

Binalarda Radon Gazı Etkisinin Azaltılmasına Yönelik Alınabilecek Önlemler Üzerine Bir Değerlendirme

Seval Yeşim Baş^{1*}, Semra Arslan Selçuk²⁺

¹Architecture/Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey

²Architecture /Department of Architecture, Gazi University, Ankara, Turkey

*Corresponding author: syesimb@hotmai.com

+Speaker: syesimb@hotmai.com

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet – Yeryüzünde varoluşlarından itibaren doğal radyasyonla iç içe yaşamak durumunda kalan canlılar, sürekli olarak kozmik ışınlar ve yerkürede bulunan doğal radyoaktif maddelerden kaynaklanan ışınlanmalara maruz kalmaktadır. Doğal kaynaklardan alınan radyasyon dozunun en önemli bileşeni olan radon gazı; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşmakta ve zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, tesisat boşlukları gibi yollardan da binalara sızmaktadır. Radon gazına, kapalı ortamda ve uzun süreli maruz kalmanın, insan sağlığı için önemli riskler taşımakta olduğu ve günümüzde başta akciğer kanseri olmak üzere ölümcül hastalıklara yol açtığı bildirilmektedir. Ülkemizde radon gazı ve insan sağlığına yönelik olumsuz etkileri konusundaki bilincin artırılması ve binalarda gerekli önleyici uygulamaların yapılması konuları son derece önemlidir. Bu çalışmada radonun yapıya giriş yolları, yapı içindeki radon konsantrasyonunu artıran faktörler ve radonun yapıya girişini önlemek için alınabilecek önlemler, ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların kuramsal ve sayısal verileri ışığında incelenerek ortaya konulmuştur. Radondan korunma yollarının yapı tasarımı sürecinde, tasarım parametrelerinden biri olarak değerlendirilmesinin önerildiği bu çalışmada sonuç olarak, radonun etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için tasarımcılar, yapı üreticileri ve kullanıcıların konu ile ilgili farkındalık düzeylerinin artırılarak, binaların daha bilinçli şekilde tasarımı, yapımı ve kullanımının sağlanmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler– Doğal radyasyon, radon gazı, yapı malzemeleri, radondan korunma, binalarda radon

An Assessment on Measures for Reducing the Effects of Radon Gas in Buildings

Abstract – All living things are constantly exposed to cosmic rays and irradiation due to natural radioactive substances since they have been existing on the earth. Radon gas, which is the most important component of the radiation dose taken from natural sources, is formed as the result of the radioactive decay of natural uranium in rock, soil and water and is leaked to buildings through some ways such as; cracks in the floor, joints of structures, wall cracks and installation spaces. It has been reported that the exposure to radon gas in indoor spaces and prolonged exposure have significant risks for human health and cause fatal diseases like lung cancer. For our country, increasing an awareness on radon gas and its negative effects on human health and then taking preventive applications for buildings seems very important. In this study, the ways radon enters the structure, the factors that increase radon concentration in the structure and the measures that can be taken to prevent radon from entering the structure are examined by considering theoretical and numerical data gathered from national and international institutions and organizations. As a result of the study, in which the evaluation of the “radon protection” is proposed as one of the necessary design parameters in the building design process, it can be highlighted that in order to reduce or eliminate the effects of radon gas, designers, contractors and end users should be aware of the issue and building should be designed, built and used accordingly.

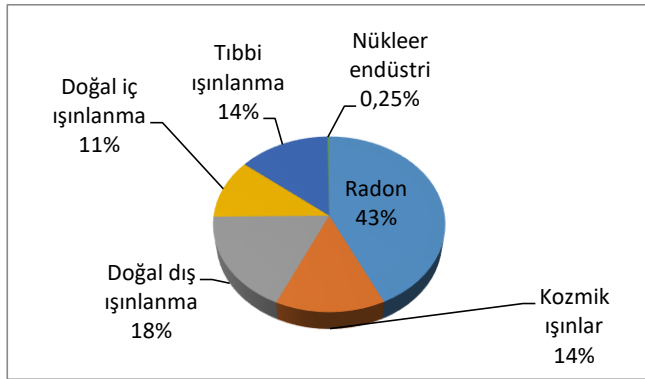
Keywords– Natural radiation, radon gas, building materials, radon protection, radon in buildings

I. GİRİŞ

Yeryüzünde varoluşlarından itibaren doğal radyasyonla iç içe yaşamak durumunda kalan canlılar, sürekli olarak kozmik

ışınlar ile toprakta ve yapı malzemelerinde bulunan radyoizotopların yanı sıra, su ve gıdalar gibi doğal kaynakların sebep olduğu ışınlanmalara maruz kalmaktadır. Gelişen teknolojilerin kaçınılmaz sonucu olarak da yapay kaynaklar tarafından ışınlanma oranı gün geçtikçe artmaktadır. Yaşam

standartları, yaşanılan ortamın fiziksel özellikleri, coğrafi ve jeolojik şartları doğrultusunda değişebilmekle birlikte, ortalama olarak yaklaşık 2,8 milliSievert (mSv) yıllık doza maruz kalan insanların aldıkları radyasyon dozunun en büyük parçasını doğal kaynaklar oluşturmaktadır. doğal kaynakların içinde ise en büyük pay radon gazı ile kısa yarı ömürlü bozunma ürünlerine aittir. 86 atom numarasıyla periyodik cetvelde soy gazlar sınıfında yer alan ve 3,8 günlük yarılanma ömrüne sahip olan radon; rengi, kokusu, tadı olmayan ve gözle görülemeyen radyoaktif bir gaz olup; kaya, toprak ve sudaki doğal uranyum ve toryumun radyoaktif bozunması sonucunda oluşmaktadır [1]. Dünya genelinde radon ve bozunma ürünleri nedeniyle maruz kalınan yıllık ortalama etkin dozun yaklaşık 1,2 mSv olduğu tahmin edilmekle birlikte, ülkeler arasında bu değere ilişkin belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Radyasyon kaynaklarının oluşturduğu maruziyete yönelik oransal tahminlerin yer aldığı Şekil 1'den de görülebileceği üzere radona maruz kalma oranı toplam alınan radyasyon dozunun önemli bir bölümüne sahiptir [2].



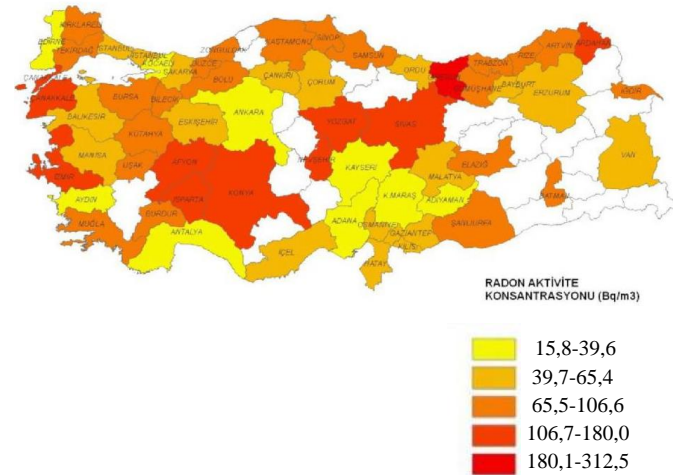
Şekil 1. Radyasyon kaynaklarına ilişkin oranlar [2]

Yüksek orandaki kullanımı nedeniyle özellikle evlerdeki radon maruziyeti çok önemli miktarlarda iken ayrıca; işyerleri, kreşler, okullar ve genel kamu binaları dâhil olmak üzere tüm kapalı mekânlarda radona maruz kalma durumu ortaya çıkabilmektedir [3]. Zamanlarının büyük bir bölümünü kapalı mekanlarda geçiren insanların sürekli olarak radona maruz kalmaları sonucunda ise, radona bağlı sağlık sorunlarında son yıllarda önemli miktarda artış meydana gelmiştir. Bu artışın nedeni radonun yeryüzünde daha yaygın hale gelmesi değil, enerji kullanımını azaltmak için yapılan çalışmalar, binalardaki yalıtım uygulamaları, doğal havalandırma oranının giderek azalması gibi faktörlerdir [4]. Ayrıca; yönetimlerin konuya gereken özeni göstermemesi sonucu gerek halka gerekse yapı üreticilerine yönelik bilinçlendirici faaliyetlerin yapılmaması, yapı inşaatlarında kullanılacak malzemeler için gerekli düzenleme ve sınırlandırmaların getirilmemesi, yapı tasarımı ve inşaatında rol almakta olan bireylerin bilgi eksiklikleri, destek veren ve yol gösteren çalışmaların olmaması gibi faktörler sonucunda kapalı mekanlarda, kullanıcıların niteliği (sigara kullanımı, yaş gibi) ile yapıyı kullanım sürelerine bağlı olmakla birlikte; radon, insan sağlığını ciddi ölçüde tehdit edecek bir unsur haline gelebilmektedir [5].

Ortamda biriken radon gazının solunması sonucunda, kısa ömürlü bozunma ürünleri tarafından yayılan iyonlaştırıcı alfa parçacıkları, akciğerlerde biyolojik doku ile etkileşime girerek

DNA hasarına sebep olabilmekte ve DNA hasarlı hücrelerin çoğalması ise kanserin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilmektedir [6]. Kapalı ortamlarda radon ve radon bozunma ürünlerine maruz kalma sonucu akciğer kanseri oluşabileceği ve sigaradan sonra akciğer kanserinin en önemli ikinci nedeninin radon olduğuna dair güçlü kanıtlar olduğu Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından rapor edilmektedir. [6], [7], [8]. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansına (EPA) göre; radon seviyesi yüksek olan evlerde sigara içen bireyler, radon kaynaklı akciğer kanseri oluşumu için özellikle risk altındaki grubu oluşturmaktadır [9].

1960'li yılların ortalarından itibaren, radonun binalarda yoğunlaşması sonucunda insan sağlığı için tehdit oluşturabileceği ve hatta akciğer kanserine neden olabileceği konusundaki bilgilerin yaygınlaşması, radon kaynaklı radyasyon maruziyeti konusuna yeni bir yaklaşım getirmiştir. Bu tarihten itibaren özellikle kapalı alanlarda radon düzeylerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar önem kazanmış ve bu amaçla, ülkeler tarafından haritalar oluşturulmaya başlanmıştır [4]. Ülkemizde de 1984 yılında, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) tarafından bu konuda çalışmalar başlatılmış olup, evlerdeki ortalama radon konsantrasyonunu ölçmek için TAEK tarafından 59 ilde, yaklaşık olarak 5500 evde yapılan ölçümler neticesinde Şekil 2'de gösterilen harita oluşturulmuş ve ölçüm yapılan şehirlerde, evlerdeki radonun ortalama konsantrasyonu 82,66 Becquerel (Bq) /m³ olarak tespit edilmiştir [1].



Şekil 2. İl bazında evlerde ortalama radon konsantrasyonları (Bq/m³) [1]

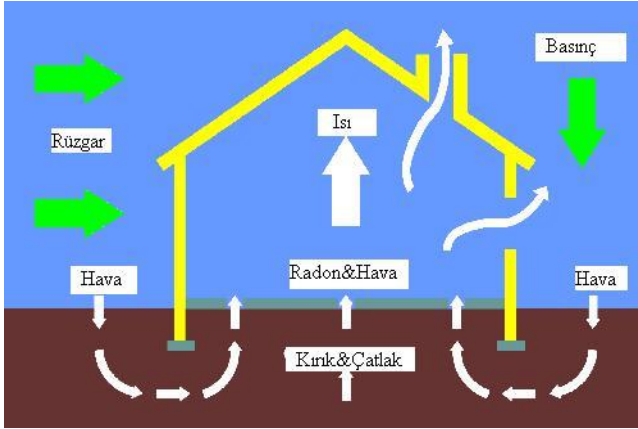
Radon maruziyetine yönelik korunma stratejilerinin, yüksek radon konsantrasyonlarının düşürülmesi ve böylece toplum tarafından alınan radyasyon dozunun azaltılması doğrultusunda halk sağlığı bakışı açısından ele alınması önem arz etmektedir [8].

Bu çalışma kapsamında; yapı içindeki radon konsantrasyonuna etki eden faktörler ve radon konsantrasyon limitleri, radonun yapıya giriş yolları, radonun yapıya girişini önlemek ve yapı içinde radon konsantrasyonunu azaltmak için alınabilecek önlemler, ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların kuramsal ve sayısal verileri ışığında incelenerek ortaya konulmuştur. Yapı tasarımcıları, yapı üreticileri ve kullanıcılarının, konu ile ilgili farkındalık düzeyinin

artırılarak, radona yönelik korunma yollarının binaların tasarım sürecinde tasarım parametrelerinden biri olarak değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım oluşturulması hedeflenmiştir.

II. YAPI İÇİNDE RADON KONSANTRASYONUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE RADON KONSANTRASYON LİMİTLERİ

Yapı içinde radon konsantrasyonunu etkileyen birçok faktör bulunmakla birlikte temel olarak bunlar; toprak ve yapı malzemelerinde bulunan radyum miktarı, nem oranı ve difüzyon potansiyeli, binanın zemin özellikleri, toprakla temas etmekte olan yüzey alanı ile yalıtım özellikleri, binadaki havalandırmanın kapasitesi, iklim şartları, iç-dış hava sıcaklığı ve basınç farkları olarak sıralanabilir (Şekil 3). Ayrıca; jeolojik ve coğrafi yapı, kullanılan inşaat malzemelerinin kalitesi, yaşam alışkanlıkları, mekanların ısıtılma şekli, sosyoekonomik durum gibi faktörler de ülkelere göre değişebilmekle birlikte, binalarda radon konsantrasyonunu etkileyen unsurlardandır [8].



Şekil 3. Radon konsantrasyonuna etki eden faktörler [10]

Yerden atmosfere girdiğinde havada dağılan, bu sebeple yapı dışındaki derişimi düşük olan radon gazı, zeminden geçip yapı içine girmesi durumunda ise, kapalı alanlarda yüksek aktivite derişimine ulaşabilmektedir. Birçok ülkede (genellikle daha soğuk) ısı kaybı ile hava akımının önlenmesi önceliği ile inşa edilen binalar, genellikle düşük seviyede havalandırılmakta ve böylece yapı içindeki radon konsantrasyonu yapı dışındakinden çok daha yüksek olabilmektedir [11].

Maruz kalınan doğal radyasyon miktarının artmasının önlenmesi ve halkın alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulması ile radyoaktivitenin kontrolü esastır. Ülkemizde 24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğine göre; evlerde radon konsantrasyonu için izin verilen yıllık ortalama sınır değer 400 Bq/m³, işyerlerinde ise 1000 Bq/m³'tür [12]. Bazı kuruluşların kapalı mekanlarda risk oluşturan radona yönelik belirledikleri sınır değerler mevcut ve yeni yapılar için Çizelge 1'de yer almaktadır.

Çizelge 1. Yapı içindeki radonun sınır değerleri [4]

Kurum-Kuruluş	Mevcut yapılarda iyileştirmeye başlama sınır değeri (Bq/m ³)	Yeni yapılar için sınır değeri (Bq/m ³)
EPA	148	148
ICRP	200	200
WHO	370	111
TAEK	400	400

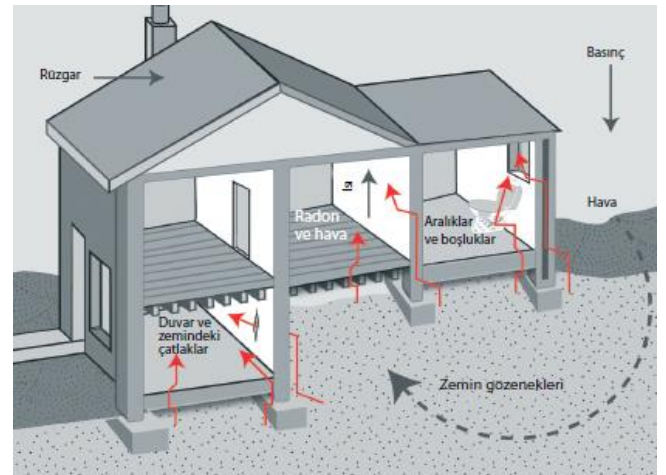
Kurum-Kuruluş	Mevcut yapılarda iyileştirmeye başlama sınır değeri (Bq/m ³)	Yeni yapılar için sınır değeri (Bq/m ³)
EPA	148	148
ICRP	200	200
WHO	370	111
TAEK	400	400

Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olan radon ancak özel olarak geliştirilmiş bazı cihazlarla ölçülebilmekte olup, Çizelge 1'de gösterilen değerlerin denetiminin yapılabilmesi, radon ve bozunma ürünlerinin konsantrasyon değerlerinin belirlenebilmesi için, aktif ve pasif olmak üzere iki temel yöntem bu bağlamda geliştirilmiştir. Bu yöntemler, radondan yayılan alfa parçacıkları veya radon bozunma ürünleri tarafından yayılan alfa, beta ve gama radyasyonunun ölçümünü esas almaktadır. Pompalar, güç kaynakları, elektronik sistemler gibi cihazlar gerektiren aktif ölçüm yöntemi kapsamında; iyon odaları, sintilasyon hücreleri ya da spektroskopik sayım cihazları kullanılmakta olup, termoluminesans dedektörler ya da katı hal nükleer iz dedektörleri pasif ölçüm yöntemi kapsamında kullanılmaktadır [1].

Meteorolojik değişimlerin topraktaki radon gazı seviyelerindeki etkisi ile hava koşullarına bağlı olarak havalandırma alışkanlıklarındaki değişim sonucu evlerdeki radon konsantrasyonu mevsimsel olduğu kadar gün içinde de farklılık göstermektedir. Bu nedenle kısa dönemli ölçümler yerine birkaç aylık dönemi kapsayacak uzun süreli ölçümler daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi açısından tercih edilmektedir [1].

III. RADONUN YAPIYA GİRİŞ YOLLARI

Binalardaki ana kaynakları genel olarak, bina altındaki toprak ve kayalar, yapı malzemeleri, su ve doğalgaz olan radon [8], Şekil 4'ten de görülebileceği gibi; zemindeki çatlaklar, yapı bağlantı noktaları, duvar çatlakları, tesisat boşlukları, duvar ve asma kat arasındaki boşluklar, pencere ve kapılar, bina içindeki kullanım suları, tesisat bağlantıları gibi yollarla yapıya sızmaktadır [13]. Toprak ile iç mekan arasındaki basınç farklılıkları radon girişi için birincil itici güç olmakla birlikte, söz konusu farklılık, çevresel faktörler ve mekanik ekipmanın çalışmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Genellikle, iç mekan ve dış mekan arasındaki sıcaklık farklılıklarının en yüksek olduğu, yağışın en fazla ve rüzgar hızının en yüksek olduğu durumlarda radonun yapıya girişi en yüksek noktalara ulaşmaktadır [14].



Şekil 4. Radonun yapıya giriş yolları [11]

EPA'ya göre yapının temel tipi de yapıya radon girişini etkileyen unsurlardan biridir [9]. Radonun yapıya giriş yollarından bir diğeri ise, binanın yapımı esnasında kullanılan inşaat malzemeleri olup, bu malzemelerin büyük bölümü potansiyel olarak radon gazı yayımcısı olan uranyum içermektedir [15]. Yapı malzemelerinin kapalı ortamdaki radon konsantrasyonuna katkısı özellikle düşük konsantrasyonlarda önem arz etmekte olup, yapılan araştırmalar; dünya genelinde yıllık aritmetik ortalaması 39 Bq/m³ olan radon konsantrasyonuna yapı malzemelerinin katkısının 10 Bq/m³, yani yaklaşık olarak %25 oranında olduğunu göstermektedir [8].

Taş, çimento, tuğla, kum, beton, alçı gibi yapı malzemeleri, değişik oranlarda radyum içerebilmekte olup, yapı malzemelerindeki radyum yoğunlukları ülkeden ülkeye ve hammaddelerin çıkarıldığı bölgelere bağlı olarak değişmektedir. Radon miktarı ayrıca; malzemenin radon yoğunluğu, nem miktarı, difüzyon katsayısı, gözeneklilik oranı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir [4]. Yapı ürünlerinde radon oluşum katsayılarına yönelik bir değerlendirmenin gösterildiği Çizelge 2' den de görülebileceği gibi beton radon oluşum katsayısı yüksek bir malzemedir.

Çizelge 2. Yapı ürünlerinin radon oluşum katsayıları [16]

Yapı ürünü	Radon oluşum katsayısı
Beton	0,1-0,4
Tuğla	0,02-0,1
Alçıtaşı	0,03-0,2
Çimento	0,02-0,05
Uçucu küller	0,002-0,02

Radon kaynağı olan yapı malzemelerinin başında; alümin şeylli beton, granit, volkanik tüf ve fosfojipsler gelmektedir. Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonda, doğal kaynaklı radyonüklit konsantrasyonlarındaki değişim, kullanılan balast malzemeleri ve kimyasal katkı maddelerinin türüne bağlıdır. Gaz beton ise, gözenek oluşturmak amacıyla eklenen alüminli şist nedeniyle yüksek oranlarda radyum içerebilmektedir. Granit ve mermer gibi doğal yapı malzemelerinde radyum konsantrasyonu genellikle yüksek iken, granitte ayrıca yüksek toryum ve potasyum konsantrasyonları da bulunabilmektedir [8].

Yapı malzemelerinden kaynaklanan maruziyet, malzemelerin kullanım alanlarının yaygınlığı sebebiyle tamamen önlenememekte olup, radyoaktivite seviyesi kontrol altında tutularak halkın alacağı radyasyonun mümkün olan en düşük seviyede tutulması ile yapı malzemelerinden kaynaklanan maruziyetin artmasının engellenmesi konu çerçevesindeki temel hedeflerdendir [8].

IV. RADONUN YAPIYA GİRİŞİNİ ÖNLEMELER İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Radonun yapıya girişinin önlenmesi ve mevcutta var olan radonun azaltılması, yapı içindeki radon konsantrasyonunun, ulusal referans seviyesinin altında ve teknik olarak ulaşılabilir en düşük seviyeye getirilmesi çerçevesindeki hedeflerdir [14]. Radon kaynakları ve yapıya giriş mekanizmaları, radonu önleme ve azaltma stratejilerinin maliyet etkinliği için önemli olmakla birlikte, dikkatli ve doğru bir değerlendirme çerçevesinde yapılacak tasarım ve

uygulama, hedefe yönelik etkili çözüm elde edilebilmesi açısından gereklidir. Radonu önlemek ve azaltmak için kullanılacak sistemler şu hususları gerektirir:

- Radon konsantrasyonunun sınır değerlerin altına düşürülmesi,
- Güvenli bir sistem kurulumu yapılabilmesi,
- Binanın kalan ömrü için dayanıklı ve fonksiyonel olması,
- Performansının kolay şekilde izlenebilir olması,
- Sessiz ve dikkat çekmeyen özellikte olması,
- Kurulum, çalıştırma ve bakım için düşük maliyetli olması,
- Uygulanan pasif sisteme, bir fan kurulumu gerekmesi halinde, fanın kolayca kurulumunu destekleyecek nitelikte bir tasarım ve uygulama yapılması [6].

Tasarım aşamasında risk oluşturacak etkenlere karşı uygun tasarım yapılması ve mevcut olumsuz durumlarda ise kullanıcıların çözüm önerilerine yönlendirilmesi ve denetimin sağlanması konu ile ilgili dikkat edilmesi gereken önemli hususlardır [4]. Gereksiz ya da yetersiz çözüm seçimi, sorunun giderilmemesine ya da maliyetin artmasına yol açabileceğinden, yapıyı tasarlayan mimar, hangi durumda nasıl bir çözüm üretmesi gerektiğini bilmek durumundadır. Bu bağlamda, yapı tasarımında rol alan mimarın; öncelikle radonla ilgili yeterli bilgiye sahip olması ve yapının inşa edileceği bölgenin radonla ilişkili çevre verilerini edinmesi gerekmektedir. İlgili veriler ışığında, sorunun çözümüne yönelik uygun stratejiler belirlemesi, yapı kullanıcılarının uzun süreli olarak kullanacağı mekanların zeminle ilişkisi çerçevesinde bir mekansal kurgu yapması önemlidir. Ayrıca, yapı malzemelerinin radon kaynağı olma potansiyellerini göz önünde bulundurması, doğal havalandırma koşullarını sağlayacak nitelikte bir tasarım yapması, doğal havalandırmanın yetersiz olduğu durumlarda ise, disiplinler arası koordinasyon çerçevesinde mekanik havalandırma çözümlerini içeren bir tasarıma yönelmesi gereklidir [5].

Radonun sağlık üzerinde oluşturacağı olumsuz etkileri önlemek için uygulanacak tedbirler;

- Mevcut yapılarda radonun yapı içine girişini önlemek veya yapıdaki radon konsantrasyonunu azaltmaya yönelik alınması gereken önlemler,
- Yeni yapılarda radonun yapıya girişini önlemek için alınabilecek önlemler olarak iki başlık altında değerlendirilebilir.

Mevcut yapılarda radonun yapı içine girişini önlemek veya yapıdaki radon konsantrasyonunu azaltmaya yönelik uygulanacak en doğru ve uygun sistemlerin belirlenebilmesi öncelikle, radon ölçümlerinin düzgün şekilde yapılması ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca, radonu azaltma çalışmalarının etkinliğini kontrol etmek için, kurulum sonrası da gerekli ölçümler yapılmalı, uygulanan sistemlerin performansında değişiklik meydana gelmesi ihtimaline karşın da periyodik olarak testler tekrarlanmalıdır [6].

Radonu azaltma ve önleme stratejilerinin maliyet-etkin şekilde uygulanabilmesi; yapı özellikleri, iklim kuşağı, radon kaynakları ve radonun yapıya giriş mekanizmaları gibi faktörlerin tümünün dikkate alınıp değerlendirilmesiyle mümkün olabilir [6]. Hava basıncı farklarının, radon girişi için birincil itici güç olması ise, radon önleme ve azaltma stratejilerini genellikle bu basınç farkını tersine çevirmeye odaklanmaya yönelmekte ve radonun yapı içine girişinin

engellenmesi için alınması gereken önlemler kapsamında önceliği bu bağlamda, radonun binaya zeminden girişinin engellenmesine yönelik tedbirler almaktadır [14]. Zeminden yapı içine radon girişini önlemeye yönelik çözüm önerileri aktif sistemler ve pasif sistemler olarak iki grup altında değerlendirilebilir.

Mevcut yapılarda, yapı içindeki radonu uzaklaştırmak için zemin altındaki radon gazının, havalandırma borusu ile dışarı atılması sağlanabilir. Bu sistemde, zemin altında oluşturulan gaz geçirgen tabakaya (çakıl tabakası) radon havalandırma borusu yerleştirilir. Yapı içine topraktan gelebilecek radon gazı, basınç farkı sayesinde boruya iletilerek ve havalandırma borusunun çatıdan atmosfere açılması sağlanarak, radonun güvenli bir şekilde yapıdan uzaklaştırılması sağlanır. Radon konsantrasyonunun daha yüksek olduğu durumlarda ise pasif olan bu sisteme fan ilave edilmesiyle sistemi aktif hale getirmek mümkündür [4].

Zeminden yapıya radon girişinin önlenmesi kapsamında aktif çözüm önerilerinden ilki, zemindeki toprak gazı basıncının fan kullanımı ile azaltılmasıdır. Radonu binadan uzaklaştırmak için kullanılacak emiş fanları yapı içine veya yapı dışına yerleştirilebilir. Yapının konumlandığı zeminde, negatif basınç oluşturulup radon girişinin engellendiği bu sistem, zeminle etkileşimde bulunan farklı döşeme (zemine oturan, tesisat boşluklu) tiplerinin her birinde uygulanabilmektedir. Bazı durumlarda ayrıca, radon emiş çukurları kullanılarak da uygulamalar yapılmaktadır. Radonun zeminden yapıya girişinin engellenmesine yönelik uygulanabilecek aktif çözüm önerilerinden diğeri ise, HVAC sistemler ile yapı iç basıncını artırarak, zemindeki toprak gazı basıncına ters basınç uygulanması ile radon girişinin engellenmesidir [5].

Aktif ve pasif sistemlerin işlevlerini etkin şekilde yerine getirmesi için ayrıca, diğer önlemlerin de gereken şekilde uygulanması gerekmektedir. Radonun binaya girişini önlemek için bu bağlamda; binaların toprakla temas eden yüzeylerinin ve birleşim yerlerinin sızıntı oluşumunu engelleyecek nitelikte izole edilmesi, bina duvarlarında, su ve kanalizasyon borularının geçmekte olduğu yerlerde bulunan çatlakların, açıklıkların onarılması ve kapatılması önemli hususlardır [1].

Radonun mevcut yapılarda sağlık için bir tehdit oluşturmasını önlemek için uygulanması gereken diğer bir önemli unsur da havalandırmadır. Yerden ve duvarlardan çeşitli yollarla bina içine sızan radon gazı bina içindeki konsantrasyonu artıracığından, kapalı ortamların havalandırılmasına özen gösterilmeli, kapı ve pencerelerde izolasyon yapıldıysa özellikle, havalandırma süreleri artırılmalıdır [1].

Özkorucuklu vd. (2006) uygun havalandırma yapılmayan evlerde radon yoğunluğunun yüksek miktarlara ulaşacağını, ancak ortamın havalandırılmasıyla beraber, yaklaşık bir saat kadar bir süre içinde, ortamdaki radon konsantrasyonunun yaklaşık olarak %75 oranında azalacağını önermektedir [17]. Havalandırmanın son derece etkili olduğu mevcut yapılarda yüksek radon konsantrasyonunun azaltılması için doğal havalandırma başta olmak üzere, havalandırma fanları ve HVAC sistemler bu kapsamda kullanılabilir [5].

Radonun sağlık üzerinde oluşturacağı olumsuz etkileri önlemek, radonu binalardan (özellikle evlerden) uzak tutmak için gereken sistem, yeni yapılarda daha kolay ve uygun maliyetli olarak uygulanabilir [9]. En uygun maliyetli radon önleme stratejileri, belirli inşaat uygulamalarına bağlı olarak, ülkeden ülkeye, müstakil ve çok dairesel konut yapıları, radon

kaynakları ve bu kaynakların yapı içine erişim mekanizmalarına bağlı olarak değişmektedir [14].

Birçok strateji bu bağlamda, toprakla iç mekan arasındaki hava basıncı farklılıklarından dolayı toprak içindeki gazın sızmasını sınırlamaya yönelik adımları ele almaktadır. Yeni yapılarda radonu önleme stratejileri WHO'ya göre;

- Toprak gazı basıncının pasif sistemle azaltılması
- Toprak gazı basıncının aktif sistemle azaltılması
- Yüzeylerin sızdırmazlığının sağlanması
- Bariyerler ve membranlar
- Kullanılmayan kapalı alanların havalandırılması
- Kullanılan kapalı alanların havalandırılması
- Su arıtması olarak sıralanabilir [6].

Yapı içine radon girişini önlemek için kullanılacak pasif sistemlerin temel avantajı; bir fanın kurulum ve işletim masrafı olmadan radon kontrolünün orta düzeyde gerçekleştirilebilmesi iken, sistemin en büyük dezavantajı ise; tasarımın gerekliliklerine tam olarak uyacak şekilde kurulumunun yapılması zorunluluğu ve radonu azaltma potansiyelinin aktif sistemden daha düşük olmasıdır. Kullanılan pasif sistemle radonun %50 oranında azaldığı görülebilirken, radonun yapıdan uzaklaştırılmasına yönelik daha yüksek oranda bir sonuç istenirse, sistemi aktive etmek için küçük bir fan kullanılabilir [14].

Çizelge 3'de radonu kontrol sistemleri ve potansiyellerine ilişkin WHO tarafından yapılan bir değerlendirme görülebilmektedir.

Çizelge 3. Yeni binalar için radon kontrol yöntemleri [6]

Yöntem	Radon azaltma potansiyeli
Toprakla temas eden yüzeylerin sızdırmaz hale getirilmesi	Düşük-orta
Toprak gazı bariyerleri	Çok değişken
Kullanılmayan alanlarda pasif havalandırma	Orta-iyi
Kullanılmayan alanlarda aktif havalandırma	İyi
Toprak gazı basıncının aktif sistemle azaltılması	Orta-en iyi
Toprak gazı basıncının pasif sistemle azaltılması	Düşük-orta
Dengeli havalandırma	Düşük-orta

Yeni yapılarda radonun yapıya girişini engellemek için alınabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Binaların projelendirme safhasında zemin etüdü ve jeolojik yapı dikkate alınmalı ve radon gazının binaya girmeden atmosfere tahliye edileceği sistemler düşünülmelidir [1].
- Radon konsantrasyonunun sınır değerlere yakın olduğu durumlarda; toprak gazı basıncının pasif yolla, sınır değerlerin çok üzerinde olduğu durumlarda ise; toprak gazı basıncının aktif yolla azaltılması sağlanmalıdır. Kullanılan sistemin yetersiz kalması durumunda, yapı içi basıncını artırmaya yönelik sistem tasarımı uygulanmalıdır.
- Radon düzeyleri sınır değerinin altında su ve doğalgaz kullanımını sağlanmalı, sınır değerlerin üzerinde ise, gereken önlemler alınmalıdır [5].
- Yapı malzemelerinin radyoaktivite analizleri ve değerlendirmeleri yapılarak, değerlendirme sonuçları tavsiye edilen radyoaktivite düzeylerinin üzerinde

olan malzemeler bina yapımında kullanılmamalıdır [1]. Ayrıca, belirlenen sınır değerlerin üzerinde radon bulunan yerlerden yapı malzemesi üretiminde kullanılmak üzere hammadde alınmamalıdır.

- Binalar toprakla temasa olanak vermeyecek şekilde izole edilmeli, esnek, uzun ömürlü yalıtım malzemeleriyle detayına uygun şekilde boğçalama uygulaması yapılmalıdır. Bodrum ve zemin katların tabanına betondan sızıntıyı önlemek amacıyla çatlağı olmayan şap uygulanmalıdır [4].

Ayrıca, radondan korunma yolları için önemli bir faktör olarak “radon ölçümü” kapsamında uygulanması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Sağlık Bakanlığı, TAEK, yerel yönetimler ve üniversiteler işbirliği çerçevesinde bir eylem planı hazırlanarak, ülke çapında evlerin yanı sıra, okullarda, hastanelerde, AVM’lerde, metro istasyonlarında, tünellerde, yeraltı otoparklarında, madenlerde ve diğer işyerlerinde mevsimsel değişkenler göz önünde bulundurularak yeterli sayıda ve periyodik olarak radon ölçümleri yapılmalıdır.
- Yeni yapılacak binaların zeminlerinin uranyum, radyum, toryum ve potasyum aktivasyon değerleri ile radon ölçümleri yapılmalı ve bu analiz ve ölçümler yasa ve yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmelidir.
- Bütün olarak şehirler, kasabalar ve köyler için radon haritaları hazırlanmalıdır.
- Ülke çapında dış ortam gama doz ölçümleri yapılarak ölçüm sonuçları harita haline getirilmeli ve bu haritalar en az 5 yılda bir periyodik olarak güncellenmelidir.
- Özellikle konut inşaatlarından önce, radon gazı ile ilgili risk değerlendirmeleri yapılarak, radon emisyonu kapsamlı şekilde ölçülmelidir.
- Halk gereken şekilde bilgilendirilmeli ve ev içi radon ölçümleri düzenli şekilde yapılmalıdır [13].

V. SONUÇ

Radon gazı, binalara farklı yollardan girebilen, ana kaynakları bina altındaki toprak ve kayalar, yapı malzemeleri, su ve doğalgaz olan, uygun önlemlerin alınmadığı takdirde, insan sağlığı için ciddi tehdit oluşturabilen ve hatta akciğer kanserinin ikinci sebebi olarak tanımlanan tehlikeli bir gazdır. Ancak, bu tehlike günümüzde yeteri kadar bilinmemekte ve gerekli önlemler bu yüzden alınmamaktadır. Uygun çözüm önerileri geliştirilebilmesinin ön şartı ise öncelikle konuyla ilgili yeterli farkındalık sağlamak olup, tasarımcı, yapı üreticisi ve kullanıcı çerçevesinde bir bilinçlilik hali, problemin çözümü için önceliği oluşturmaktadır.

Tasarım aşamasında farklı parametrelerin bir araya gelmesiyle süreci yöneten mimarın, günümüzde insanların kapalı ortamlarda geçirdikleri vakit göz önüne alındığında özellikle konut yapılarında önemli bir sorun olarak ortaya çıkabilen radon gazını azaltmaya yönelik alınabilecek önlemleri, tasarım parametrelerinden biri haline getirmesi ve diğer disiplinlerle bu bağlamda gerekli koordinasyonu sağlaması önemli bir husustur. Doğru tasarım sürecinden sonra, yapım sürecinin de doğru şekilde tamamlanması, son aşama olarak da kullanıcıların doğal havalandırma ve radon girişine neden olabilecek faktörler ve çözüm önerileri

konularında yeterli bilgi düzeyine sahip olup, gerekli hususları bu doğrultuda uygulamaları problemin çözümü için temel unsurlardır.

Sonuç olarak, radonun etkilerini azaltmak veya ortadan kaldırmak için tasarımcılar, yapı üreticileri ve kullanıcıların konu ile ilgili farkındalık düzeylerinin artırılarak, binaların daha bilinçli şekilde tasarımı, yapımı ve kullanımının sağlanmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, “Kapalı Ortamlarda Radon Gazı”, TAEK TR-2012-3, Ankara, 2012.
- [2] IAEA, International Atomic Energy Agency, *Radiation, People and the Environment*, Austria, 2004.
- [3] I. E. Finne, T. Kolstad, M. Larsson, B. Olsen, J. Prendergast and A. L. Rudjord, “Significant Reduction in Indoor Radon in Newly Built Houses”, *Journal of Environmental Radioactivity*, 196, 259-263, 2019.
- [4] F. Cabi Değerli ve F. Umaroğulları, “Binalarda Radon ve Sağlık Üzerindeki Etkileri”, *Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi*, 45, 38-43, 2017.
- [5] H. Apak, “Yapılarda Radon Etkisini Azaltmaya Ya Da Yok Etmeye Yönelik Bir Yaklaşım”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Tem. 2014.
- [6] WHO, World Health Organization, *Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*, France, 2009.
- [7] ICRP, International Commission On Radiological Protection, “Radiological Protection Against Radon Exposure”, *ICRP Publication 126. Ann. ICRP* 43(3), 2014.
- [8] TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, (2017) Kapalı Ortamlarda Radon ve Yapı Malzemelerindeki Radyoaktiviteye İlişkin Kılavuz [İnternet]. Erişim Adresi: [http://www.taek.gov.tr/tr/belgeler-formlar/rsgd-formlari/teknik-bilgiler-kilavuzlar/Kapali-Ortamlarda-Radon-ve-Yapi-Malzemelerindeki-Radyoaktiviteye-Iliskin-Kilavuz-\(RSGD-KLV-13\)/lang.tr-tr/](http://www.taek.gov.tr/tr/belgeler-formlar/rsgd-formlari/teknik-bilgiler-kilavuzlar/Kapali-Ortamlarda-Radon-ve-Yapi-Malzemelerindeki-Radyoaktiviteye-Iliskin-Kilavuz-(RSGD-KLV-13)/lang.tr-tr/) (Son Erişim Tarihi: 19.03.2019).
- [9] EPA, Unites States Environmental Protection Agency, “Building Radon Out A Step-by-Step Guide On How To Build Radon-Resistant Homes”, *EPA/402-K-01-002*, 2001.
- [10] H. Soğukpınar, “Eskişehir İlinde Kapalı Ortam Radon Yoğunlukları İçin Mevsimsel Düzeltme Faktörlerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Nis. 2013.
- [11] TAEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, *Radyasyon, İnsan ve Çevre*. Ankara, 2009.
- [12] Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 24.03.2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmî Gazete [İnternet]. Erişim Adresi: <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.5272&MevzuatIliski=0&Sou> (Son Erişim Tarihi: 19.03.2019).
- [13] Y. Örgün, ve N. Çelebi, “Radyasyon, Radon (rn) ve Toplum Sağlığı” *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni*, Tıbbi Jeoloji ve İnsan Sağlığı Özel Sayısı, 11-27, 2016.
- [14] W. J. Angell, “Indoor Radon Prevention and Mitigation”, *Encyclopedia of Environmental Health*, 208-2017, 2011.
- [15] O. Günay, S. Aközcan ve F. Kulalı, “Bina İçi Radon Konsantrasyonlarının Belirlenmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13, 91-97, 2018.
- [16] A. Balanlı, S. M. Vural ve G. T. Taygun, “Yapı Ürünlerindeki Radonun Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi”, *2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 2004.
- [17] S. Özkorucuklu, H. Akyıldırım ve V. Çapalı, “İsparta İli’nde Radon Yoğunluk Ölçümleri”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3), 323-327, 2006.