



# Radon Gazının Gayrimenkul Değerine Etkisinin Araştırılması, Farklı Ülkelerde Radon Gazı Çalışmaları ve Politikaları, Türkiye'de Uygulanabilirliği<sup>1</sup>

Exploring the Effect of Radon Gas on Real Estate Value, Radon Gas Studies and Policies in Different Countries, Applicability (of policies) in Turkey

Doğan ÇOLAKGİL<sup>2</sup> Yeşim TANRIVERMİŞ<sup>3</sup>

## öz

Durağan ve radyoaktif bir gaz olan radon, radyumun radyoaktif bozunması ile oluşmaktadır. Radon, akciğer dokusunda hasar ve dolayısıyla zamanla kanser gibi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bu çalışma Türkiye'de radon gazının gayrimenkul ilişkisini gayrimenkulün değerine etkisini araştıran ilk çalışmadır. Farklı ülkelerde radon gazı ile gayrimenkul ilişkisi ve Türkiye'de uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırmanın temelindeki yatan konu ise Türkiye'de dünyadaki örneklerine kıyasla radon ile ilgili mukayese yapabilmektir. Ayrıca çalışma radonun sağlık açısından da ciddi riskler taşıdığını ve radon seviyelerinin düşürülmesi için önlemlerin alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma; Türkiye'de radon gazı ölçümlerinin yapılması, gayrimenkul ilişkisi ve uygulanabilirliği konularını ele almakta ve gayrimenkul sektöründe faaliyet gösterenler ve yatırımcılar için radon seviyelerini dikkate almalarının önemini vurgulamaktadır. Araştırmanın sonucu, radon gazı seviyesinin artışı ile gayrimenkulün değerinin ters orantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Dünyadaki bazı devletlerin Türkiye'ye kıyasla radon gazının insan sağlığına olan zararlarının araştırılması, radon gazının ölçülmesi, gerekli tedbir ve önlemler için planlar yapılması, halkın bilinçlendirilmesi ve farkındalıklarının artırılması konularında çok daha ciddi planlamalar gerçekleştirdikleri ve bu planlamalar doğrultusunda eylemlerde buldukları ve bu eylemlerin sonuçlarını istatistiksel olarak açıkladıkları anlaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise Türkiye için yapılması gerekenler, önlemler ve durumun ciddiyetini anlatan bir araştırma sunulmuştur. Çalışmanın bir diğer amacı da radona olan bakış açısını farklı boyutlara taşımaktır. Yapılan öneri ve çıkarımlar başka çalışmalara konu olabilecek ve bu yöndeki çalışmalara yol gösterebilecek niteliktedir. Böylelikle radon gazı özelindeki sorunsalın tespiti ve karar vericilere söz konusu çalışmalarla yeterli veri sunulmasına bağlı olarak Türkiye için daha kolay çözülebilecek bir durum olması sağlanmış olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Değer, Gayrimenkul, Kanse, Radon, Radyasyon.

Radon, a stable and radioactive gas, is produced by the radioactive decay of radium. Over time, radon causes damage to lung tissue leading to health problems such as cancer over time. This study is the first study in Turkey to investigate the relationship between radon gas and real estate and its effect on the value of real estate. The relationship between radon gas and real estate in different countries and its applicability in Turkey were investigated. The basic aim of the study is to be able to make a comparison of radon in Turkey with examples in the world. In addition, the study emphasizes that radon also poses serious health risks and the importance of taking measures to reduce radon levels. This study addresses the issues of radon gas measurement in Turkey, its relationship with real estate and its applicability, and emphasizes the importance of considering radon levels for those operating in the real estate sector and for investors. The result of the study

<sup>1</sup> Bu makale Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Ana Bilim Dalı'nda Prof. Dr. Yeşim TANRIVERMİŞ danışmanlığında Doğan ÇOLAKGİL tarafından tamamlanan projeden yararlanılarak yapılmıştır.

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye, [dogancolakgil@gmail.com](mailto:dogancolakgil@gmail.com), ORCID: 0000 0001 9600 7992

<sup>3</sup> **Corresponding Author:** Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Ankara, Türkiye, [aliefendioglu@ankara.edu.tr](mailto:aliefendioglu@ankara.edu.tr), ORCID: 0000 0002 0859 7150



*shows that the increase in radon gas levels is inversely proportional to the value of real estate. It has been found that some countries in the world, compared to Turkey, have made much more serious plans compared to Turkey in terms of researching the harmful effects of radon gas on human health, measuring radon gas, making plans for necessary precautions and measures, educating the public and increasing their awareness, taking actions in accordance with these plans and statistically explaining the results of these actions. Within the framework of this study, a research has been presented that explains what needs to be done in Turkey, the precautions to be taken and the seriousness of the situation has been presented. Another aim of the study is to bring the perspective on radon to different dimensions. The suggestions and conclusions made can be the subject of other studies and can guide studies in this direction. This will ensure that the specific problem of radon gas is identified and that is a situation which can be easily resolved for Türkiye depending on the provision of sufficient data to decision makers through these studies.*

**Key Words: Radon, Real Estate, Radiation, Value, Cancer**

## **GİRİŞ:**

Radon; radyoaktif gazlar grubunda yer almakta olup rengi, kokusu ve tadı bulunmamaktadır. Radon, soygazlar grubunda ve bu grubun ağır olan elementleri içerisinde yer almaktadır. Radonun reaktivitesi zayıf olduğu için solunduğunda kimyasal olarak dokulara bağlanamaz. Radon gazının dokular içerisinde çözünmesinin ihtimali yüksek değildir. Bu gaz, toza ve diğer küçük maddelere yapışarak çok fazlı bir sisteme dönüşür ve nefes alıp vermemiz ile akciğerlerimizde tutunmaya başlamaktadır. Bu sebeple taşınma yolu ile solunarak akciğerlere ulaşabilirler. Radonun ve radon türevi ürünleri solunması ciddi bir sıhhat riski oluşturmaktadır. Radon türevi ürünleri kararlı hale gelene kadar bozulmayı sürdürür, radyasyon bozunma işleminin bütün basamaklarında salınmaktadır.

Dünya genelinde radon gazı, sağlık açısından ciddi bir risk olarak kabul edilmektedir. Radon, yer altından yayılan bir kanserojen olarak kabul edilir ve iç hava kalitesi üzerinde negatif etkileri vardır. Pek çok Avrupa ülkesinde, meskenlerde radona maruz kalmayla ilişkili akciğer kanseri riskini doğrudan tahmin etmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Bunun yanı sıra ülkeler arasında radon standartları ve yasal düzenlemeler farklılık göstermektedir. Özellikle, radonun gayrimenkul piyasasına etkisiyle ilgili bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar radon seviyeleri yüksek olan bölgelerde gayrimenkul değerlerinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, radon gazının seviyelerini düşürmek için önlemler almak ve toplumda radon bilinci oluşması konuları önemli hale gelmektedir.

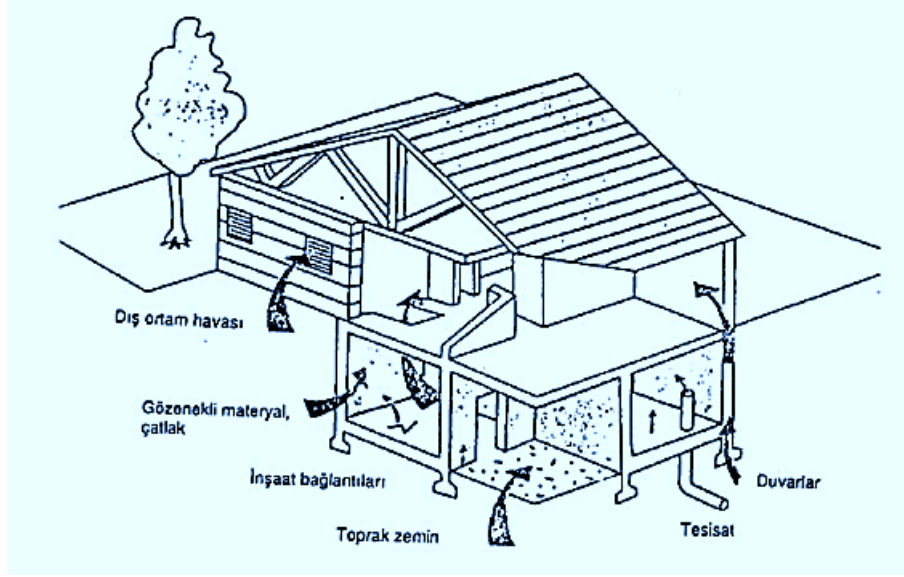
Bu çalışma, Türkiye’de radon gazının gayrimenkul ilişkisini gayrimenkulün değerine etkisini araştıran ilk çalışmadır. Farklı ülkelerde radon gazı ile gayrimenkul ilişkisi ve Türkiye’de uygulanabilirliği nitel araştırma yöntemiyle ortaya konulmaya çalışılmış, literatürde konuya ilişkin farklı ülkelerde yapılan çalışmalar analiz edilmiştir. Türkiye’de radon gazı ölçümlerinin yapılması, gayrimenkul ilişkisi ve uygulanabilirliği konularını ele almakta ve gayrimenkul sektöründe faaliyet gösterenler ve yatırımcılar için radon seviyelerini dikkate almalarının önemini vurgulamaktadır.

## **1. Kavramsal Çerçeve**

Durağan ve radyoaktif bir gaz olan radon, radyumun radyoaktif bozunması ile oluşur. Hidrojenden 100 kat, havadan 7,5 kat daha ağır olan radon gazı; radyoaktif radyumun stabil kurşuna dönüşümü sırasında oluşur. Radon, topraktaki radyumun bozunması ile yeryüzüne karışmaktadır. Sıcaklık artışı toprağın kurumasına ve açıklıkların artması sonucunda radonun topraktan çıkması kolaylaşmaktadır (Çömlek, 2010).

Dünyanın oluşumundan bu yana doğal radyoaktif elementler mevcuttur. Radonun temel elementi olan radyoaktif radyum da bunlar arasındadır. Toprakta havaya çıkan radon, önemli bir iç mekân kirlenici eleman olarak bilinmektedir (Güler & Çobanoğlu, 1997). Havadaki radon ve bozunma ürünlerinin ölçülmesinde birçok farklı teknik kullanılmaktadır (Akar, 2010). Yapının inşa edilmesinde

kullanılan malzemeler, iç duvarlardaki boşluklar gibi sebeplerle radon gazı iç mekanlara girebilmektedir. Kapalı ortamlarda, evin içindeki hava basıncı dışarıdaki basınçtan düşük olduğu için radon gazı evin içine çekilmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Binalarda Radon Girişi (Anonim, 2012)

Japonya’da seçilen evlerde toryum konsantrasyonu kapalı ortamda 15 Bq/m<sup>3</sup>, sınırlar içindeki değer 0,04 ile 8,2 Bq/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Hong Kong’da farklı yaşlardaki 32 binanın değerlendirilmesinde radon gazı konsantrasyonunun bina yaşı ile azaldığı sonucuna varılmıştır. Seçilen ülkelerde ölçülen radon gazı ortalama değerleri ev sayısı üzerinden incelenmiştir (Tablo 1) (Mihçi, 2008).

**Tablo 1.** Seçilen ülkelerde hane içi radon değerleri (Mihçi, 2008)

Seçili Ülkeler	Ev Sayısı	Ortalama Değer (Bq/m <sup>3</sup> )
Avusturya	3.499	75
Belçika	300	48
Bulgaristan	841	28
Çek Cumhuriyeti	75.000	140
Danimarka	495	47
Almanya	7.500	50
Finlandiya	50.000	123
Fransa	6.878	68
Litvanya	120	37
Macaristan	1.000	55
İrlanda	211	60
İsrail	17.000	*
İtalya	4.800	77
Fransa	6.878	68
İngiltere	270.000	20
İsveç	350.000	108
Yunanistan	571	92

Norveç	7.525	51-60
Hollanda	1.000	29
Polonya	5'den az	0
Portekiz	4.200	
İngiltere	270.000	20
İspanya	239	-
Lüksemburg	2.500	-
İsviçre	9.000	70

Binaların yapımına başlamadan önce radon ile ilgili riskler göz önünde bulundurulmalıdır. Bacalarda ve aktif havalandırıcılarda zeminden radon alımı üzerinde inhibitör etkisi vardır. Duvarların, tavanların, zeminleri ve derzlerin, su sistemleri ve boruların giriş ve çıkış noktaları iyi kapatılmalıdır. Zemin toprak ise, bir polietilen naylon ile kapladıktan sonra çimento dökmek uygundur (Uludağ, 2010).

## 2. Radon Gazı ve Gayrimenkul

Gayrimenkullerde radon gazının inşaat aşamasından yıkım sürecine kadar önemli bir etkisi bulunmaktadır. Gayrimenkulün inşası sırasında radon gazının tespit edilmesi ile radonun önlenmesi için yapılacakların maliyeti, gayrimenkul inşa edildikten sonra radonun önlenmesi için katlanılan maliyetten çok daha düşük seviyededir. Radon gazının önlenmesi için katlanılan maliyet gayrimenkulün değerini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmanın sonucunda yapılan öneriler ve çıkarımlar özellikle gayrimenkul sektöründe başka çalışmalara konu olabilecek ve bu yöndeki çalışmalara yol gösterebilecek niteliktedir. Böylelikle radon gazının Türkiye için çok daha kolay çözülebilecek bir durum olmasını sağlanacaktır. Türkiye’deki araştırmalar incelendiğinde radon ile ilgili sınırlı sayıda araştırma olduğu gözlemlenmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır;

Arıcı (1996)’nın “Adıyaman ilinde radon gazı konsantrasyonları ölçümü” adlı çalışmasında Adıyaman şehrinde pasif yöntem adı verilen plastik tabanlı bir nükleer mikro dedektör kullanılarak bina içi radon ve radon ürünü konsantrasyonları ölçmüştür. Bu şekilde hazırlanan dedektörler 1994 yazında ve 1995 kışında iki kategoride dağıtılarak radona maruz bırakmıştır. Radon değerlerini hesaplamış ve bu değerler, Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP) tarafından belirlenen değerlerle karşılaştırmıştır (Arıcı, 1996).

Vaizoğlu (1997)’nin çalışmasında Ankara’da 167 evde kışık radon konsantrasyonu ölçüm sonuçları ile ilişkili olabilecek faktörler sunulmuştur. Ölçümler oda, oturma odası ve yatak odasında alınmıştır. Altı ay içinde 200 hanenin 191’ine dedektör takılmış ve 167 hanede ölçüm yapılabilmemiş ve ölçüm sonuçları 2 Bq/m<sup>3</sup> ile 408 Bq/m<sup>3</sup> aralığında değişmekte olduğu gözlemlenmiştir. Evin zemin ve duvar malzemeleri, evin havalandırma ve ısıtma özellikleri, duvarlarda çatlakların varlığı radon seviyeleri ile ilişkili faktörler olarak bulunmuştur (Vaizoğlu, 1997).

Bozkurt (2008)’un çalışmasında önemli cami ve medreseler gibi tarihi mekanlarda radon konsantrasyonuna ne ölçüde maruz kaldığını, buralarda vakit geçiren kişilerin hangi boyutlarda radon gazının etkisi altında kaldığını, belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Belirlenen yerlerde yapılan <sup>222</sup>Rn yoğunluklarına ait ortalama değerler; Sungur Bey Camii 31.6 Bq/m<sup>3</sup>, Alaeddin Camii 52 Bq/m<sup>3</sup>, Dışarı Camii 47 Bq/m<sup>3</sup> ve Ak Medrese için 31 Bq/m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada elde edilen radon konsantrasyon değerleri yapılan yerlerin geniş bir alana sahip olması ve hava akımının iyi olması nedeniyle radon konsantrasyon değerleri sınır değerinin altında çıkmasına neden olmuştur (Bozkurt, 2008).

Mihçı (2008)'nin çalışmasında iki aşamada tamamlanan çalışma için radon gazı değerleri tespit edilmiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurulu'ndan temin edilen pasif nükleer izleyiciler ile yaz ve kış aylarında Sivas'ın merkez yerleşiminde seçilen evlere yerleştirilmiştir. Böylece Sivas merkez yerleşiminde ev içi ve yer altı radon gazı dağılımı haritalanmıştır. Türkiye'de inşaat öncesi radon gazı ölçümü için uygun yöntemlerin belirlenmesine yönelik taslak standartlar bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalarda toprak içi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri  $6 \text{ kBq/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Buna karşın yaz dönemi kapalı ortam radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri  $98 \text{ Bq/m}^3$  iken kış dönemi radon gazı yoğunlaşması ortalama değeri  $89 \text{ Bq/m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin Türkiye ortalaması olan  $52 \text{ Bq/m}^3$  değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bu çalışma Türkiye'deki bir boşluğu doldurmak için ciddi bir girişimdir (Mihçı, 2008).

Yeşilbağ (2008)'in çalışmasında Artvin ve Ardahan illerinde kapalı ortam radon konsantrasyonlarını ve çevre topraklardaki radyoaktivite düzeylerini ölçmek için yapılmıştır. Mevsimsel radon ölçümleri Ardahan ilinde 48, Artvin ilinde 73 hanede olabildiğince eşit dağılarak yapılmıştır. Artvin'de radon konsantrasyonu  $21 \text{ Bq/m}^3$  ile  $321 \text{ Bq/m}^3$  aralığında, senelik konsantrasyon değeri  $132 \text{ Bq/m}^3$  ve Ardahan'da  $53 \text{ Bq/m}^3$  ve  $736 \text{ Bq/m}^3$  aralığında ve senelik  $173 \text{ Bq/m}^3$  konsantrasyonla değişmekte olduğu tespit edilmiştir (Yeşilbağ, 2008).

Kaplan (2009)'in çalışmasında belirlenen adresler de radon ölçüm cihazları 70 gün süreyle tutularak binalardaki radon gazı seviyeleri belirlenmiştir. Adapazarı Merkez Organize Sanayi Bölgesi'ndeki fabrika ve işyerlerinde ortalama  $222\text{Rn}$  konsantrasyonu  $51,00 \text{ Bq/m}^3$ , okullarda ortalama  $222\text{Rn}$  konsantrasyonu  $65,48 \text{ Bq/m}^3$ , evlerde ortalama  $222\text{Rn}$  konsantrasyonu  $59,1 \text{ Bq/m}^3$  olduğu belirlenmiştir (Kaplan, 2009).

Özderya (2009)'nin çalışmasında Samsun'da CR-39 SSNTD nükleer mikro detektör kullanılarak yerel bir radon çalışması yapılmıştır. Samsun'da 127 evde her mevsimde mümkün olduğunca üniform olarak radon ölçümleri yapılmıştır.  $222\text{Rn}$  konsantrasyonu  $23 \text{ Bq/m}^3$  değeri ile  $230 \text{ Bq/m}^3$  değeri aralığında değişmekte ve ortalama yıl bazlı konsantrasyon  $106 \text{ Bq/m}^3$  değerinde olduğu gözlemlenmiştir.  $222\text{Rn}$  konsantrasyonları kışın yüksek, yazın ise daha az seviyelerde olduğu saptanmıştır (Özderya, 2009).

Alkan (2014)'in çalışmasında İzmir ilinin aynı ilçe içerisinde yaşayan akciğer kanseri hastalarının ve sağlıklı kişilerin evlerindeki radon aktivitesi konsantrasyonunu ölçmek ve karşılaştırmak için dedektör kullanılarak, ev içinde bulunan radon aktivitesi yoğunluğunun frekans dağılımı, şehirlerde radon oluşumu ve farklı bölgelerin bina dağılım haritası çıkarılmıştır. Çalışmada belirlenen radon yoğunlukları ve tahmini yıl bazında etkili dozları Türkiye Atom Enerjisi Kurumu limitleri ile karşılaştırırken; Bayraklı ilçesinde 1 konut, Karşıyaka ilçesinde 2 konut ve Bornova ilçesinde 1 konut dışında yapılar güvenilir bölgelerde yer almıştır.

İncelenen 117 tane meskenin 59 tanesinde  $^{222}\text{Rn}$  konsantrasyonlarının Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonunun (1993) tavsiye ettiği  $200 \text{ Bq/m}^3$  lük prosedür sınırının üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Hasta grubunun yaşadıkları alanda ölçülen ortalama kapalı alan radon konsantrasyonu  $261 \text{ Bq/m}^3$  olarak gözlemlenmiştir. Sağlık sorunu olmayan grubun yaşadıkları alanda ortalama konsantrasyonun  $123 \text{ Bq/m}^3$  olarak gözlemlenmiştir (Alkan, 2014).

Apak (2014)'in çalışmasında tasarımcılara radona karşı ne gibi önlemler alınabileceğini açıklamak ve soruna çözüm seçiminde yol gösterecek öneriler sunmuştur. Türkiye'deki çalışmalar incelendiğinde çalışmalar, alternatif çözümleri desteklemek için çok araştırma yapıldığı, ancak tasarımcılara eldeki durumlar için doğru çözümü sistematik olarak seçme konusunda rehberlik edecek hiçbir yol sunulmadığı için bu çalışma radon ile ilgili Türkiye'deki farklı çalışmalardan bir tanesidir (Apak, 2014).

Aldemir (2018)’in çalışmasında Batman ilindeki ilköğretim okullarında bina içi radon ve gama dozları ölçülmüştür. Batman ilinin coğrafi olarak homojen dağılmış 41 ilköğretim okulunda, veri elde etmek için 3 ay boyunca okulun farklı katlarına CR-39 dedektörleri konumlandırılmıştır.  $^{222}\text{Rn}$ ’nin seçilen alandaki ortalama yıllık aktivitesi  $41 \text{ Bq/m}^3$  olarak belirlenmiştir (yıllık  $0.25 \text{ mSv}$ ’lik etkin doza karşılık gelir). Bununla birlikte, kentsel alanlarda maksimum radon  $109 \text{ Bq/m}^3$  olarak ölçülmüştür (Aldemir, 2018).

Çıtlak (2018)’in çalışmasında Sakarya Üniversitesi kampüsü içerisinde çeşitli binalarda (fakülteler, yurtlar, yurtlar, idari tesisler) bina içi radon aktivite konsantrasyonunu ölçmek, yıllık radyasyon dozunu hesaplamak ve kampüs binaları içerisinde radyasyon risk haritası oluşturmak amacıyla radon konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere göre, kapalı alan radon konsantrasyonları  $0,2 \text{ Bqm}^{-3}$  ile  $19,53 \text{ Bqm}^{-3}$  arasında değişmektedir (Çıtlak, 2018).

Alan (2019)’in çalışmasında İstanbul metro istasyonunun çalışma ofislerinde, turnikelerinde, kabinlerinde ve peronlarında radon yoğunlukları ölçülmüştür. 7 adet hat üzerinde 70 adet istasyonda ölçümler yapılmıştır.  $^{222}\text{Rn}$  densitometri çalışmaları platformda  $39.7 \text{ Bq/m}^3$  değeri ile  $382.02 \text{ Bq/m}^3$  değerlerinde tespit edilmiştir. Platformdaki istasyonlar için yaklaşık  $^{222}\text{Rn}$  seviyesi  $11,60 \text{ Bq/m}^3$  hesaplanmıştır (Yılmaz 2019).

Gül (2019)’ün “Binalarda radon gazı konsantrasyonunun ölçümü” adlı çalışmasında ortalama radon gazı konsantrasyonları, Ankara Üniversitesi’nin 10.yıl kampüsünün çeşitli ofis ve laboratuvarlarında radon detektörü kullanılarak 7 ila 15 gün arasında kısa süreli ölçümlerle tespit edilmiştir. Ölçüm yapılan yerlerde en düşük radon yoğunluğu  $14 \pm 6 \text{ Bq/m}^3$  değerinde, en yüksek radon yoğunluğu ise ortalama  $81 \pm 12 \text{ Bq/m}^3$  değerinde olmuştur. Tespit edilen değerlerin, sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür (Gül, 2019).

Abaka (2019)’nın çalışmasında Konya ilinin Ilgın ilçesinde bulunan 19 adet okul ile 3 adet kaplıca binasının giriş ve alt katlarındaki kapalı alan  $^{222}\text{Rn}$  yoğunluğu değerleri 3 gün üst üste ölçülmüştür. Kapalı alan  $^{222}\text{Rn}$  seviyelerinin  $25 \text{ Bq m}^3$  değeriyle  $15 \text{ Bq m}^3$  değeri arasında olduğu saptanmıştır (Abaka, 2019).

Özkablan (2020)’in “Kilis ili toprak örneklerinde radon gazı ölçümü” Kilis ilinden elde edilen 29 adet toprak örneğindeki radon gazı yoğunlukları radon detektörü yardımıyla tespit edilmiştir. Kilis ilindeki toprak numuneleri için  $^{222}\text{Rn}$  yoğunluğu,  $^{222}\text{Rn}$  salınım hızı, radyumun efektif içeriği, yıl bazında efektif doz eşdeğeri ve topraktan  $^{222}\text{Rn}$  salınımına bağlı olarak kapalı alan radon gazı yoğunluğu tespit edilmiştir (Özkablan, 2020).

Yabancı kaynaklarda radon ile ilgili araştırmalar incelendiğinde bu konu başlığının Türkiye’ye göre daha popüler olduğu görülmektedir. EPA’nın yapmış olduğu araştırmalarında ilk olarak radon gazını tanımlamış ve olası sağlık riskleri açıklamıştır. Binalardaki radon konsantrasyonlarını etkileyen faktörler detaylandırmış ve radonun binalara girmesini önlemenin yolları hakkında bilgi vermiştir (Anonim, 2023).

İrlanda (2002)’da yapılan çalışmalarda, radonun binaya giriş şeklini ve binadaki radonun yoğunluğunu ölçmek için farklı tipte cihazlar tanıtılmıştır. Radon dağılım haritaları çıkarılmış, farklı yapı tipleri için kabul edilebilir limitler önerilmiş ve mevcut yapılarda radon konsantrasyonlarını azaltmak için çözümler verilmiştir (Anonymous, 2002). ICRP tarafından yayınlanan (1987) bu çalışma, radonun ve bozunma ürünlerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini bir dizi faktör üzerinden incelenmiştir (Anonymous, 1987).



Lewis (2006)'in çalışmasında, radonun ve bozunma ürünlerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini bir dizi faktöre dayalı olarak incelemiştir. İlk organizasyon EPA'dır. Binalarda radonun bilinen ilk çalışması 1956'da İsveç'te yapılmıştır. İngiltere'de ise ilk ölçümler 1965 senesinde yapılmıştır (Lewis, 2006).

### 3. Radon Gazına Dair Gerçekleştirilen Çalışmalar

Ülkelerde; konutlarda izin verilen radon gazı limitleri belirlemiştir. Birçok ülkede 200 Bq / m<sup>3</sup>, evlerde maksimum radon gazı konsantrasyon sınırı olarak kabul edilir. Radon gazı her ülkede farklı sınır değerlerine sahiptir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Radon Gazı Yoğunlaşması Limitleri (Bq/m<sup>3</sup>) (Tufaner, 2008)

Ülke	Limit (Bq/m <sup>3</sup> )	Ülke	Limit (Bq/m <sup>3</sup> )	Ülke	Limit (Bq/m <sup>3</sup> )
Almanya	250	İngiltere	200	Norveç	200
Kanada	800	Çin	200	Fransa	400
Avustralya	200	İrlanda	200	<b>Türkiye</b>	<b>400</b>
AB ülkeleri	400	İsveç	200	Danimarka	400
Lüksemburg	250	WHO	100	ICRP	400
Hindistan	150	Rusya	200	ABD	150

Birleşik Krallık hükümeti, Birleşik Krallık'ta radona maruz kalmanın halk sağlığına yönelik risklerini azaltmak için gereken hedefleri ve eylemleri belirleyen Ulusal bir Radon Eylem Planı yayınlamıştır. Plan, radon seviyesi 200 Bq/m<sup>3</sup> eylem seviyesinin üzerinde olan ev sayısını azaltma hedefini içermektedir.

Birleşik Krallık'ta radon ve potansiyel sağlık etkileri ile ilgilenen birkaç kuruluş vardır. Public Health England (PHE), Sağlık ve Güvenlik Yöneticisi (SEC The British Geological Survey (BGS), Ulusal Radyolojik Koruma Kurulu (NRPB); Ulusal Sağlık ve Bakım Mükemmelliği Enstitüsü (NICE) kuruluşları radon gazı hakkında rehberlik, standartlar ve bilgi sağlamaktadır. Birleşik Krallık'taki bina yönetmeliği, yeni yapıların binalara radon gazı girişini sınırlamak için koruyucu önlemlere sahip olmasını gerektirmektedir. Ulusal radon eylem planı; Birleşik Krallık hükümeti, Birleşik Krallık'ta radondan kaynaklanan sağlık risklerini azaltmak için gereken hedefleri ve eylemleri belirleyen ulusal bir eylem planı yayınlamıştır. Plan, radon seviyesi 200 Bq/m<sup>3</sup> eylem seviyesinin üzerinde olan ev sayısını azaltma hedefini içermektedir. Bakım görevi; ev sahiplerinin kiracılarını radon gazı da dahil olmak üzere tehlikelerden korumak için yasal bir bakım görevi vardır (Anonymous 2018a).

Brezilya'da yaşam alanlarında yüksek konsantrasyonlarda radon gazı gözlemlenmektedir. Ülkede radon gazı konsantrasyonlarının 1000 Bq/m<sup>3</sup>'ten yüksek olduğu alanlarda önlemler içeren ulusal bir düzenleme onaylanmıştır (Mihçı, 2008).

Çin Ulusal Standart Kurumu radon gazı seviyelerini yeni binalar için 200 Bq/m<sup>3</sup>, mevcut yapılar için 400 Bq/m<sup>3</sup> olarak belirlemiştir (Mihçı, 2008). Ülkede radon gazının kontrolü için resmi bir kuruluş görevi yapan Çin Halk Cumhuriyeti Kanser Kontrol ve Önleme Merkezi ve Çin Halk Sağlığı Kurumu tarafından yönetilmektedir. Çin Halk Cumhuriyeti Kanser Kontrol ve Önleme Merkezi'nin sunduğu öneriler; evlerin iyi havalandırılmasını, su yapılarının düzenli olarak denetlenmesini ve evleri yeniden inşa ederken radona dayanıklı malzemelerin kullanılmasını içermektedir. Çin Halk Cumhuriyeti'nde özellikle evlerde, okullarda ve işyerlerinde radon ölçüm kontrolü yapılmaktadır. Çin Halk Cumhuriyeti'nde radon ölçümleriyle ilgili resmi bir talimat bulunmamakta olup radon ölçümleriyle ilgili öneriler ve kılavuzlar bulunmaktadır. Örneğin, Çin Halk Cumhuriyeti'ndeki radon ölçümleriyle ilgili aşağıdaki öneriler ve sınırlamalar mevcuttur. Bu sınırlamalar, ortamın havasız olup olmadığı,

ortamın hava akışının yoğunluğu gibi faktörlerin ölçülmesi, ölçümlerin hedef popülasyonda yüksek bir radon gazı ölçümüne sahip olma olasılığı varsa, ölçümler daha sık yapılmalıdır. Bu sayede radon gazı tüplerinin miktarı belirlenebilir ve radon gazı riski azaltılabilir. Ölçümler sırasında ölçüm cihazının doğru kullanılması ve ölçümlerin doğru yapılması önemlidir. Çevredeki ortamın sıcaklığı, nem ve radon gazının hava akımına karışma hızı gibi faktörler ölçümleri etkiler. Bu öneriler ve sınırlamalar, Çin Halk Cumhuriyeti’nde radonun nasıl ölçüleceğine ilişkin genel bilgiler içindir. Çevrenin özelliklerine göre ölçümlerin yapıma şeklidir. Bu nedenle, radon ölçümlerinin ortamının özellikleri dikkate alınarak ölçümler yapılmalıdır (Anonymous, 2018b).

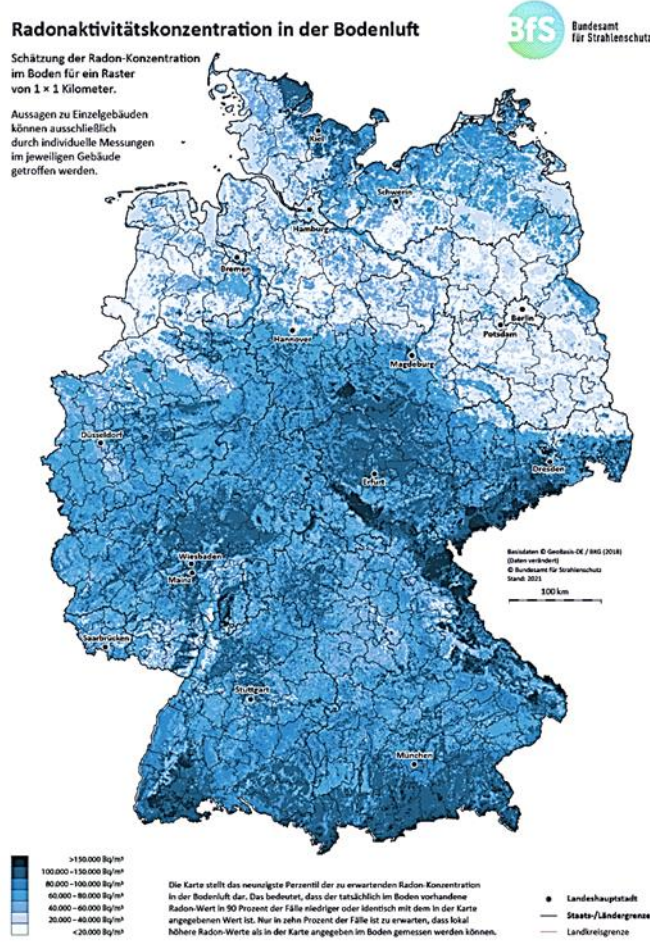
ABD, radon gazı ile mücadelede çok ciddi politikalar izlemektedir. Ulusal Radon Eylem Planına göre Amerika Birleşik Devletleri’nde önlenabilir radon kaynaklı akciğer kanserini ortadan kaldırmak için uzun vadeli bir strateji sunmaktadır. Nihai hedef, evlerin ve diğer binaların satın alınmasını, finanse edilmesini, inşasını ve yenilenmesini yöneten sistemlere radon testi, radon azaltma ve radona dayanıklı yapıyı dahil ederek Amerika Birleşik Devletleri’nde önlenabilir radon kaynaklı akciğer kanserini ortadan kaldırmaktır.

Radon Eylem Planı aracılığıyla radon eylemini destekleyen 30’dan fazla yeni projenin başlatılması ve üç farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; Profesyonel radon hizmetlerini kullanarak yüksek radonu test etme ve azaltma, radon riskinin azaltılması için gerekli durumlarda finansal teşvikler ve doğrudan destek sağlanması, radon riskinin azaltılmasının önemi, uygulanabilirliği ve değerinin gösterilmesidir. Federal Radon Eylem Planı, gelecekteki başarı için güçlü bir temel oluşturmaktadır. 2014 itibarıyla, federal eylemler, radon riskini azaltmaya yönelik rehberlik ve teşviklerle tahminen 1,6 milyon eve, okula ve çocuk bakım tesisine ulaşmış ve yaklaşık 200.000 birimde yüksek radon riskini test etmiş ve gerektiğinde yüksek radon riskini azaltmak için önlemler almıştır (Anonymous, 2022b).

Almanya’da radon ile ilgili olarak birçok resmi kurum ve kuruluş faaliyet göstermektedir. Bu kurumlar arasında en önemlilerinden bazıları; Bundesamt für Strahlenschutz (Federal Radyasyondan Korunma Dairesi- BfS), Bundesgesundheitsministerium (Federal Sağlık Bakanlığı), Länder (eyalet) sağlık bakanlıkları, Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Radon (BLAR), Arbeitsgemeinschaft Radon in der Medizin (ArRad) radon riski hakkında bilgi vermekte ve radon önlemlerini almak için yol göstermektedir (Anonymous, 2022a).

Almanya’da radon seviyeleri için belirlenen sınır değerleri; evlerde: 200 becquerel/metreküp (Bq/m<sup>3</sup>), iş yerlerinde: 400 Bq/m<sup>3</sup>, okullarda: 400 Bq/m<sup>3</sup>’dir. Bu sınır değerleri, Almanya’da radon ölçümlerinin sonucunun ne kadar yüksek olmasına izin verileceğinin belirlenmesi ve sınır değerlerinin altında kalmasını sağlamak için önemlidir. Almanya’da radon ölçümü yapmak için çeşitli yöntemler kullanılır, radon ölçümü genellikle üç ay süre ile yapılır, ölçüm sonucu elde edilen değer ortalama değer olarak kabul edilmektedir. Almanya için radon haritası bulunmaktadır (Şekil 2).





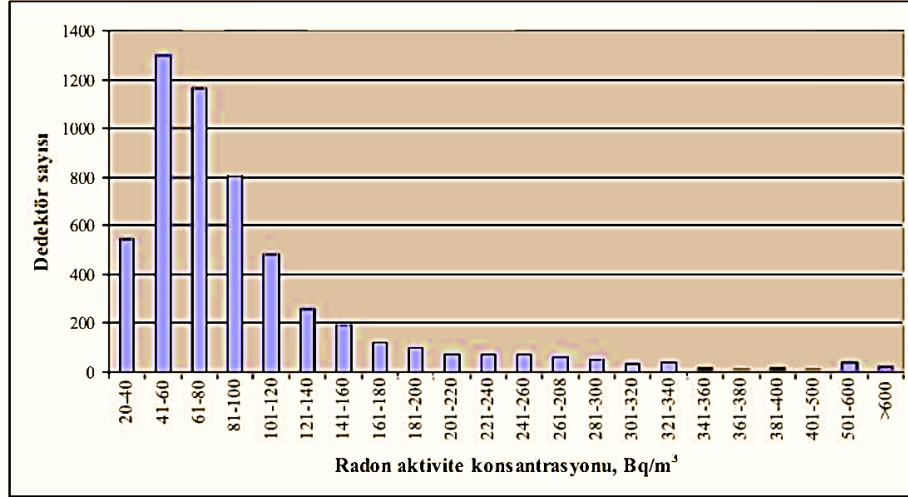
Şekil 2. Almanya’da Radon Haritası (Anonymous 2022a)

Japonya’da radon, genellikle yer altı sularından ve topraktan salınmaktadır. Evlerde veya iş yerlerinde yüksek radon seviyeleri görülmektedir. Japonya hükümeti, radonun sağlık risklerini yönetmek için çeşitli önlemler almıştır. Örneğin, Japonya Sağlık ve Sosyal İşler Bakanlığı, radonun sağlık risklerini yönetmek, radon tahliyesini yaygınlaştırmak, radonun sağlık riskleri konusunda halkı bilinçlendirmek gibi faaliyetler için geniş bir çalışma yürütmektedir (Homma, 2021).

Japonya hükümeti radon eğitimi için çeşitli standartlar ve ölçüm yöntemleri belirlemiştir. Ayrıca, Japonya hükümeti, radon sınıfının yüksek olduğu grup özel önlem almak için özel bir önlem planı oluşturmuş ve buna ek olarak radon önleme için teknolojiler geliştirilmekte ve yaygınlaştırmayı teşvik etmektedir. Örneğin, Japonya’da radon havalandırma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, radon gazının evlerin ve iş yerlerinden yönlendirmesi için kullanılan yer altı havalandırma sistemleridir.

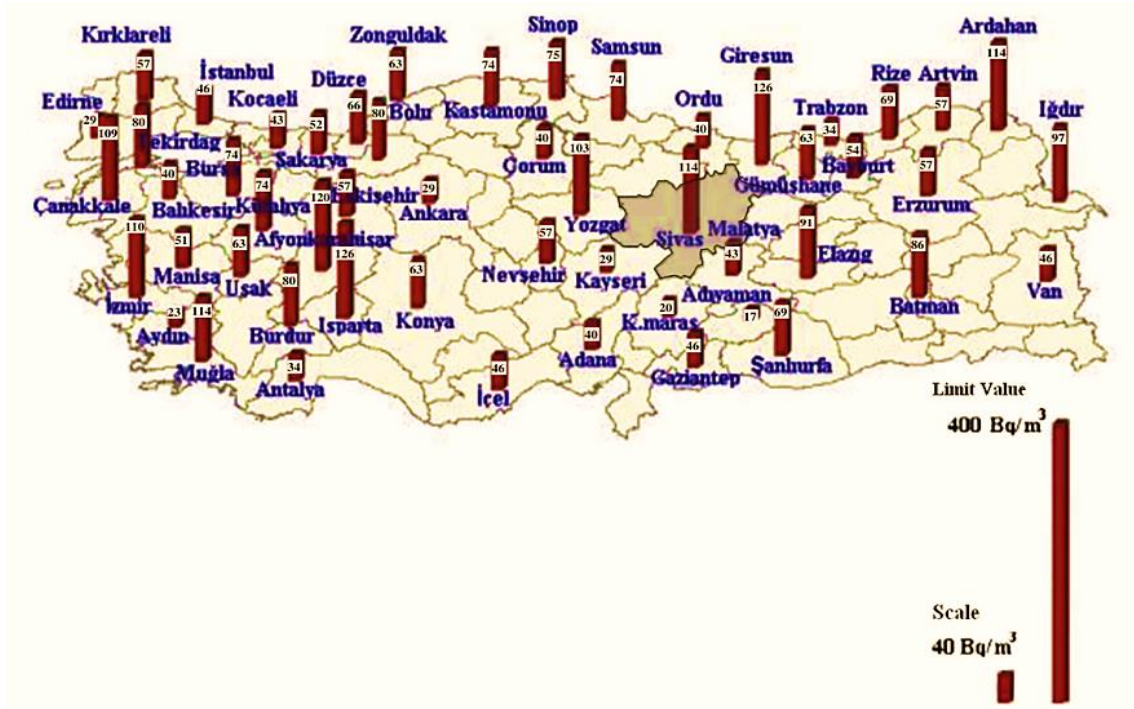
Japonya’da hükümet radon risklerini yönetmek için çalışan birçok araştırma kuruluşu ve üniversite ile iş birliği yapmaktadır. Bu kuruluşlar arasında Radon Risk Azaltma Derneği, Radon Risk Azaltma ve Çalışma Grubu, Radon Risk Azaltma Ağı gibi gruplar yer almaktadır. Japonya’da radon ile ilgili kurum ve kuruluşlar arasında; Japonya Sağlık ve Sosyal İşler Bakanlığı (MHW), Japonya Çevre ve Orman Bakanlığı (MEF), Radon Risk Azaltma Derneği (RRAD), Japonya Radyasyon Tedavisi Derneği ve Radon Risk Azaltma ve Çalışma Grubu (RRWG) gibi bakanlık ve topluluklar radonun sağlık risklerini azaltmak, radonun boyutunu ölçmek, radon tahliyesini genişletmek ve yaygınlaştırmak, radonun sağlık riskleri konusunda halkı bilinçlendirmek gibi çalışmalar yürütmektedirler. Japonya Sağlık ve Sosyal İşler





Şekil 4. Türkiye Geneline Evlerde Radon Aktivite Konsantrasyonu Dağılımı (Anonim, 2012)

Yapılan çalışmalar incelendiğinde verilerin Türkiye ortalaması sınır değerlerin altında geldiği görülmüştür (Şekil 5). Türkiye'deki çalışmalar radon kritik seviyesinin altında olduğunu göstermiştir. Türkiye'de kesin bir sonuca varılabilmesi için çok daha detaylı ve kapsamlı çalışmalar yürütülmelidir. Bunun için ise radona ile mücadele içinde olan Türkiye politikalarında daha ciddi kararlar verilerek değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.



koşulları, bölgedeki güvenlik önlemleri, sosyal donatılara ve alışveriş alanlarına uzaklığı, kamu hizmetlerinden yararlanma durumu, taşınmazın satılabilir ve devredilebilir olması, taşınmaz üzerindeki yapıda gerçekleştirilen arsa payı dağıtımı, yapı niteliği, net ve brüt alanlar, kullanım şekilleri ile kalitesi olarak sıralanmaktadır. Gayrimenkullerin değerlerini etkileyen başlıca faktörler iç ve dış faktörler olarak iki kategoride gruplandırılmıştır ve bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır (Tanrıvermiş, 2016).

Gayrimenkulün kendisine dair ait özellikleri açıklamaya yarayan unsurlar; fiziki koşullar, kıtlık, fayda ve devredilebilirliktir. Gayrimenkule doğrudan ait olmayan ancak gayrimenkulden farklı nedenlerle etkisi olabilecek unsurları dış etken olarak tanımlanmaktadır. Bu unsurlar; ekonomik, sosyo-kültürel ve hukuki faktörler olarak analiz edilmektedir.

Her gayrimenkulün konum ve kullanım açısından birçok farklı özelliği bulunduğundan, bu özellikler nitelik ve nicelik bakımından kişiden kişiye farklılık gösterebilmektedir. Gayrimenkulün değerini tahmin edebilmek için değer oluşumunda etkili olan tüm faktörleri detaylı olarak analiz etmek gerekmektedir. Her gayrimenkulün değerinin oluşumunu etkileyen faktörler ve ağırlıkları farklı olup radon gayrimenkulün değerini etkileyen içsel faktörlerden olan fiziki kullanım koşullarındandır.

ABD’de ve Avrupa’da alıcıların yaklaşımları incelendiğinde radon seviyesi yüksek evlere talebin düşük olması nedeniyle taşınmazların değerinde düşüş meydana geldiği ancak bu evlerde radon azaltılması için önlem alınması halinde diğer gayrimenkullere göre radon kaynaklı bir değer kaybı olmadığı gözlemlenmiştir. Alıcıların satın almak istedikleri gayrimenkullerde radon gazını yüksek tespit etmeleri halinde radon gazı önleme ya da azaltma sistemlerinin maliyetini satıcıdan gayrimenkulün satış fiyatı üzerinden düşülmesini talep ettiği görülmüştür (Anonymous, 2022c).

Değer düşüşünün, bilinmeyen ve uzun vadeli gizli sorunlara (radon) göre görünür sorunlar (havadaki mayın tozu) için daha fazla olacağı tanımlayıcı istatistiklerle desteklenmiştir. İhale havuzunun en üst çeyreği için ortalama değer kaybının (marjinal en yüksek teklif verenlerin mülkü aldığı varsayılarak), maden tozu için %40’a karşı radon için ortalama %22’lik bir düşüş olduğunu göstermiştir (Simons vd., 2008).

Midwest’deki büyük bir endüstriyel tesisten salınan radyoaktif maddelerin konut fiyatları üzerindeki etkisini analiz edilmiştir. Havadaki radyoaktif salınımın duyurusu sonra satış fiyatlarının yaklaşık %20 düştüğünü tespit etmişlerdir (Pinchbeck vd., 2020).

Birçok ülkede yapılan çalışmalar, radonun gayrimenkul değerlerini düşürdüğünü, radon önleme ve düzeltme çalışmalarının gayrimenkul değerlerini arttırdığını göstermiştir. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Minnesota eyaletinde müstakil evlerin mülk değerlerinin satış verilerini analiz etmek için hedonik bir fiyat analizi kullanılmıştır. Çalışma, daha yüksek radon seviyelerine sahip evlerin satış fiyatlarının daha düşük olduğunu göstermiştir. Spesifik olarak, çalışma, radon seviyelerinin iki katına çıkmasının bir evin satış fiyatında %3,2’lik bir düşüşle ilişkili olduğunu tespit etmiştir. Çalışma ayrıca radonun mülk değerleri üzerindeki etkisinin bodrumlu evlerde daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan tek katlı evler üzerinde yapılmış ve evlerin radon seviyeleri ortalama olarak yüksek olarak belirlenmiştir (Goetz, 2004).

İsveç’te yapılan bir çalışmada, radon gazının mülk değerleri üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Çalışma, daha yüksek radon seviyelerine sahip evlerin, daha düşük radon seviyelerine sahip evlere kıyasla daha düşük mülk değerlerine sahip olduğunu tespit etmiştir. Çalışma aynı zamanda, radon konsantrasyonundaki 100 Bq/m<sup>3</sup>’lük bir artış için mülk değerindeki ortalama düşüşün %2-4 civarında olduğunu tahmin etmektedir (Lindgren, 200).



İngiltere’de yapılan bir çalışmada, radon haritalarından elde edilen veriler ile konut fiyatlarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma radondan etkilenen bir alandan bulunan konut ile radondan etkilenen bir bölgede olmayan bir konutun istatistiksel olarak önemli bir fiyat farkı olduğunu göstermektedir. Taşınmazın bulunduğu bölgede radon risk sınıflarındaki yukarı yönde değişim gayrimenkulün değerine negatif yönde etki ettiği ancak radon risk sınıfındaki aşağı yönde değişimin gayrimenkul değerlerinde değişime neden olmadığı gözlemlenmiştir. Radondan etkilenen evlerin fiyatları üzerindeki radonun toplam ortalama etkisi %1,33’lük değer düşüşü olarak yansımaktadır (Pinchbeck vd, 2020).

Türkiye’de radon ile ilgili yapılan çalışmalar, bu gazın coğrafi dağılımı, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, açık ve kapalı alanlardaki tespit yöntemleri gibi geniş bir yelpazede ele alınmaktadır. Bu araştırmaların bir kısmı radonun yoğun bulunduğu bölgelerin belirlenmesine ve insan sağlığına olan zararlarının boyutlarının anlaşılmasına odaklanmaktadır. Ayrıca, radonun açık alanlarda nasıl tespit edilebileceği ve kapalı alanlarda hangi seviyelerde bulunduğu üzerine yoğunlaşan bilimsel çalışmalar da mevcuttur. Radon salınımı yapan yapı malzemeleri üzerine yapılan araştırmalar ise bu gazın özellikle inşaat sektöründe dikkate alınması gereken bir risk faktörü olduğunu ortaya koymuştur. Bu tür malzemeler, kapalı alanlardaki radon seviyelerini artırabileceği için, yapı malzemelerinin seçiminde dikkatli olunması gerektiği belirtilmiştir.

Radona dirençli yeni inşaat yapımı ve radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için bina kodları ve standartlarının belirlenmesi önemli görülmektedir. Örneğin, radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için gerekli olan havalandırma sistemleri, radon bariyerleri, radon sızıntısı önleyici malzemeler gibi önlemler ile belirlenmelidir. Bu sayede, radon maruziyeti riski olan binalar tespit edilir ve önlemler alınmalıdır.

Radon ile ilgili sorumluluk yüklenmesi; bir gayrimenkul edinimi sırasında alıcıya ve satıcıya radon seviyesi ile ilgili sorumluluklar yüklenmesi, radon önlemesi için önemli bir adım olarak görülmelidir. Bu sayede alıcı, gayrimenkulün radon seviyesini öğrendikten sonra, radon maruziyeti riski olabileceği düşünülürse, radon önleme önlemleri almak için karar verebilecektir. Satıcıya ise, gayrimenkulün radon seviyesini ölçtüğünü ve radon seviyesinin ölçüm sonuçlarını alıcıya sunabileceğini doğrulaması sorumluluğu yüklenenecektir. Bu sorumluluklar sayesinde, radon önlemesi için önemli adımlar atılmış olacaktır. Hem alıcı hem satıcı gayrimenkulün radon seviyesini bilerek, radon azaltma önlemleri alınması sağlanabilmektedir.

Radon testi yapacak kurum, kuruluş, ölçüm cihazı ve yöntemlerin belirlenmesi lisanslama ile yetkilendirmeler yapılması; radon ölçümlerinin doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemlidir. Radon ölçümleri için kullanılacak cihazların ve yöntemlerin de belirli standartlar ve kurallar dahilinde kullanılması gereklidir.

İmar planlarının hazırlanmasında radon etkisinin olması; imar planları hazırlanmadan önce radon etütleri yapılması, evlerde radon maruziyetini önlemek için önemli bir adımdır. Yüksek radon seviyeli olan bölgelerde, konut kullanımının kısıtlanması, radon maruziyeti riski olan insanların bu bölgelerde yaşamamasını sağlayacaktır. Ticaret imarı verilmesi ise, yüksek radon seviyeli olan bölgelerde radonla teması azaltmak için işletmelerin radon önleme önlemleri almalarını sağlayacaktır. Bu yollar, radon maruziyeti riskini azaltmak için etkili olabilir ancak bunun için ilgili yerel yönetimlerin radon etütleri yapmaları ve planlamaları yapmaları gerekmektedir.

Radon ölçümü için test kitine ulaşım kolaylığı sağlanması; radon maruziyeti riskini azaltmak için önemlidir. Eğer radon ölçümü için test kitleri ulaşılabilir ve kullanımı kolay ise, daha çok insan radon seviyelerini ölçtürebilir ve radon maruziyeti riski olabileceği düşünülürse radon azaltma önlemleri

alabilecektir. Ayrıca, insanlar radon maruziyeti riskini öğrendiklerinde, radon maruziyeti riskini azaltmak için gerekli önlemleri alabilirler.

Radon önleme sistemleri, radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için kullanılan çeşitli teknikleri içermektedir. Havalandırma sistemleri, Radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için havalandırma sistemleri kurulmaktadır. Bu sistemler, radonun yer altından yer üstüne yayılmasını engeller ve radon seviyelerini azaltmaktadır. Radon bariyerleri; Radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için radon bariyerleri kurulmaktadır. Bu bariyerler, radonun yer altından yer üstüne yayılmasını engeller ve radon seviyelerini azaltacaktır.

Radon sızıntısı önleyici malzemeler; radonun yer üstüne yayılmasını önlemek için radon sızıntısı önleyici malzemeler kullanılır. Bu malzemeler, radonun yer altından yer üstüne yayılmasını engeller ve radon seviyelerini azaltacaktır.

Radon önleme sistemlerinin denetiminin sağlanması; Radon önleme sistemlerinin denetimini sağlamak, radon maruziyeti riskini azaltmak için önemlidir. Radon önleme sistemlerinin denetimini sağlamak için bazı adımlar takip edilmesi gereken adımlar; sistemin kurulumunu yapan uzmanların, radon önleme sistemi kurulumunu denetlemeleri, radon ölçümleri yaparak radon seviyelerini ölçmeler, sistemin işleyişini ve performansının izlenmesi, gerektiğinde sistemi yenilemeler, radon ölçümleri ve sistem işleyişi ile ilgili raporları hazırlamalar, sistemlerin bakımının yapılmasını sağlamak olarak sıralanabilecektir. Radon önleme ve düzeltme hibe programları ve teşvikler verilmesi; radon maruziyeti riskini azaltmak için önemlidir. Kaynak bulmakta zorlanılmadığı durumlarda alınması gereken önlem ve düzeltilmesi gereken noktalarda çok daha kolay ve hızlı bir şekilde işlemler gerçekleştirilebilecektir. Dünyanın birçok ülkesinde radon önleme ve korunma programları ve teşvikler sunulmaktadır.

Yasal yetkiler ve sınırlar çizilmesi: radon önleme ve korunma çalışmalarının yürütülmesi için gerekli olan hukuki ve teknik bilgiye sahip bir ekip tarafından yapılması gerekmektedir. Bu ekip, radon maruziyeti riskini azaltmak için gerekli olan hukuki, sağlık, mühendislik ve diğer alanlarda uzman olan kişilerden oluşmalıdır. Hukuki bilgi; yasalar ve sınırların belirlenebilmesi için hukuki bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Sağlık bilgisi; yasalar ve sınırların belirlenebilmesi için sağlık bilgisine sahip olmak gerekir. Mühendislik bilgisi; bu bilgi, radon önleme ve korunma çalışmalarının yürütülmesi için gerekli olan mühendislik tekniklerini belirlemek için kullanılmaktadır.

Türkiye’de yapılan farkındalık çalışmalarında, halkın radon bilinci ölçülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalarda, insanların yaşadıkları ya da çalıştıkları ortamlarda radon gazı ölçümü talep edip etmedikleri ve bu gazın sağlık risklerinin ne kadar farkında oldukları araştırılmıştır. Özellikle gayrimenkul sektöründe, radonun varlığının gayrimenkul değerini nasıl etkilediğine dair ilk çalışmalardan biri olma niteliği taşıyan bu araştırma, radonun taşınmaz değerlemesinde göz ardı edilmemesi gereken bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Radonun gayrimenkul değerini etkileyebileceği düşüncesi, bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiğine işaret etmektedir.

#### 4. SONUÇ:

Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda dünyada ve Türkiye’de radon ile ilgili çalışmalar, ülkeler bazında alınan önlemler, ülkelerin politikaları ortaya konulmuştur. Bu incelemeler sonucunda Türkiye’de eksikliklerin olduğu ve bununla ilgili yapılan çalışmaların genelde bölgedeki radon seviyesi tespiti ve teknik olarak alınması gereken önlemlerin anlatılmasının üzerine çıkılmamıştır.



Öncelikle Türkiye radon eylem planı yapılması gerektiği dikkati çekmektedir. Eylem planı oluşturmak için öncelikle, ülkenin hedeflerini ve amaçlarını belirlemek gerekir. Sonrasında, ülkenin mevcut durumunun değerlendirilmesi yapılmalıdır. Ülkenin hedeflerine ulaşmak için gereken adımlar belirlenmelidir. Bu adımlar, gerekli kaynakların tahsis edilmesi, uygun politikaların oluşturulması ve uygulanması gibi araçlarla gerçekleştirilmelidir. Eylem planının uygulanması sürecinde, ülkenin mevcut durumunun sürekli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu sayede, ülkenin hedeflere ulaşması sürecinde oluşabilecek değişiklikler ve sorunlar karşısında hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilebilecektir. Eylem planının uygulanması sürecinde, ülkenin halkı ve ilgili kurumlar ile iş birliği yapılmalıdır. Bu sayede, ülkenin hedeflerine ulaşması sürecinde halkın desteği ve katılımı sağlanabilecektir.

Eylem planında koordineli bir şekilde çalışacak grupların belirlenmesi; yerel eylem planlarının oluşturulması ve uygulanması sürecinde, çeşitli kurum ve kuruluşların görev alması gerektiği vurgulanmalıdır. Özellikle, yerel yönetim idareleri, sağlık kuruluşları, çevre koruma kuruluşları, eğitim kuruluşları, sivil toplum kuruluşları, işletmeler ve özel sektör kuruluşları gibi kurumlar ve kuruluşlar görev alabilir. Belediye, il özel idareleri ve ilgili diğer yerel yönetim idareleri, yerel radon eylem planlarının oluşturulması, uygulanması ve izlenmesi sürecinde önemli bir rol oynayabilecektir.

Çevre koruma kuruluşları; il çevre, şehircilik ve iklim değişikliği müdürlükleri, çevre koruma ve kontrol merkezleri, çevre koruma dernekleri, yerel radon eylem planlarının oluşturulması ve uygulanması sürecinde, radonun yayılımını önlemek için gerekli önlemlerin alınması ve radon seviyelerinin azaltılması için gerekli çalışmaların yapılmasına dikkati çekmelidir. Eğitim kuruluşları; il milli eğitim müdürlükleri, okullar, eğitim kurumları yerel radon eylem planlarının oluşturulması ve uygulanması sürecinde, radonla ilgili bilgi ve eğitim programlarını düzenlemeli, sivil toplum kuruluşları işletmeler ve özel sektör kuruluşları; çeşitli sosyal, kültürel, ekonomik ve çevre konularında faaliyet gösteren sivil toplum kuruluşları, yerel radon eylem planlarının oluşturulması ve uygulanması sürecinde, yerel halkın bilinçlendirilmesi, radon seviyelerinin azaltılması için katkıda bulunmalıdır.

Devlet tarafından radon ofisleri kurulması; radon önleme ve korunma çalışmalarının yürütülmesi için gerekli olan hukuki, sağlık, mühendislik ve diğer alanlarda uzman olan kişiler tarafından oluşturulan bir kurumdur. Devlet radon ofisleri, radon maruziyeti riskini azaltmak için gerekli olan hukuki, sağlık, mühendislik ve diğer alanlarda uzman olan kişiler tarafından oluşturulan yasalar ve sınırları uygulamaktadır. Devlet radon ofisleri genellikle radon ölçümleri yapmak, radon maruziyeti riskini azaltmak için gerekli olan eğitim ve bilgilendirme programlarını düzenlemek, radon önleme ve korunma çalışmalarının maliyetlerini azaltmak için hibe programları ve kredi programları sunmak, radon önleme ve korunma çalışmalarının denetimini sağlamak gibi görevler üstlenmelidir.

Kredi, sigorta gibi işlemler için radon ölçümü zorunlu hale getirilmesi; radon maruziyeti riskini azaltmak için bir önleyici tedbir olabilecektir. Bu sayede, radon seviyeleri yüksek olan binalarda yaşayanların sağlıklarının korunması sağlanır ve böylece sağlık maliyetleri de azaltılır. Kredi ve sigorta işlemleri sırasında radon ölçümlerinin yapılması gerekli hale getirilirse, kredi ve sigorta işlemleri sırasında radon riski dikkate alınır ve böylece radon riski olan binaların değerleri daha doğru bir şekilde belirlenmektedir.

Türkiye’de radon gazı çerçevesinden değer belirlenebilmesi için koşullu değerlendirme yönteminin kullanılması ve alıcıların radon seviyesi yüksek olan gayrimenkuller için ne kadar ödeme yapabilecekleri araştırılmalıdır. Radon seviyesi yüksek olan bir gayrimenkul değerlendirilme yapılırken eğer gayrimenkulde hiçbir radon azaltma ya da önleme sistemi yok ise taşınmazın tespit edilen değerinden radon azaltma sistemi kurulma maliyeti düşülerek hesaplanması gerekmektedir. İnsanların bilgi seviyeleri arttıkça sağlık, gayrimenkul ve radon arasındaki ilişki güçlenecek ve bu gazın

evlerinde olduğunu bunun kendilerini kanser yapabilecek tehlike teşkil ettiklerini öğrenmeleri durumunda, radon gazı seviyesi yüksek olan evlere talebin düşeceği ve radon seviyesi düşük olan evlere göre değerinin daha düşük olacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda, radonun gayrimenkullere etkisinin oranının araştırılmasını yapabilecek olan gayrimenkul geliştirme ve yönetimi uzmanlarının fikir ve görüşlerinin alınması ile yürürlükteki yasaların ve mevzuatın düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu önerilerin gerçekleşmesi ve insanların hayatlarında yer etmesi ile radon ile gayrimenkul arasındaki değer ilişkisi kuvvetlenecek ve değerlendirme uzmanlarının değer takdirinde radon seviyesini değere etki eden bir faktör olarak dikkate almalarına imkân sağlayacaktır.

### **Etik Standart ile Uyumluluk**

**Çıkar Çatışması:** [TR] Yazar / yazarlar, kendileri ve / veya diğer üçüncü kişi ve kurumlarla çıkar çatışmasının olmadığını veya varsa bu çıkar çatışmasının nasıl oluştuğuna ve çözüleceğine ilişkin beyanlar ile yazar katkısı beyan formları makale süreç dosyalarına ıslak imzalı olarak eklenmiştir.

[EN] The author(s) declare that they do not have a conflict of interest with themselves and/or other third parties and institutions, or if so, how this conflict of interest arose and will be resolved, and author contribution declaration forms are added to the article process files with wet signatures.

**Etik Kurul İzni:** Bu makalede etik kurul iznine gerek yoktur, buna ilişkin ıslak imzalı etik kurul kararı gerekmediğine ilişkin onam formu sistem üzerindeki makale süreci dosyalarına eklenmiştir.

### **KAYNAKÇA:**

Abaka, M. (2019). Konya'nın Ilgın İlçesinde Kaplıca ve Okullarda Kapalı Ortam Radon Konsantrasyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Konya.

Akar, Ü. (2010). Bursa-Çekirge Bölgesi Termal Sularında Radon Konsantrasyonunun Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Bursa.

Aldemir, K. (2018). Batman'da Bulunan İlkokul Binalarında Radon Düzeyinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Batman.

Alkan, T. (2014). İzmir İlinde Akciğer Kanseri Tanısı Almış Hastaların Bina İçi Radon Maruziyetinin Saptanması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Anonim. (2012). Kapalı Ortamlarda Radon Gazı. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Teknik Rapor, Ankara.

Anonim. (2023). Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu. Erişim Adresi: [https://nuken.tenmak.gov.tr/ogrenci/bolum4\\_02.html](https://nuken.tenmak.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html), Erişim Tarihi:17.01.2023.

Anonymous. (1987). Lung Cancer Risk From Indoor Exposure to Radon Daughters, Canada.

Anonymous. (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.

Anonymous. (2002). Dublin: Radon In Existing Building: Corrective Options, Stationery Office, Dublin.

Anonymous. (2013). Reducing Radon in New Construction of 1&2 Family Dwellings and Townhouses. American Association of Radon Scientists and Technologists, North Carolina, U.S.A.

- Anonymous. (2018a). UK National Radon Action Plan. Public Health England, London.
- Anonymous. (2018b). Erişim Adresi: [https://iehs.chinacdc.cn/jkfh/kpzs/tnull\\_184530.html](https://iehs.chinacdc.cn/jkfh/kpzs/tnull_184530.html), Erişim Tarihi: 19.01.2023.
- Anonymous. (2022a). Erişim Adresi: [https://www.bfs.de/DE/home/home\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/home/home_node.html), Erişim Tarihi: 18.01.2023.
- Anonymous. (2022b). The National Radon Action Plan 2021–2025. U.S. Environmental Protection Agency, ABD.
- Anonymous. (2022c). Erişim Adresi: <https://appraisers.promatcher.com/answers/will-installing-a-radon-mitigation-system-increase-the-value-of-my-home-1271>, Erişim Tarihi:17.01.2023.
- Apak, H. (2014). Yapılarda Radon Etkisini Azaltmaya Ya Da Yok Etmeye Yönelik Bir Yaklaşım. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, İstanbul.
- Arıcı, K. (1996). Adıyaman İlinde Radon Gazı Konsantrasyonları Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi. Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.
- Bozkurt, V. (2008). Niğde İlinde Bulunan Tarihi Mekanlardaki Radon Gazı Ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Çıtlak, K. (2018). Sakarya Üniversitesi Kampüs Bölgesinde Bina İçi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Fizik Bilim Dalı, Sakarya.
- Çömlek, Ü. (2010). Tınaztepe Mağarası'nın Radon Seviyesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Goetz, J. S. (2004). The Effect of Radon on Property Values: Evidence from a Hedonic Price Analysis of Single-Family Homes in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*.
- Gül, B. T. (2019). Binalarda Radon Gazı Konsantrasyonunun Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Medikal Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Güler, Ç. & Çobanoğlu, Z. (1997). Radon Kirliliği. T.C. Sağlık Bakanlığı, 1. Baskı, Ankara.
- Homma, T. (2021). Radiological Protection against Radon Exposure. Nuclear Regulation Authority, Japan.
- Kaplan, E. (2009). Adapazarı Merkezi Kış Dönemi Radon Ölçüm ve Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Lewis, R. K. (2006). History of Radon. Presented at the 2006 National Radon Meeting, 1-15.
- Lindgren, K. (200). The Impact of Radon on Property Values: Evidence from a Hedonic Price Analysis of Single-Family Homes in Sweden. *Journal of Environmental Economics and Management*.
- Mıhçı, M. (2008). Sivas Merkez Yerleşiminde Radon Gazı Dağılımının Belirlenmesi ve Türkiye'de Yapılaşma Öncesi Radon Gazı Ölçümüne Yönelik Yönetmelik Taslağı Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

- Mıhçı, M., Büyüksaraç, A., Aydemir, A. & Çelebi, N. (2010). Indoor And Outdoor Radon Concentration Measurements In Sivas, Turkey, In Comparison With Geological Setting. *Journal Of Environmental Radioactivity*, 101(11):952-7, Sivas.
- Özderya, F. (2009). Samsun İli Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Özkablan, S. (2020). Kilis İli Toprak Örneklerinde Radon Gazı Ölçümü. Yüksek Lisans Tezi. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Kilis.
- Pinchbeck, E. W., Sefi R., Nikodem S. & Enrico V. (2020). The Price of Indoor Air Pollution: Evidence from Radon Maps and the Housing Market. *IZA Institute of Labor Economics*, 2020.
- Simons, R. A., Jesse S., Karam, A. H. & Baloyi, H. (2008). Use of Contingent Valuation Analysis in a Developing Country: Market Perceptions of Contamination on Johannesburg’s Mine Dumps. Cleveland Eyalet Üniversitesi.
- Tanrıvermiş, H. (2016). Gayrimenkul Değerleme Esasları, Lisanslama Sınavları Çalışma Kitapları. Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu A.Ş., Ankara.
- Uludağ, H. İ. (2010). Radon Kirliliği ve Halk Sağlığı İlişkisi. Bitirme Tezi. Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, İzmir.
- Uludağ, N. (2018). Şile-Kandıra-İzmit Bölgesindeki Kaynak Sularında Radon Gazının İncelenmesi ve Sakarya Üniversitesi Radon Farkındalık Anketi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Vaizoğlu, S. A. (1997). Ankara’da Evlerde Kış Dönemi Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yeşilbağ, Y. Ö. (2008). Artvin ve Ardahan İlleri Ev İçi Radon Konsantrasyonu ve Çevresindeki Topraklarda Radyoaktivitenin Tayini. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Fizik Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Yılmaz, H. (2019). İstanbul İli Marmaray ve Metro Yer Altı Ulaşım İstasyonlarında Radon Seviyelerinin Ölçülmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Nükleer Fizik Bilim Dalı, İstanbul.

## EXTENDED SUMMARY

### Research Problem:

The aim of this study is to investigate the effect of radon gas on real estate value, and to compare the studies and policies regarding radon gas in Turkey with examples in the world.

### Research Questions:

What are the levels of radon gas in Turkey and in which regions are higher levels observed? What are the differences between radon levels around the world and radon levels in Turkey? What are the current measures and policies regarding radon gas in Turkey? What is the effectiveness of these existing measures and policies and in what areas are there shortcomings? What kind of action plan should be created to reduce radon exposure in Turkey? What strategies, steps and resources should be foreseen in the action plan? What are the roles of local governments, health institutions, environmental protection organizations and other stakeholders in combating radon? What are the legal regulations and standards required for radon prevention and control?

How should radon measurement and prevention systems be audited and certified? What strategies can be developed to promote radon measurement and prevention? What education and information programs should be implemented to raise public awareness about radon gas? What technologies and prevention systems are used to reduce radon exposure? How can financial support and incentives be provided for radon prevention and remediation efforts? How does making radon measurement mandatory in loan and insurance transactions affect radon exposure? How is the value of real estate with high radon levels affected and how is this taken into account in valuation methods? What is the impact of radon prevention systems on real estate valuation?

#### **Literature Review:**

When the national and international literature is examined, it is seen that there are many studies on radon gas. Some of the studies in question were carried out chemically and biologically, and some were about the measurement of radon gas and the places where radon gas is found. When national and international literature is examined within the scope of the research; It is seen that there are no studies examining the effect of radon gas on real estate value in the national literature, and that there are studies examining the effect of radon gas on real estate value in the international literature, but the number of studies is limited. The most important of these studies is Pinchbeck et al. (2020)'s work.

In a study conducted in England, its effect on housing prices was investigated with the data obtained from radon maps. The study shows that there is a statistical difference in the price of a house located in an area affected by radon and a house located in an area not affected by radon. It has been observed that while the upward change in radon risk classes in the region where the house is located has a negative effect on the house value, the downward change in the radon risk class does not cause any change in house values.

#### **Methodology:**

**Literature Review;** By scanning the existing scientific and technical literature on radon gas and related measures, information was collected about practices, policies and the situation in Turkey around the world. **Data Collection and Analysis;** Available data on radon levels in Turkey were collected and analyzed. These data were provided by government agencies, universities, or radon measurement services.

**Interviews;** Interviews were held with relevant stakeholders (health institutions, environmental protection organizations, local governments, educational institutions, etc.) and information was obtained about the current situation, practices and needs regarding radon. **Comparative Analysis;** Radon policies and practices in Turkey were compared with practices in other countries. With these comparisons, best practices were determined and deficiencies were identified. **Policy and Action Plan Development;** In line with the current situation and needs, an action plan and policy recommendations for radon management have been developed. During this process, identified deficiencies and suggested solutions were detailed. **Legal and Technical Reviews;** Existing legal regulations and technical standards regarding radon were examined and the adequacy and applicability of these regulations were evaluated. **Education and Awareness Programs;** The content of the education and awareness programs proposed to inform the public about radon gas and whether they would be effective were evaluated. These methods have helped to comprehensively analyze the effects of radon gas, its current situation and the precautions that need to be taken.

#### **Results and Conclusions:**

By examining the studies and precautions taken regarding radon gas in the world and in Turkey, the research reveals that there are serious deficiencies regarding radon in Turkey. In Turkey, the focus has generally been on determining regional radon levels and technical measures, but comprehensive action plans have not been created. Creating a radon action plan should include determining targets, evaluating the current situation, taking necessary steps, and continuous monitoring and evaluation processes. Local governments, health and environmental organizations, educational institutions, non-governmental organizations and the private sector should cooperate to reduce radon levels. Precautions should be taken such as determining radon-related responsibilities during real estate acquisition, establishing licensing and standards for radon testing, taking into

account the impact of radon in zoning plans, facilitating access to radon test kits and inspecting radon prevention systems. Additionally, grants and incentives should be provided for radon prevention and remediation programs, legal regulations should be made, and radon measurements should be made mandatory for loan and insurance transactions. These recommendations will strengthen the impact of radon gas on real estate valuations and protect public health. In order to determine the value within the framework of radon gas in Turkey, the conditional valuation method should be used and it should be investigated how much buyers can pay for real estate with high radon levels. When valuing a real estate with high radon levels, if there is no radon mitigation or prevention system in the real estate, it should be calculated by deducting the cost of installing a radon mitigation system from the determined value of the real estate. As people's knowledge increases, the relationship between health, real estate and radon will become stronger, and they will learn that this gas is in their homes and that it poses a risk of cancer. With this awareness, it is predicted that the demand for houses with high radon gas levels will decrease and their value will be lower than houses with low radon levels. At the same time, it is necessary to obtain the opinions and views of real estate development and management experts who can investigate the impact of radon on real estate value, and to regulate the current laws and legislation. With the realization of these suggestions and their place in people's lives, the value relationship between radon and real estate will be strengthened and appraisers will use radon in the value appraisal. It will allow them to take into account the level of the value as a factor affecting the value.