

KAPALI ORTAMLARDA RADON VE YAPI MALZEMELERİNDEKİ RADYOAKTİVİTEYE İLİŞKİN KILAVUZ

RSGD-KLV-013



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR	ii
1. KILAVUZUN AMACI	1
2. RADON	1
2.1. Binalarda Radon.....	2
2.2.Radon Konsantrasyon Limitleri.....	3
2.3. Binalarda Radon Kontrol Yöntemleri	4
3. YAPI MALZEMELERİNDE RADYOAKTİVİTE.....	5
3.1. Yapı Malzemelerindeki Radyoaktivitenin Kontrolü	6
KAYNAKÇA	8

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Bq	: becquerel (1 parçalanma/saniye)
°C	: santigrat derece
Dak	: dakika
I	: indis
IAEA	: International Atomic Enerji Agency (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı)
ICRP	: The International Commission on Radiological Protection (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi)
K	: potasyum
kg	: kilogram
l	: litre
m	: metre (1 m = 100 cm)
μ	: mikro
n	: nano
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı)
Ra	: radium
sn	: saniye
Sv	: Sievert (1 Sv = 1000 mSv)
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Th	: toryum
U	: uranyum
UNSCEAR	: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

1. KILAVUZUN AMACI

Bu kılavuz:

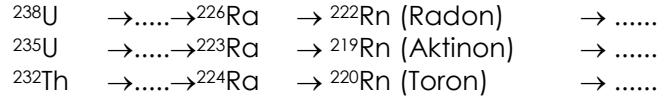
- 1) İnsanların yaşadığı kapalı ortamlarda sıklıkla bulunabilen radon ve radon bozunma ürünlerinden kaynaklanan doğal radyoaktivite hakkında bilgi vermek ve korunma yöntemlerini açıklamak,
- 2) Yapı işlerinde veya bu işlerin herhangi bir kısmında kalıcı olarak kullanılmak üzere üretilen malzemelerde doğal olarak var olan radyoaktivite seviyelerinin sınırlandırılmasına yönelik olarak yol gösterici bilgi sağlamak

amaçlarıyla hazırlanmıştır.

2. RADON

Doğal radyasyon kaynaklarından alınan dozun en önemli bileşeni, radon gazı ve onun kısa yarılanma ömürlü bozunma ürünleridir. Dünya genelinde radon gazından dolayı maruz kalınan yıllık ortalama doz 1,2 mSv'dir [9]. Radon; uranyum ve toryum içeren kayalardan, topraktan gelmekte ve gaz halinde olması nedeniyle bulunduğu ortamın boşluklarında ilerleyerek atmosfere sızmaktadır. Sıcaklık, basınç farklılıkları ve toprağın yapısı (nem, gözeneklilik ve geçirgenlik) sızmayı etkileyen en önemli faktörlerdir.

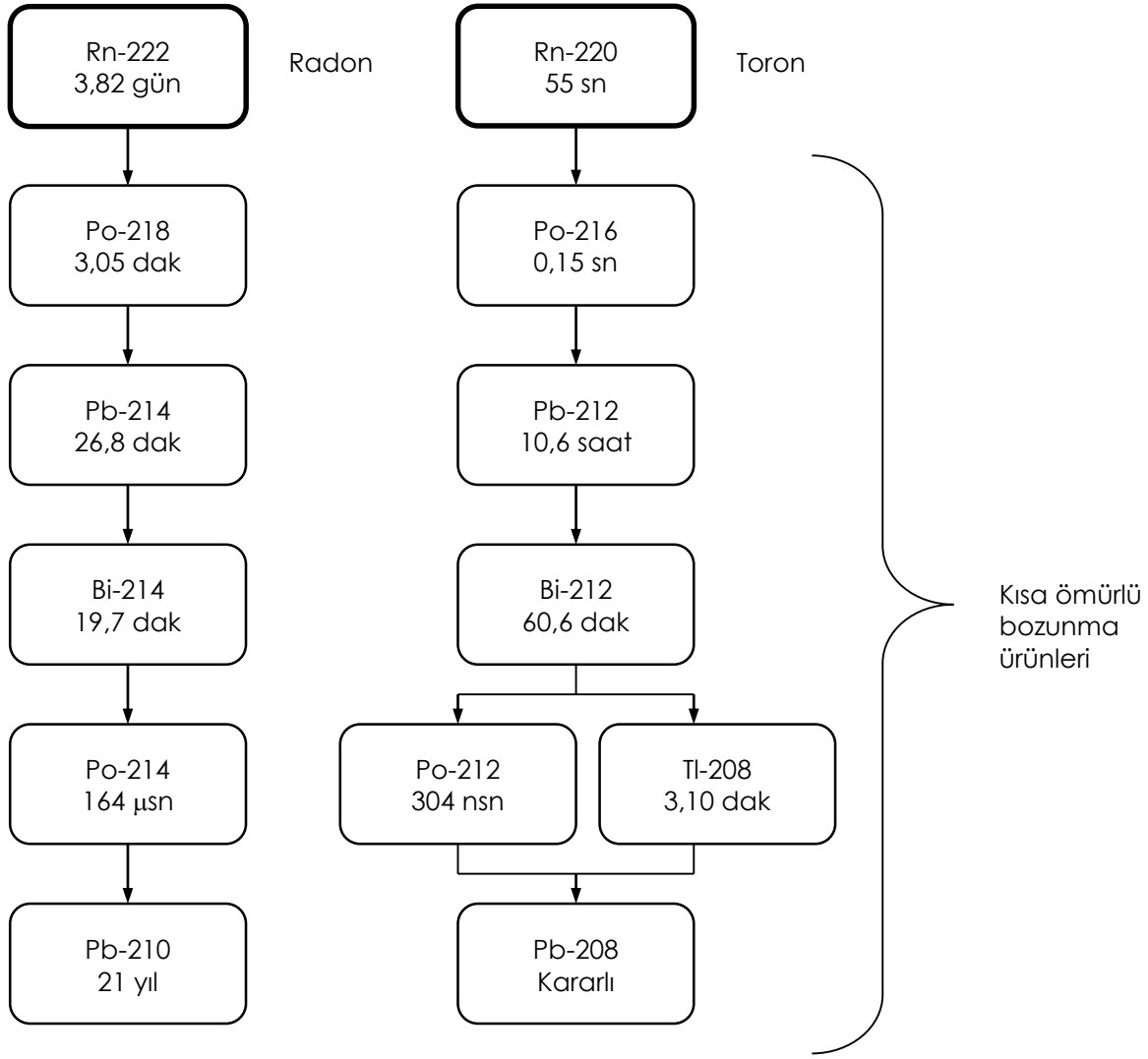
Radon, 86 atom numarası ile periyodik cetvelin soy gazlar sınıfında yer alan, renksiz, kokusuz, tatsız, gözle görülemeyen radyoaktif bir gazdır. Erime noktası -71°C , kaynama noktası ise $-61,8^{\circ}\text{C}$ 'dir. Radon, kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun ve toryumun bozunması sonucunda oluşur. Aşağıda verilen bozunma şemasında da görüldüğü üzere radonun; radon, toron ve aktinon olarak isimlendirilen üç izotopu bulunmaktadır.



Bu radyoizotoplardan radonun yarılanma ömrü 3,8 gün, toronun 55 saniye ve aktinonun ise 3,9 saniyedir. Aktinonun yarı ömrünün çok kısa ve doğal uranyumdaki U-235/U-238 oranının çok düşük seviyelerde olması sebebiyle aktinonun etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Toron ve aktinonun yarılanma ömürleri saniyeler mertebesinde olduğu için radon denilince akla Rn-222 gelmektedir. Kararsız bir radyoizotop olan radon kararlı hale geçene kadar alfa parçacıkları yaymak suretiyle radyoaktif bozunmaya devam ederek nihai ürünü olan kurşuna dönüşür. Rn-222 ve Rn-220'nin bozunma zinciri Şekil 1'de verilmiştir.

Radon bozunma ürünlerinin bir kısmı kimyasal olarak aktif katı parçacık formundadır ve havada asılı kalmış parçacıklara tutunur. Bu parçacıklar, solunumla akciğere yerleşirler ve yayınladıkları alfa parçacıkları ile akciğerin ışınlanmasına neden olurlar.

Açık havada radon oldukça düşük konsantrasyonlara kadar seyrelmiş olmakla birlikte kapalı ortamlarda radon konsantrasyonu daha yüksektir. Kapalı ortamlardaki radon konsantrasyonu uzun süreli maruz kalındığında insan sağlığını etkileyebilecek seviyelere ulaşabilir.

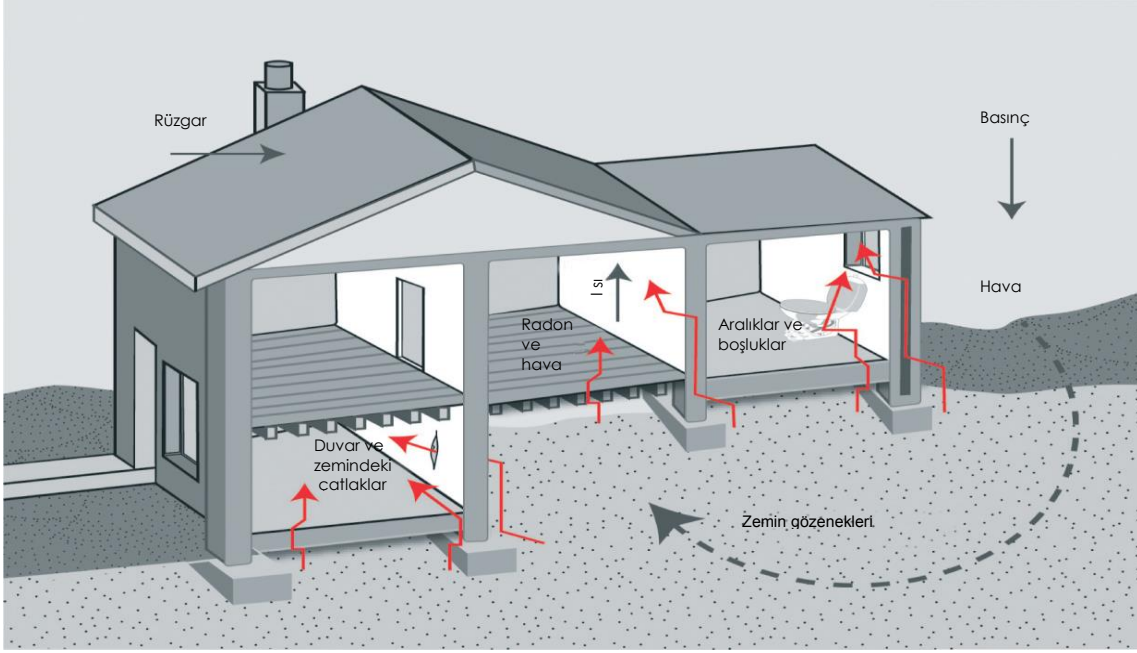


Şekil 1. Rn-222 ve Rn-220 bozunma ürünleri

2.1. Binalarda Radon

Binalardaki radonun kaynağı binanın altındaki toprak ve kayalar, yapı malzemeleri, su ve doğalgazdır. Şekil 2'den de görüleceği gibi radon, binalara zemindeki çatlak ve kırıklardan, yapıdaki bağlantı noktalarından, duvar çatlaklarından, zemin yapısında bulunan boşluklardan girerek birikmekte, binalarda kullanılan su ve doğalgaz da bir miktar radon birikimine sebep olabilmektedir.

Topraktaki ve yapı malzemelerindeki radyum miktarı, toprak ve yapı malzemelerinin nem oranı, difüzyon potansiyeli, toprakla temasta olan yapının yüzey alanı ve yalıtım niteliği, bina zemini, binadaki havalandırma kapasitesi, iklim koşulları, iç-dış hava sıcaklık ve basınç farkı binalardaki radon konsantrasyonunu etkileyen temel unsurlardır. Ayrıca, jeolojik ve coğrafi yapı, kullanılan inşaat malzemelerinin kalitesi, yaşam alışkanlıkları, evin ısıtılma şekli, sosyoekonomik durum gibi etkiler nedeniyle evlerdeki radon aktivite konsantrasyonu ülkeden ülkeye de değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 2. Radonun binalara giriş yolları [9]

2.2.Radon Konsantrasyon Limitleri

Kapalı ortamlarda radon ve radon bozunma ürünlerine maruz kalmanın akciğer kanseriyle sonuçlanabileceği ve sigaradan sonra akciğer kanserinin en önemli nedeninin radon olduğuna dair güçlü kanıtlar olduğu Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından rapor edilmektedir [6], [11].

Epidemiyolojik bulgular, kapalı ortamda radon ve bozunma ürünlerine uzun süre maruz kalmış bireylerin akciğer kanserine yakalanma oranlarının yüksek olduğunu göstermiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre bazı ülkelerde, akciğer kanseri nedeni olarak radonun sigaradan sonra ikinci sırada yer aldığı belirtilmektedir. Radonun akciğer kanserine sebep olma ihtimali sigara içen ya da bırakmış insanlarda daha yüksek olmakla birlikte hiç sigara içmemiş kişilerde de akciğer kanseri olma nedenidir. Dünya Sağlık Örgütü akciğer kanseri vakalarından radonla ilişkilendirilen vaka oranının hesaplama yöntemine ve ülkedeki radon konsantrasyonuna bağlı olarak %3-14 arasında değiştiğini belirtmektedir. Epidemiyolojik çalışmalar, radon seviyesinin konutlarda nispeten düşük olmasına rağmen, ev içi radon ışınlanması ile akciğer kanseri arasında bir bağlantı olduğunu kanıtlamaktadır.

Çizelge-1 'de bazı ülkelerde ölçülen kapalı ortam radon konsantrasyonları verilmektedir. İnsanlar yaşamlarının büyük çoğunluğunu kapalı ortamlarda geçirdiğinden radon ışınlanmasına karşı korunmaya yönelik stratejilerin, yüksek radon konsantrasyonlarının düşürülmesi ve böylece genel toplum dozunun azaltılması doğrultusunda halk sağlığı bakış açısıyla ele alınması önem arz etmektedir.

Gerek Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından yayımlanan uluslararası temel güvenlik standartları gerekse Avrupa Birliği'nin temel güvenlik standartlarının belirlendiği 2013/59/EURATOM sayılı Direktifine göre evlerde kapalı ortam havasındaki radonun yıllık aktivite konsantrasyonunun 300 Bq^m-3 seviyesini aşmamasının sağlanması; bunu teminen yeni binalarda önleyici tedbirlerin, eski binalarda ise azaltıcı tedbirlerin alınması esastır [2],[4].

Çizelge 1. OECD Ülkelerinde evlerde ölçülen ortalama radon konsantrasyon değerleri*(Bqm⁻³) [11]

Ülke	Radon Kons.	Ülke	Radon Kons.	Ülke	Radon Kons.
ABD	46	Güney Kore	53	Kanada	28
Almanya	49	Hollanda	23	Lüksemburg	110
Avusturya	99	İngiltere	20	Macaristan	82
Avustralya	11	İrlanda	89	Meksika	140
Belçika	48	İspanya	90	Polonya	49
Çek Cumhuriyeti	140	İsveç	108	Portekiz	62
Danimarka	59	İsviçre	78	Slovakya	87
Finlandiya	120	İtalya	70	Türkiye	81
Fransa	89	İzlanda	10	Yeni Zelanda	22
Norveç	89	Japonya	16	Yunanistan	55
		Dünya Ortalaması	39		

*Aritmetik ortalamalar alınmıştır.

Bu doğrultuda; halkın erişimine açık ve uzun zaman geçirdikleri okul, hastane, alışveriş merkezleri gibi kapalı ortamlarda ve işyerlerinde de havadaki radon konsantrasyonu seviyesi 300 Bqm⁻³ değerini aşmamalıdır.

Halkın erişiminin ve geçirdiği zamanın kısıtlı olduğu kapalı ortam işyerlerinde radon konsantrasyon seviyesinin ortalama yıllık 1000 Bqm⁻³ değerini aşmamasının sağlanması tavsiye edilmektedir. Kaplıca, spa merkezleri gibi yerler ile yer altı işyerleri bu kapsamda değerlendirilir. Bu gibi işyerlerinde, özellikle zemin ve bodrum katlarında radon ölçümleri yaptırılmalı, ölçümlerin çalışanların çalıştıkları yerlerde ve burada geçirilen zaman zarfında yapılmasına özen gösterilmelidir. Ölçüm sonuçları dikkate alınarak ortamdaki radon konsantrasyonu 1000 Bqm⁻³ değerini aşmayacak şekilde havalandırma sistemlerinin kurulması ve etkin çalıştırılması da dahil olmak üzere radon konsantrasyon seviyesinin azaltılmasına yönelik tedbirler alınmalı, çalışanların radon konsantrasyonunun yüksek olduğu ve yeterince düşürülemediği alanlarda çalışma süresinin kısıtlanması gibi tedbirlerle çalışma koşulları düzenlenmelidir [3], [6].

2.3. Binalarda Radon Kontrol Yöntemleri

Binalardaki radon konsantrasyonuna ve binanın yapısına bağlı olarak aşağıdaki tedbirler alınarak ortamdaki radon konsantrasyonu azaltılabilir. Radon konsantrasyonun yüksek olduğu binalarda birden fazla önlemin bir arada kullanılması gerekebilir.

- Binaların toprak ile temas eden yüzeyleri ve birleşim yerleri sızıntıya imkân vermeyecek şekilde izole edilmelidir.
- Evlerin duvarlarında, su ve kanalizasyon borularının geçtiği yerlerde bulunan çatlaklar, açıklıklar onarılmalı ve kapatılmalıdır.
- Binaların projelendirme safhasında zemin etüdü ve jeolojik yapı dikkate alınarak radon gazının binaya girmeden atmosfere tahliye edileceği sistemler düşünülmelidir.
- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır.
- Yerden ve duvarlardan bina içine sızan radon gazı bina içindeki konsantrasyonu artıracaktır. Bu nedenle, kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmelidir. Evlerde, kapı ve pencerelerde izolasyon varsa havalandırma süresi arttırılmalıdır.

3. YAPI MALZEMELERİNDE RADYOAKTİVİTE

Yer kabuğu kökenli malzemeler (kaya, toprak, kömür, mermer, granit, traverten, kireçtaşı, alçıtaşı, vb.) az veya çok miktarda doğal olarak var olan uranyum-radyum (U-238 - Ra-226), toryum (Th-232) doğal radyoaktif serilerine ait radyonüklitleri ve potasyum (K-40) radyoizotopunu içermektedir. Bu tür malzemelerden yayınlanan gama radyasyonu, doğrudan dış ışınlamaya sebep olurken bu malzemelerden serbest kalması sonucunda solunum yoluyla vücuda girebilen radon, toron ve bunların yarılanma süreleri kısa olan bozunum ürünleri tarafından yayınlanan alfa ve beta ışınları ise iç ışınlamaya neden olmaktadır.

Açık havada ya da kapalı ortamlarda yaşayan veya çalışan bireylerin radyasyona maruz kalma durumu farklılık göstermektedir. Binalar dış hava radyasyonuna karşı zırh görevi yaparak radyasyon maruziyetini azaltmaktadır. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre dünya genelinde kapalı ortamlarda gama radyasyonu nedeniyle maruz kalınan ortalama radyasyon dozu, açık havada maruz kalınan dozun 1,4 katıdır [10]. Ancak yapı malzemelerinin doğasında bulunan radyonüklitler dolayısıyla bina içi doz hızında artış görülebilmektedir.

Yapı malzemelerinin kapalı ortamdaki radon konsantrasyonuna katkısı düşük radon konsantrasyonlarında önem arz eder. Yapılan araştırmalar, yapı malzemelerinin kapalı ortamdaki radon konsantrasyonuna katkısının 10 Bqm⁻³ olduğunu göstermektedir. Dünya genelinde radon konsantrasyonunun yıllık aritmetik ortalamasının 39 Bqm⁻³ olduğu göz önüne alındığında, yapı malzemelerinin kapalı ortam radon konsantrasyonuna katkısının %25 mertebesinde olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinde bu katkının 10-20 Bqm⁻³ aralığında olduğu tahmin edilmektedir [5], [11].

Radon yayılımına sebep olan yapı malzemelerinin başında alümin şeylli betonlar, volkanik tüfler, granitler ve fosfojipsler gelmektedir. Gama ışınlamasına sebep olan yapı malzemelerinin listesi ise Çizelge-2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Gama radyasyonu yayan yapı malzemeleri [2]

1. Doğal malzemeler

- alüminli şeyl
- doğal magmatik orijinli yapı veya katkı malzemeleri
 - granitik kayaçlar (granit, siyenit, ortognays gibi)
 - porfir
 - tuf
 - puzolan (puzolan külü)
 - lav

2. Doğal oluşan radyoaktif malzemenin işlenmesi sonucu oluşan sanayi atıkları

- uçucu kül
- fosfojips
- fosfor cürufu
- kalay cürufu
- bakır cürufu
- kırmızı çamur (alüminyum üretimi artıkları)
- çelik üretimi artıkları

Beton, en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Betonda doğal kaynaklı radyonüklit konsantrasyonlarındaki değişim, kullanılan balast malzemeleri ve kimyasal katkı maddelerinin türüne bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan kum, çakıl gibi balast malzemeleri genellikle betonun radyoaktif içeriğini arttırmaz. Bununla birlikte yüksek Ra-226 ve K-40 aktivite konsantrasyonu içeren pomza taşı, yüksek U-238 ve K-40 aktivite konsantrasyonu içeren kuvertiz gibi balast

malzemeleri betonun radyoaktivitesini arttırabilmektedir. Gaz beton, içeriği betonla aynı olmakla birlikte gözenek oluşturmak amacıyla eklenen alüminli şist nedeniyle konsantrasyonu 2600 Bqkg⁻¹ mertebelerine varan değerlerde Ra-226 içerebilmektedir [5]. Ayrıca, gördükleri işlemlere bağlı olarak radyoaktivite konsantrasyonu artmış olabilecek uçucu kül, sepere edilmiş kül ve fosfojipslerin çimento ve hazır beton içerisine belli bir oranda katıldığı bilinmektedir.

Granit ve mermer gibi doğal yapı malzemelerinde Ra-226 konsantrasyonu genellikle yüksek olmakta, granitte ayrıca yüksek Th-232 ve K-40 konsantrasyonları bulunabilmektedir [5].

3.1. Yapı Malzemelerindeki Radyoaktivitenin Kontrolü

Yapı malzemelerinin kullanım alanının genişliği nedeniyle bunlardan kaynaklanan radyasyonun tamamen önlenmesi mümkün olmamakla birlikte, yapı malzemelerindeki radyoaktivite seviyesi kontrol edilerek toplum üyelerinin alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulmasına, maruz kalınan doğal radyasyon seviyesinin bu malzemeler nedeniyle artmasının önlenmesine çalışılmaktadır.

Yapı malzemelerindeki doğal radyonüklitler düzgün dağılımlı olmadıklarından, bu radyonüklitlerden kaynaklanan radyolojik tehlikeleri hesaba katmak ve Ra-226, Th-232 ve K-40'ın aktivite konsantrasyon seviyesini temsil etmek amacıyla türetilen radyum eşdeğer aktivite indisi (Ra_{eq}), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [8].

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + \left(\frac{10}{7}\right) \cdot A_{Th} + \left(\frac{10}{130}\right) \cdot A_K$$

Burada, A_{Ra} , A_{Th} ve A_K ; yapı malzemelerindeki Ra-226, Th-232 ve K-40'ın Bqkg⁻¹ cinsinden aktivite konsantrasyonudur.

1979 yılında OECD Nükleer Enerji Ajansı Uzmanlar Grubu tarafından yayımlanan raporda, konut ve işyerlerinin yapımında kullanılan malzemelerde radyum eşdeğer aktivite indisi için tavsiye edilen üst sınır, 370 Bq/kg olarak belirlenmiştir. Günümüzde hâlâ bazı ülkeler tarafından kullanılan radyum eşdeğer aktivite indisi için tavsiye edilen üst sınırın altındaki değere sahip malzemelerin yapı malzemesi olarak kullanılmasının, radyolojik açıdan herhangi bir tehlike oluşturmayacağı belirtilmiştir [7].

Avrupa Komisyonu tarafından 1999 yılında yayımlanan Radyasyondan Korunma-112 No'lu raporda, yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz, 1 mSv olarak sınırlandırılmış ve bu değer üzerinde yıllık etkin doza sebep olabilecek miktarda radyoaktivite içeren yapı malzemelerinin, Avrupa Birliğine üye ülkelerde kullanımlarının kısıtlanması öngörülmüştür [1].

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansının halkın kapalı ortamlardaki radondan ve diğer doğal radyasyonlardan korunmasına ilişkin olarak hazırlanan güvenlik serisi kapsamındaki kılavuzlarında da yapı malzemelerinden kaynaklanan yıllık etkin doz için referans değer 1 mSv olarak belirlenmesi tavsiye edilmektedir [5]. Bu doza karşılık gelen aktivite konsantrasyon indisi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır [1],[2]:

$$I = \frac{C_{Ra}}{300 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_K}{3000 \text{ Bqkg}^{-1}}$$

C_{Ra} , C_{Th} , C_K ; birimi Bqkg⁻¹ olmak üzere sırasıyla radyum, toryum ve potasyum aktivite konsantrasyonlarıdır.

Aktivite konsantrasyon indisi; malzemenin yoğunluğuna, kalınlığına, yapı içinde kullanılma şekline ve miktarına bağlı olarak, aşağıdaki çizelgede verilen değerleri aşmamalıdır. Aktivite

konsantrasyon indisinin bu değerlerden küçük veya eşit olması durumunda yapı malzemesi, herhangi bir kısıtlama olmadan kullanılabilir.

Çizelge 3. Yapı malzemeleri için Aktivite Konsantrasyon İndisi [1]

Malzeme	I
Çok kullanılan malzemeler (beton, tuğla gibi yapısal malzemeler)	≤ 1
Yüzey malzemeleri veya kullanımı az olan malzemeler (kiremit, seramik, kaplama malzemeleri gibi)	≤ 6

Yapı malzemelerinde endüstriyel yan ürünler kullanılması durumunda nihai ürünün aktivite konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Doz sınırlaması nihai ürüne uygulanmaktadır.

Yapı malzemelerinin kullanımının sınırlandırılması, yerel, hatta ulusal boyutta ekonomik, çevresel ve sosyal problemleri beraberinde getirebilmektedir. Bazı yöresel doğal yapı malzemelerinde yıllık 1 mSv doz sınırlamasının aşıldığı görülebilmektedir. Böyle durumlarda ekonomik ve sosyal maliyetler göz önüne alınarak kapsamlı bir değerlendirmenin yapılması tavsiye edilmektedir [1],[2].

KAYNAKÇA

[1] EC (European Commission), 1999. Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Radiation Protection 112, Directorate- General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.

[2] EURATOM, 2013. Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom, Official Journal of the European Union (17.1.2014).

[3] IAEA, 2003. Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Reports Series No. 33, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[4] IAEA, 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[5] IAEA, 2015. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, Specific Safety Guide No. SSG-32, International Atomic Energy Agency, Vienna.

[6] ICRP, 2014. Radiological protection against radon exposure, ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).

[7] OECD-NEA, 1979. Exposure to radiation from natural radioactivity in building materials, Report by the Group of Experts of the OECD Nuclear Energy Agency, Paris.

[8] TAEK, 2008. Türkiye'de Kullanılan Yapı Malzemelerindeki Doğal Radyoaktiviteden Kaynaklanan Radyasyon Dozunun Değerlendirilmesi, Teknik Rapor No: 2008-7, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.

[9] TAEK, 2009. Radyasyon, İnsan ve Çevre: İyonlaştırıcı radyasyon, etkileri ve kullanım alanları, güvenli kullanımı için uygulamada olan tedbirler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.

[10] UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication, New York, USA.

[11] WHO, 2009. Handbook On Indoor Radon: A Public Health Perspective, WHO, France.