Radometer 2000 ünitesi kullanılarak radon konsantrasyonları belirlenmiştir. Sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, Mağusa'nın batısında 40 km uzaklıkta yer alan Akova/Gypsou Köyünde bir konutta radon konsantrasyonu 984 Bq/m³olarak ölçülmüştür. Ölçümün doğruluğundan emin olmak için bu eve ve Akova/Gypsou Köyü'ndeki dört komşu eve yeni dedektörler dağıtılmıştır. Dedektörler evlerde 1 Temmuz - 3Eylül 2005 tarihleri arasında kalmıştır. Evdeki ikinci ölçüm 30 Bq/m³ olarak hesaplanmıştır. Diğer dört evdeki ölçümler ise 15, 28, 32 ve 33 Bq/m³' tür. Radon konsantrasyonunun yüksek olduğu ev araştırıldığında, ölçüm sırasında evin kapalı tutulduğu ve evin içine yerleştirilen LPG tankında zaman diliminde kaçak olduğu öğrenilmiştir. Bu çalışma havalandırmanın ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 6. Kıbrıs'ın kuzeyindeki konutlarda radon ölçümleri

Bölge	Yer	Bq/m ³	Bölge	Yer	Bq/m ³
GİRNE / KYRENIA	Alsancak/Karava	55	LEFKOŞA	Merkez	31
	Alsancak/Karava	24		Merkez	43
	Beylerbeyi/Balabayıs	28		Merkez	25
	Merkez	35		Merkez	28
	Merkez	26		Gönyeli/Guenylı	25
	Merkez	22		Merkez	29
	Merkez	52		Ortaköy/Ortakeuy	41
	Karaođlanođlu/AgiosGeorgios	53		Ortaköy/Ortakeuy	32
	Karaođlanođlu/AgiosGeorgios	54		Ortaköy/Ortakeuy	31
	Ortalama	38,8±14,4		Merkez	37
GUZELYURT /MORPHOU	Merkez	42	Merkez	29	
	Merkez	29	Merkez	56	
LEFKE / LEFKA	Gemikonağı/İksero	36	Ortalama	33,9±9,0	
	Merkez	29	Merkez	34	
	Ortalama	34,0±6,3	Merkez	31	
MAGUSA	Akova/Yıpsos*	984**	MAGUSA	Görneç/Kornokıpos	42
	Akova/Yıpsos*	30		Merkez	32
	Akova/Yıpsos	15		Merkez	49
	Akova/Yıpsos	28		Merkez	32
	Akova/Yıpsos	32		Merkez	30
	Akova/Yıpsos	33		Merkez	41
	Çayirova/Aytotoro	36		Merkez	25
	Nergizli/Yenađra	33		Merkez	34
	Merkez	41		Tuzla/Engomi	35
	Suburb	38		Tuzla/Engomi	24
	Ortalama	31,8±7,4		Ortalama	34,1±7,1
Genel Ortalama	34,5±3,3				

*AYNI KONUT

**BU DEĞER ORTALAMAYA ALINMAMIŞTIR

2.Çalışma: Adanın güneyinde (Lefkoşa, Limasol/Limassol, Larnaka/Larnaca, Mağusa ve Baf/Pafos) toplam 34 farklı köyde 84 bina ve konutta yapılan çalışmada, 222Rn konsantrasyonlarının, her ölçüm noktasına ait aritmetik ortalama değerinin 6.2-102.8 Bq/m³ arasında değiştiği bulunmuş, (aritmetik ortalama 19.3 ± 14.7 Bq/m³), en yüksek değer Limasol/Limassol - AgiaZoni köyüne, en düşük değer ise Lefkoşa- Latsia köyüne aittir [36]. Makalede birçok köyün fay zonları üzerinde yer aldığı, fayların yüzeye çıkan radon konsantrasyonunu artırdığı, iç mekân 222Rn konsantrasyonu sonuçları, binaların ve meskenlerin üzerine inşa edildiği jeolojik oluşumlar ile bir korelasyon gösterdiği ve en yüksek 222Rn konsantrasyonları, tebeşir oluşumları üzerine inşa edilmiş bina ve meskenler olduğu ifade edilmiştir. Makalede elde edilen 19.3 Bq/m³ genel ortalama 222Rn değerinin, rapor edilen dünya ortalama değeri olan 39 Bq/m³'ten (UNSCEAR 2000 raporu) iki kat daha düşük olduğu, bu sonucun da önceki çalışmalarla tutarlı olduğu ve Ada'da iklim koşullarının da etkisiyle bina ve meskenlerdeki 222Rn tehdidinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ifade edilmiştir. Makalede en yüksek değerlerin tebeşir birimleri üzerinde inşa edilmiş evde ölçülmüş olması son derece ilginçtir! Zira tebeşir birimleri normal koşullarda U, Th, Ra, vd. radyonüklid içeriği en düşük olan litolojik birimdir.

Bu çalışmada ölçüm yapılan binanın zemini Bölüm 9.2 de açıklandığı gibi iç içe geçmiş litolojilerin bir sonucu olabilir, örneğin volkanoklastik kırıntılar veya ayrılmış volkanik kaya çakılları gibi. Dolayısıyla Kıbrıs'ın kuzeyi radon ölçümü yapılacak yerleşim alanları ve konutlar konuda uzman jeologların gözetim ve danışmanlığında kapsamlı litolojik çalışmaların verilerine göre belirlenmeli ki elde edilecek sonuçlar bölgeyi açık ve net bir şekilde temsil edebilsin.

3.Çalışma: Bu makalede, Kıbrıs'taki atmosferik ve su sistemlerindeki radon seviyesini tespit etmek amacıyla Şekil 22'de verilen ölçüm noktalarında Alpha Guard radon monitörü kullanılarak iç ve dış mekân ve su kaynaklarında radon seviyeleri ölçülerek değerlendirilmiştir [37]. Mekânlarda radon yerinde elde ölçülmüş, sudaki radon konsantrasyonlarının analizi ise adanın çeşitli bölgelerinden toplanan musluk ve yeraltı suyu örnekleri kullanılarak yapılmış. Dış ve iç mekân radon konsantrasyonu için ortalama değer sırasıyla 11 ± 10 ve 7 ± 6 Bq/m³ ve musluk ve yeraltı suyu için sırasıyla 0,4 Bq l-1 ve 1,4 Bq l-1 olarak belirlenmiş. Bu verilerden, Kıbrıs nüfusuna havadaki radonun yıllık doz eşdeğeri yaklaşık 0.19 mSv y-1 olarak hesaplanmış ve bu sonucun, Kıbrıs'taki doğal ve insan yapımı iyonlaştırıcı radyasyonun toplam doz eşdeğerine kıyasla oldukça düşük olduğu ifade edilmiş. Su sistemlerindeki radon seviyesinin düşük olmasının nedeni de yeraltı suyu kaynaklarının kapsamlı bir şekilde kullanılması ve yeraltı suyu rezervuarlarına tuzdan arındırılmış deniz suyunun artan girdisi ile açıklamıştır.



ŞEKİL 22. RADON SEVİYELERİ İÇİN NUMUNE TOPLAMA VE/VEYA ÖLÇÜM YERLERİ. YILDIZ İŞARETLERİ HAVADAKİ RADONA, KARELER MUSLUK SUYUNA VE DAİRELER YERALTI SUYU ÖRNEKLERİNE KARŞILIK GELİR. [37]

4. Çalışma: Bu makalede yukarıda tanıtılan ilk makalede yayınlanan Lefkoşa'nın 15 yerleşim yerine ait kapalı ortam hava radon konsantrasyonları, kanser riskini oluşturma potansiyeli açısından değerlendirilmiş [38]. Toplam 15 yerleşim biriminde 2021-2016 döneminde 54 bina ve meskende ölçülmüş toplam 54 radon gazı sonucu (değerler 1,0-111,0 Bq/m³ arasında değişmekte) istatistik yöntemle değerlendirilmiştir. Sonuçta radon ile ilişkili akciğer kanseri ölüm oranı 4.07 (erkekler için 2.03 ve kadınlar için 2.04) olarak hesaplanmıştır. Bu oran farklı ülkelerle karşılaştırılmış ve İngiltere'den (ort.2.0) ve Meksika'dan (ort.1.5) daha yüksek, Amerika Birleşik Devletleri'nden (ort.6.4) ve Kanada'dan (ort.8.7) daha düşük olduğu bulunmuştur. Çalışma alanındaki akciğer kanseri ölümlerinin %30,4'ünün radon maruziyeti ile ilgili olduğunun tahmin edildiği, yaşam boyu akciğer kanseri riskinin sonucunun, WHO (2009) tarafından bildirilen dünya çapındaki aralıktan (%3-15) daha yüksek olduğu ortaya konmuş Radon ölçümlerinde ölçüm yerinin litolojik ve tektonik konumu son derece önemlidir; bu koşullara göre sonuçlar çok kısa mesafelerde önemli değişiklikler göstermektedir. Bu açıdan çalışmada varılan sonuç yoruma muhtaçtır.

SONUÇ

Esas olarak jeolojik koşulların denetiminde oluşan ve kapalı ortamlarda zenginleşen radon gazının (222Rn), günümüz insanının zamanının yaklaşık 19 saatini kapalı mekanlarda geçirmesi nedeniyle akciğer kanseri başta olmak üzere sağlık açısından ciddi risk oluşturduğu konu ile ilgili kurumlar tarafından kabul edilmiş ve buna göre düzenlemeler önerilmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2009) radondan kaynaklı sağlık risklerini azaltmak için evlerde 100 Bq/m³ değerini üst limit değeri olarak belirlemiştir. ICRP, 2007 yılında ev içi radon konsantrasyon miktarını 200 Bq/m³-300 Bq/m³ olarak yenilemiş ve ülkelerin bu değerleri dikkate almasını tavsiye etmiştir. ICRP, yıllık ortalama radon yoğunluğu 300 Bq/m³ olması durumunda, o yerin tehlikeli bölge olarak kabul edilmesini önermiştir.

AB Genel Sekreterliğine bağlı ilgili kurumlar, radon gazı değerinin (mevcut binalarda 400 Bq/m³ ve yeni yapılar için 200 Bq/m³) aşılmaması gerektiğini; yeni inşa edilen binalarda önce radon gazı ile ilgili risk değerlendirmesi yapılmasını ve özel kapalı ortam koşullarında bölgedeki radon emisyonunun mevsimsel ve hatta gece ve gündüz farklılıklarını da gösterecek şekilde ölçülmesini istemektedir.

Kıbrıs'ın kuzeyine dair kapsamlı bir radon gazı çalışması yapılmamıştır! Bölgeyle ilgili tek çalışmada, 2005 yılı Şubat - Nisan döneminde Girne/Kyrenia, Lefkoşa, Güzelyurt/Morphou, İskele/Trikomo ve Mağusa da toplam 46 konutta radon ölçümü yapılmış ve bölgede ortalama radon konsantrasyonunun en düşük 31,8 Bq/m³ (İskele/Trikomo) ve en yüksek 38,8Bq/m³ (Girne/Kyrenia) arasında değiştiği, genel ortalama radon değerinin de 34,5 Bq/m³ olduğu ortaya konmuştur (bakınız Bölüm 9.3, 1. çalışma).

Bu sonuçlara rastgele ölçümler sonucunda ulaşılmıştır. Çalışma radon gazının varlığını tespiti açısından son derece önemlidir. Bölgenin jeolojik yapısına uygun olarak yapılacak yeni çalışmalar ile farklı ölçüm sonuçlarına da ulaşılabileceği de dikkate alınmalıdır.

Lefkoşa için radon gazı-kanser ilişkisine dair yapılan bir çalışma da ise, radon gazı ilişkili kanser gelişme riski oranı %30,4 olarak hesaplanmış ve bu oranın WHO (2009) tarafından bildirilen dünya çapındaki aralıktan (%3-15) daha yüksek olduğu ortaya konmuştur. Akciğer kanseri ölüm oranı 4.07 (erkekler için 2.03 ve kadınlar için 2.04) olarak hesaplanmış. Bu oran örneğin İngiltere'den (ort.2.0) daha yüksek bulunmuştur. (bakınız Bölüm 9.3, 4. çalışma).

Tüm bu bilgi ve veriler ışığında Ada'nın kuzeyine bakıldığında, jeolojik-litolojik, tektonik-maden yatakları ve yeraltı suları açısından bölgenin radon gazı açısından kapsamlı bir şekilde incelenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Adanın litolojik çeşitliliği, litolojilerin iç içe-son derece karmaşık bir yapıda olması, bu karmaşık litolojinin derin konumlu faylarla kesilmiş olması ve özellikle bölgenin güney batısında terkedilmiş maden sahaları ve kontrolsüz maden atık sahaları bu çalışmanın derhal yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

ÖNERİLER

-Yapılacak çalışmanın konunun uzmanları tarafından dikkatli bir şekilde planlanıp uygulanması gereklidir. Zira radona eğilimli alanlarda, radon konsantrasyonlarının dağılım aralığı oldukça geniş olabilir ve dağılım log-normal dağılım olacak ve değerlerin çoğu çok düşük olabilecektir. Tersine, radon eğilimli olarak sınıflandırılmayan alanlarda düşük bir olasılık olsa da yüksek radon konsantrasyonuna sahip konutlar ortaya çıkabilir.

-Bu nedenle, radon eğilimli alanların belirlenmesinin yanı sıra yüksek radon konsantrasyonları ile ilişkili olabilecek herhangi bir bina karakteristiğinin belirlenmesi için çaba sarf etmek gerekir. Evlerdeki radon konsantrasyonları ile yerleşik bir korelasyon olması koşuluyla, radon eğilimli alanlar, doğrudan iç mekân ölçümleri kullanılarak veya topraktaki radon konsantrasyonu kullanılarak dolaylı olarak tanımlanabilir.

ÖRNEĞİN

Amerika Birleşik Devletleri radon haritasını iç mekan ölçümleri, jeolojik özellikler, hava radyoaktivitesi, toprak geçirgenliğinin bir kombinasyonuna dayalı olarak geliştirmiştir (USEPA 1993).

Almanya'da harita, toprak gazındaki radon konsantrasyonlarına dayanmaktadır. Avusturya'da ise sınıflandırma, belirli bir alandaki ortalama radon konsantrasyonuna dayanmaktadır.

-Ulusal bir politika geliştirmede önemli bir husus, ülke içinde evlerde yüksek radon seviyelerine sahip olma olasılığı en yüksek olan radon eğilimli alanları tanımlamak ve belirlemek için ulusal radon araştırmasının ve ulusal radon haritalarının sonuçlarının nasıl kullanılacağıdır.

-Radona eğilimli alanların çeşitli tanımları mevcuttur. Ülkeler, radon eğilimli bir alanı, evlerin belirli bir yüzdesinden fazlasının referans seviyesini aşan radon konsantrasyonlarına sahip olduğu tahmin edilen bir alan olarak tanımlayabilir.

Örneğin, radon eğilimli alanlar yüksek, orta veya düşük olarak kategorize edilebilir. Bu tür kararlar karmaşıktır ve ortalama radon seviyesi, referans seviyesi, bu alanlar için önerilen eylemler ve bu alanlardaki nüfus gibi birçok faktörün dikkate alınması gerekir. Radon eğilimli alanlar ideal olarak yüksek radon konsantrasyonlarına sahip tüm evlerin büyük bir bölümünü içermelidir.

-Tahmini yüksek konsantrasyonlara sahip evlerin sayısının büyük bir bölümünü içermesi gereken radona eğilimli alanlar belirlendikten sonra, ülkeler kaynaklarını bu alanlara yönlendirerek detaylı olarak araştırılmasını sağlamalıdır.

-Radon gazı konusunda halkı bilinçlendirmek için strateji oluşturularak kampanyalar düzenlenmeli ve bu bölgelerdeki ev sahiplerini evlerini radon için test etmeye teşvik etmelidir.

-Bu stratejiler, inşaatçılar, mimarlar, bölgesel ve yerel paydaşlar ve tıp camiası gibi halk sağlığı uzmanlarını ve konut ile ilgili kuruluşları ve profesyonelleri hedef alabilir.

Çevresel etkenlerin sağlık üzerindeki etkilerine yönelik yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular ve bu bulguları destekleyen hastalık tanıları, radon gazı da dahil olmak üzere, yaşadığımız çevrenin jeolojik unsurlarının çok iyi belirlenmesi ve buna göre stratejiler geliştirmenin, toplumların sağlıklılığı üzerindeki önemini ortaya koymuştur. Ortalama yaşam süresinin artmasıyla birlikte, sağlık harcamalarının ülke ekonomileri üzerindeki baskısı her geçen yıl artmaktadır. Sağlık harcamalarını düşürmenin en önemli yolunun/yönteminin hastalık yapıcı doğal/jeolojik unsurlarının tanınip önlem alınması olduğu bilincinde olan gelişmiş ülkeler hızla “Tıbbi Jeoloji Haritalarını” hazırlayarak, ülkelerin sağlık politikalarını bu haritalar bazında planlayıp/geliştirmektedir.

Radon gazı konusunda ise aşağıda belirtilen hususlar kapsamında hızla harekete geçilmesi gerektiği düşüncesindeyiz.

- 1- Sağlık bakanlığı, KTTB, KTMMOB Yerbilim Mühendisleri Odası, “belediyeler” ve üniversitelerin iş birliğinde hazırlanacak bir eylem planı kapsamında evlerde, okullarda, hastanelerde, AVM’lerde, yeraltı otoparklarında, madenlerde ve diğer her türlü işyerinde yaz ve kış döneminde olmak üzere en az yılda iki kez radon ölçümü yapılmalı; sonuçların halkın kolayca görebileceği bir yere asılması yasal zorunluluk haline getirilmeli.
- 2- Yeni yapılacak binaların zeminlerinin U, Th, Ra ve K içerikleri mutlaka analiz edilmeli, toplam 238U (226Ra), 232Th ve 40K aktivasyon değerleri ve 222Rn ölçümü yapılmalı; bu analiz ve ölçümlerin zorunlu olarak yapılması yasa ve yönetmeliklerle düzenlenmeli.
- 3- Yirmi yıl ve daha yaşlı binaların bodrum kat ve giriş katlarının zemin ve duvarları kontrol edilmeli, varsa çatlaklar kapatılmalıdır.
- 4- Bütün olarak şehirlerin, kasabaların ve köylerin radon haritaları hazırlanmalı.
- 5- Kıbrıs’ın kuzeyi dış ortam gama doz ölçümleri yapılmalı, ölçüm sonuçları harita halinde sunulmalı.
- 6- Bu haritalar en az 5 yılda bir periyodik olarak güncellenmeli.

- 7- Eğer doğal radyoaktivitesi yüksek bölgede ikamet ediliyor ise halk bilgilendirilmeli ve ev içi radon ölçümleri düzenli olarak yapılmalı (şahıslar veya devlet tarafından)
- 8- Radon riskinin yüksek olduğu bölgelerde tek katlı veya az katlı binalar toprak zemin üzerine yapılacak ise, özellikle köylerde, zemine polietilen bir naylon serildikten sonra bunun üzerine beton dökülmesi yararlı bir yöntem olabilir.
- 9- Radon riski yüksek bölgelerde inşa edilecek çok katlı binalarda ise, alınacak en etkili yöntemlerden birisi bina temeline küçük bir çukur açmak ve düşük güçlü elektrik motoru ile bu çukurun havasının düzenli olarak boşaltılması olabilir.

KAYNAKLAR

- [1]- Kovler, K.,Friedmann, H., Michalik, B. Schroeyers, W., Tsapalov, A., Antropov, S.,Bituh, T. &Nicolaidis, D., (2017).Basic Aspects of Natural Radioactivity. In:Naturally Occurring Radioactive Materials in Construction.
- [2]- M Charles (2001). UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Journal of Radiological Protection, 21(1): 83-85. HTU<http://www.iop.org/EJ/abstract/0952-4746/21/1/609UTH>
- [3]- European Commission, Directorate General JointResearc Center, 2005; An Overview of Radon Surveys in Europe, by Gregoire A.G. Dubols; EUR 21892 EN
- [4]- S Darby, D Hill, A Auvinen, J M Barros-Dios, H Baysson, F Bochicchio, H Deo, R, vd., 2005; Radon in home Sand Risk of Lungcancer: Collaborative Analysis of Individual Data from European Case-Control Studies, BMJ 2005; 330:223-, doi:10.1136/bmj.38308.477650.63. <http://bmj.bmjournals.com/cgi/reprint/330/7485/223.pdf>
- [5]- Canadian Nuclear Safety Commission, 2014, <http://nuclearsafety.gc.ca>,
- [6]- URL-2: <http://www.radon.com/>
- [7]- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Ataksor, B., N. Çelebi, N., 2008, A Study Of Indoor Radon Levels In Rural Dwellings Of Ezine (Çanakkale, Turkey) Using Solid-State Nuclear Track Detectors, Radiation Protection Dosimetry 2008, 131: 379 -384; doi:10.1093/rpd/ncn190

KAYNAKLAR

- [8]-Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi, N. (2005), Natural Radioactivity Levels in Granitic Plutons and Groundwaters in Southeast Part of Eskisehir, Turkey, Applied Radiation and Isotopes, Vol. 63, pp. 267-275.
- [9]- Misra, K.C.,2000; Maden Yataklarını Anlamak “Understanding Mineral Deposits” kitabın Türkçe çevirisi, Bölüm 14; TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Çeviri Serisi NO:3
- [10]- Örgün, Y., Altınsoy, N., Şahin, S.Y., Güngör, Y., Gültekin, A.H., G. Karahan, Karacık, Z.,2007, Natural and Anthropogenic Radionuclides in Rock and Beach Sands from Ezine Region (Çanakkale), Western Anatolia, Turkey. Applied Radiation Isotope, Vol. 65, pp. 739-747
- [11]- UNSCEAR Report 2000, Sources, Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York.
- [12]- UNSCEAR Report 2006, Report to the General Assembly, Vol 1: Effects of Ionizing Radiation with Scientific Annexes A and B
- [13]- Swaine, D.J., Goodarzi, F. (Eds.), 1995. Environmental Aspect of Trace Elements in Coal. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 312 pp.
- [14]- Aydar, E., Diker, C., 2021. Carcinogen soil Radon Enrichment in a Geothermal Area: Case of Güzelçamlı-Davutlar District of Aydın City, Western Turkey; Ecotoxicology and Environmental Safety. January 2021, 208:111466 DOI:10.1016/j.ecoenv.2020.111466
- [15]- Lorenzo-González, M., Ruano-Ravina, A., Joaquín Peón, J., Piñeiro, M., Juan Miguel Barros-Dios, J.M., 2017. Residential Radon in Galicia: A Cross Sectional Study in a Radon-Prone Area. J. Radiol. Prot., 37, 728-741.
- [16]- Renken, K.J., & Rosenberg T., 1995, Laboratory Measurement of the Transport of Radon Gas through Concrete Samples, Health Phys. 1995, June 68(6), p.800-810
- [17]- Rogozen, M.B., 2003; Dynamic Simulation of Radon Daughter Concentration in Apartments Using Solar Rockbed Heat Storage. Environmental International 2003, 8, p.89-96
- [18]- <http://www.pcchu.ca/2014/11/04/q-whats-in-visible-causes-cancer-and-could-potentially-be-in-your-home/>
- [19]- Çelebi N., Ataksor B., Taşkın H. and Albayrak Bingoldağ N., (2014). Indoor Radon Measurements in Turkey Dwellings, Radiation Protection Dosimetry, November 11, ss.
- [20]- Fişne, A., Ökten, G., Çelebi, N., 2004; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Yeraltı Maden Ocaklarında Radon Gazı Yayılımının İncelenmesi; Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s.193-202.

KAYNAKLAR

- [21]- IAEA,2003, International Atomic Energy Agency, Safety Reports Series No.33, Radiation Protection Against Radon in Work Places Other than Mines, Vienna, 2003.
- [22]- ICRP,2009, International Commission on Radiological Protection. ref 00/902/09), Statement on Radon, (ICRP Ref 00/902/09).<http://www.icrp.org/publications.asp>
- [23]- World Health Organization (WHO) 2009. WHO Handbook on Indoor Radon: a public health perspective.
- [24]- TAEK, 2012; Teknik Rapor: Kapalı Ortamlarda Radon Gazı.
- [25]- Yoon JY, Lee J-D, Joo SW, Kang DR. 2016. Indoor Radon Exposure and Lung Cancer: A Review of Ecological Studies. Ann. Occup. Environ. Med. 28: 15
- [26]- Urban, M.,and Piesch, E. 1981. "Low-Level Environmental Radon Dosimetry with a Passive Track Etch Detector Device". Radiation Protection Dosimetry. 1:97-109.
- [27]- NCRP, 1988. "Measurement of Radon and Radon Daughters in Air". National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, Report No.97:1-174.
- [28]- Miles, J.C.H.,Kendall, G.M., Ibrahim, F., Howarth, C.B., Practical Considerations for Radon Etched Track Dosimetry Service, J. Radiol. Prot. 24 (2004) 165-171.
- [29]- Luetzelschwab, J.W.,Hastings, L., Ellis, S.M., Adsorption of Rn-222 by Open-faced and Diffusion Barrier Canisters at Different Conditions of Temperature and Humidity, Health Phys. 66 (1994) 63-71.
- [30]- International Organization for Standardization, Measurement of Radioactivity in the Environment – Air: Radon-222 – Part 4: Integrated Measurement Method for Determining Average Activity Concentration using Passive Sampling and Delayed Analysis, ISO Standard 11665-4:2012, ISO, Geneva (2012).
- [31]- International Organization for Standardization, Measurement of Radioactivity in the Environment – Air: Radon-222 – Part 5: Continuous Measurement Method of the Activity Concentration, ISO Standard 11665-5:2012, ISO, Geneva (2012).
- [32]-Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi, 2022, Kuzey Kıbrıs'ın Tersiyer Jeolojisi, Cilt 2, yazarlar: Ayhan Ilgar, Ali Ergen
- [33] -Hakyemez, H.Y., 2014, Kuzey Kıbrıs'ın Temel Jeolojik Özellikleri, TPJD Bülteni, Cilt 26, Sayı 2, Sayfa 7-46, 2014
- [34] -MTA, 2000, Kuzey Kıbrıs'ın doğal kaynaklarını araştırma ve geliştirme projesi.

KAYNAKLAR

- [35]- Çelebi N., Aybar H., Taşdelen M., AtaksorB, Taşkın H., Aybar Ş., 2006. "Indoor Radon (^{222}Rn) Concentration Measurements in North Cyprus". 6th. Inter. Balkan Physical Conference, İstanbul, 989.
- [36]- Anastasiou, A; H. Tsertos, H.,Christofides S., Christodoulides G., 2003; Indoor radon(^{222}Rn) Concentration Measurements in Cyprus using High-Sensitivity Portable Detectors; Journal of Environmental Radioactivity 68 (2003)159-169
- [37]- Sarrou, I, Pashalidis, I., 2003, Radon Levels in Cyprus, Journal of Environmental Radioactivity 68(2003) 269-277. doi:10.1016/S0265-931X(03)00066-3
- [38]- Abbasi, A.,Tulucu, F., Issa, S.A.M., Algethami, M., Mirekhtiary, F., Zakaly, H.M. H., 2022, Modelling and Calculation of Risk due to Radon Concentration in Residential Houses, Nicosia, Cyprus, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2022) 331:1335-1341
<https://doi.org/10.1007/s10967-022-08203-6>

Sigara'dan sonra

RADON GAZININ

*ciğerlerimize ikinci büyük
tehlike olduğunu biliyor
muydunuz ?*

Doğal kaynaklardan yüzeye
çıkararak evlerin içinde biriken
ve kanserojen olan radon gazı,
akciğer kanserine yol açıyor.



Bu kitap, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen Sivil Büyü programının desteğiyle üretilmiştir. İçeriğinin sorumluluğu yalnızca KTMMOB Yerbilim Mühendisleri Odası'na aittir ve Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir.



Yerbilim
Mühendisleri Odası

