



Güvenli Çalışma Ortamları İçin Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Radiation Risk for Safe Working Environments

Ezgi Yörük ^{1*}, N. Füsün Çam ², Buket Canbaz Öztürk ³

¹ Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Güvenliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

^{2,3} Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author*: ezgiikrnz@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 26.12.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 27.12.2020

Atıf şekli/How to cite: YÖRÜK E., ÇAM N. F., CANBAZ ÖZTÜRK B. (2021). Güvenli Çalışma Ortamları İçin Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi. DEUFMD, 23(68), 357-367.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2021236802

Öz

Son yıllarda ofislerde meydana gelen meslek hastalıklarının artması ofis ortamı risk etmenlerinin daha detaylı araştırılması, incelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Ofis ortamı, az tehlikeli işler sınıfında değerlendirilse de uzun vadede yarattığı dramatik sonuçlar yönünden ofis ortamındaki/bina içi ortamdaki radyasyon riski değerlendirilmelidir. Bu kapsamda sunulan "Güvenli Çalışma Ortamları İçin Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışmada, Ege Üniversitesi kampüsünde öğrenci yoğunluğunun çok olduğu kütüphane, laboratuvar vb. alanlarda iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı radon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon (EMA) ölçümleri yapılarak, sonuçlar ulusal ve uluslararası sınır değerler ile karşılaştırılmış, çalışma alanlarının İş Sağlığı ve Güvenliği yönünden uygunluğu değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Radon gazı, elektromanyetik alan, radyasyon, güvenli çalışma ortamları

Abstract

Increase on occupational diseases which has occurred in offices during recent years, reveals the necessity of risk factors on office environment should be researched and investigated in a broader scale. Even though, the office / indoor environment is considered within the low risk works, radiation risk in office / indoor environment should be evaluated more, because of its dramatic outcomes which it creates in long term. In this study which is entitled as "Evaluation of Radiation Risk for Safe Working Environments" which presented within that context, by making measurements of non-ionizing radiation (EMA) and ionizing radiation source radon, in areas such as library, laboratory and etc. where the student density is so high in Ege University campus and the results have been compared with the national and international limit values, to see its convenience of working areas have been evaluated in terms of Occupational Health and Safety.

Keywords: Radon gas, electromagnetic field, radiation, safe working environments

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesinin bir sonucu olarak, günümüzde kapalı ortam ve ofis çalışanlarında gözlemlenen sağlık problemlerinin artması, bu alandaki araştırmalara daha çok önem verilmesini gerektirmiş ve yaşanan sağlık problemleri meslek hastalığı gruplarında yer almıştır. Kapalı ortamlarda gözlemlenen rahatsızlıkların çoğu fiziksel risk etmenlerinden kaynaklanır ve en önemlilerinden biri radyasyona dayalı hastalıklardır.

Ofis ortamlarında maruz kalınabilecek radyasyon kaynakları iyonize olan ve iyonize olmayan radyasyon kaynakları olarak iki başlık altında incelenebilir. İyonize radyasyon kaynaklarından olan radon (Rn-222) gaz formunda olup, doğal bir radyasyon kaynağıdır. Jeolojik kökenli uranyumun bozunması sonucu açığa çıkan Rn gazı, bina içlerine nüfuz ederek kapalı alanlarda birikir ve yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaşabilir. Rn konsantrasyon seviyesinin yüksek olması, insan sağlığını önemli derecede olumsuz etkiler [1][2].

Rn gazı ölçümleri ilk olarak 1956 yılında İsveç'te evlerde ve binalarda yapılmıştır. Ölçümler sonucunda bazı binalarda Rn gazı konsantrasyon seviyeleri çok yüksek bulunmuştur. Her ne kadar o bölgede istisnai bir durum olduğu düşünülse de bu, pek çok bölgede incelemeler ve çalışmalar yapılması için bir başlangıç olmuştur [3].

Madenciler üzerine yapılan ilk çalışma Alman fizikçi Georgius Agricola (1494-1555) tarafından yapılmış ve 1556 yılında "Madenler Üzerine" (De Re Metallica) adlı kitabı yayımlanmıştır [4]. Madenlerde yapılan araştırmalara pek çok örnek verilebilir. Olszewski ve Arkadaşları (2005), Polonya'da bulunan Eski Kowary uranyum madeninde ve Südetler yakınında bulunan kapalı uranyum madenlerinde çalışma yapmışlar ve bu madenlerdeki ortalama radon konsantrasyon değerlerini 400-2000 Bq/m³ aralığında ölçmüşlerdir [5]. Avrupa'da, Türkiye'de ve ICRP'nin kabul ettiği sınır değer 1000 Bq/m³ olduğu göz önüne alındığında, bu değerlerin yüksek olduğu görülmektedir. Sık havalandırılmayan, kapalı binalarda da ölçülen radon konsantrasyon seviyelerinin insan sağlığını tehlikeye sokan seviyelere ulaşabildiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [6]. Maden ocakları dışında, metro, tünel, mağaralar, radon kaplıcaları gibi yerler ile fabrikalar, alışveriş

merkezleri, okul ve ofisler de radon riski taşıyan işyerleri olarak tanımlanabilmektedir [7]. Vücuda solunum yoluyla giren radon gazı alfa ışınması yaparak DNA yapısını bozar. Radon gazına sürekli ve yoğun bir şekilde maruz kalınması sonucu ise tümör oluşur ve özellikle akciğer kanserine neden olur [8][9].

Ayrıca, kapalı ortamlarda iç ortam hava kalitesini etkileyen kirlenici gazlar (CO₂, CO, NO₂, O₃, SO₂, formaldehit ve radon) baş dönmesi ve baş ağrısı, boğazda ve gözlerde tahriş ve yanma, öksürme, hapsirme, yorgunluk, mide bulantısı, ciltte tahriş ve yanma gibi semptomları olan Hasta Bina Sendromu'na neden olmaktadır [10].

Son yıllarda dünyada pek çok ülkede araştırmalar yapılmakta ve Rn-222'nin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri üzerine çalışılmaktadır. ICRP (Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi), WHO, UNSCEAR (Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi) ve TAEK (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu) gibi pek çok kuruluş bu konu üzerinde çalışmakta ve insanların sağlığı için sınır konsantrasyon değerleri tavsiye etmektedir. ICRP ve TAEK gibi kuruluşlar kapalı binalarda Rn limit değerini 400 Bq/m³ olarak belirlemiştir [11][12]. WHO ve UNSCEAR ise Rn konsantrasyonu limit değerinin, 100 Bq/m³ değerini aşmaması gerektiğini belirtmiştir [13]. Ülkemizde 24/03/2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nin 29/09/2004 tarih ve 25598 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile değiştirilen 37'nci maddesine göre evlerde radon seviyesi 400 Bq/m³'ü, işyerlerindeki radon seviyesi 1000 Bq/m³'ü aşmamalıdır [14].

İyonize olmayan radyasyonlara ise günlük hayatımızda da çok sık maruz kaldığımız elektromanyetik alanlar (EMA) örnek olarak verilebilir. İçerisinden elektrik akımı geçen tüm cihazların ortama elektromanyetik alan yaydığı bilinmektedir. Özellikle ofis çalışanlarının, uzun çalışma saatleri boyunca cep telefonları, bilgisayar vb. cihazların neden oldukları elektromanyetik alanlara maruz kaldıkları, yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur.

Wertheimer ve Leeper'in (1979) elektromanyetik alanın biyolojik etkileri üzerine yapmış olduğu bir çalışmada elektromanyetik

alan maruziyeti ile çocukluk çağı kanserleri arasındaki ilişki incelenmiştir [15]. Üreme sağlığı, sinir dokusunun bozulması ve kalp rahatsızlıkları gibi çok daha ciddi hastalıklara neden olabildiğine dikkat çekilen bu çalışmadan sonra konuyla ilgili araştırmaların artış gösterdiği görülmektedir [15].

Yakıncı (2016) yılında yayınladığı çalışmasında EMA'nın insan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Elektromanyetik kirlilik, insan üzerinde baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, genel keyifsizlik, kalp ritminde ve kan dolaşımında değişiklik, hafıza kaybı, boyunda sertlik, sindirim ve dolaşım sorunları gibi pek çok sağlığı tehlikeye sokan sorunlara neden olmaktadır. Aynı zamanda yapılan araştırmalar EMA'nın beyinden hücrelere gönderilen sinyallere engel olarak, vücudun bağışıklık sistemine de zarar verdiğini göstermektedir [16].

Elektromanyetik alanların etkileri üzerine çalışmalar yapan Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Dünya Çalışma Örgütü (ILO) ve Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) gibi kuruluşlar, elektromanyetik alanlar için sınır değerleri tavsiye etmiştir. ICNIRP'nin tavsiye ettiği sınır değerler, 900 MHz için 41,25 V/m iken, 1800 MHz için 58,33 V/m şeklindedir [17].

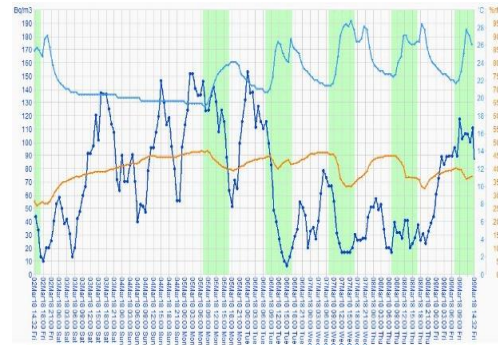
Modern hayatta insanlar zamanlarının çoğunu evleri haricinde iş yerleri ve ofisler gibi kapalı ortamlarda geçirdiklerinden dolayı tavsiye edilen sınır değerler önem kazanmaktadır. Günün en az 8 saatinin geçirildiği bu alanlarda, diğer fiziksel risk etmenleri gibi doğrudan gözle görülmeyen ve etkileri hemen ortaya çıkmadığı için radon gazı ile iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik alan (EMA) radyasyonları göz ardı edilmekte olup gereken önem verilmemektedir. Bu anlamda "Güvenli Çalışma Ortamları için Radyasyon Riskinin Değerlendirilmesi" konulu bu çalışmada insan sağlığını önemli derecede olumsuz etkileyen nem, basınç ve sıcaklık değişimleri ile radon gazı ve EMA ölçümlerinin yapılması, risk düzeylerinin belirlenmesi sonuçların ulusal ve uluslararası sınır değerlerle karşılaştırılarak Ege Üniversitesi kampüsünde seçilen laboratuvar, derslik, kafeterya ve kütüphane gibi kapalı çalışma alanlarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden uygunluğunun değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Kapalı çalışma ortamları için insan sağlığını olumsuz etkileyen iyonlaştırıcı (radon) ve iyonlaştırıcı olmayan (elektromanyetik alan) ölçümlerin yapılarak risk düzeylerinin belirlendiği, sonuçların ulusal ve uluslararası sınır değerler ile karşılaştırıldığı ve radyasyon güvenliğini araştırmayı amaçlayan bu çalışmada, Ege Üniversitesi içerisindeki çalışan ve öğrenci yoğunluğunun çok olduğu 4 istasyon belirlenmiştir. Bina içindeki konum olarak özelliklerinin farklı olduğu ve öğrencilerin yoğun olarak buldukları bu istasyonlar, Merkez Kütüphane, Bilgisayar Laboratuvarı, Öğrenci Kafeteryası ve zemin katta seçilen bir amfi derslik olarak belirlenmiştir.

2.1. Radon Ölçümü

Çalışma alanı olarak belirlenen 4 istasyonda 8 ay boyunca periyodik Rn ölçümleri yapılmıştır. Radon ölçümleri ile eş zamanlı olarak nem, basınç ve sıcaklık değişimleri de kaydedilmiştir. Çalışmada Corentium Plus Rn gazı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tüm ölçümler zeminden 1,5 m yükseklikte ve gündüz saatlerinde çalışanların ofislerinde bulunduğu zaman dilimi içerisinde ve boş olduğu zamanlarda yapılmıştır. Şekil 2.1'de Mart 2018 dönemi için Bilgisayar Laboratuvarı'nda alınan Rn gazı, nem, basınç ve sıcaklık değişimleri örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 2.1 Mart 2018 Bilgisayar Laboratuvarı Rn gazı konsantrasyonlarının haftalık değişimi.

2.2. Bina içi Rn-222 Kaynaklı Yıllık Etkin Doz Tahminleri

Ölçülen ortalama Rn konsantrasyon değerleri kullanılarak, kişinin Rn'a maruz kalma sonucu alacağı yıllık etkin doz eşdeğeri (YEDE), Rn maruziyetinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Yıllık etkin doz eşdeğeri YEDE,

$$YEDE=C(Rn) \times F \times D \times t \quad (1)$$

bağıntısı kullanılarak UNSCEAR 2000 raporuna göre hesaplanmıştır [18].

Bu bağıntıda,

C (Rn): Radon konsantrasyonu (Bq/m³),

F: Radon ile bozunma ürünleri arasındaki denge faktörü,

D: Doz dönüşüm katsayısı,

t₁: Bina içerisinde bir yılda ortalama geçirilen zaman (saat) - (Tüm gün için - %100)

t₂: Bina içerisinde bir yılda ortalama geçirilen zaman (saat) - (Çalışma saatleri için - %33)

olup, denge faktörü 0,4; doz dönüşüm katsayısı ise 9×10^{-9} (Sv/saat)/(Bq/m³) olarak alınmıştır. Hesaplamalar tüm gün (24 saat) için ve çalışma saatleri (8 saat) için yapılmıştır.

2.3. Elektromanyetik Alan Ölçümü

Çalışmada, söz konusu 4 istasyonda 3,5 GHz'e kadar ölçüm yapabilen PCE-EM 29 cihazı kullanılarak EMA ölçümleri yapılmıştır. Anlık ortam ölçümü alınan bu çalışmada, Aralık 2017 tarihinden başlanarak haftada 1 gün ve sabah, öğlen ve öğleden sonra olmak üzere 3'er ölçüm alınmıştır. Ölçümler 8 ay boyunca alınmış ve Temmuz 2018 tarihinde sonlandırılmıştır. Her bir istasyon için ayda 12 ölçüm olmak üzere toplamda 96 ölçüm alınmıştır.

3. Bulgular

3.1. Radon Gazı

Ege Üniversitesi içerisinde, öğrenci yoğunluğunun çok olduğu 4 istasyon Merkez Kütüphane, Bilgisayar Laboratuvarı, zemin katta bir Amfi ve Öğrenci Kafeteryası olarak belirlenmiştir. Belirlenen 4 istasyonda alınan Rn-222 ölçüm sonuçlarının tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verildiği gibidir.

Tanımlayıcı istatistik sonuçlarında skewness ve kurtosis değerlerinin sıfıra yakın olması ile aritmetik ortalama, medyan ve geometrik ortalama değerlerinin karşılaştırılması ölçüm sonuçlarının frekans dağılımları hakkında bilgi vermektedir. Normal dağılım fonksiyonunda, aritmetik ortalama ile medyan değeri benzer iken, log-normal dağılım fonksiyonunda geometrik ortalama ile medyan değeri birbirine benzer olmaktadır. Tanımlayıcı istatistiğin

desteklenmesi için ise her bir değişkene parametrik olmayan Kolmogorov-Smirnov normalite testi uygulanmıştır. Bu test sonucu elde edilen anlamlılık (significance) değerlerinin istatistiksel hesaplamalarda sınır değeri kabul edilen 0,05'ten büyük olması dağılımların normal olduğunu göstermektedir [19][20].

Tablo 3.1'de verildiği gibi, kütüphane için tam zamanlı ölçülen Rn konsantrasyonlarının aritmetik ortalaması $16,9 \pm 4,3$ Bq/m³tür. Çalışma saatleri için ortalama radon konsantrasyon seviyesi $18,2 \pm 4,9$ Bq/m³ olarak bulunmuştur. Tam zamanlı ve çalışma sürelerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre frekans dağılımının normal dağılıma uymadığı görülmüştür. Frekans dağılımının normal dağılıma uymadığı durumlarda dağılımı medyan değeri ile temsil etmek daha anlamlı olmaktadır. Bu doğrultuda, tam zamanlı ve çalışma saatleri için radon konsantrasyonlarının medyan değerleri kütüphane için sırasıyla $10,3$ Bq/m³ ve $10,6$ Bq/m³ olarak bulunmuştur. Merkez Kütüphane, öğrenci giriş çıkışlarının çok yoğun olduğu, vize ve final sınavları döneminde 24 saat açık olan bir binadır. Ölçümlerin zemin katta gerçekleştirilmesi nedeniyle Rn konsantrasyonlarının yüksek çıkabileceği düşünülse de, giriş-çıkış yoğunluğunun fazla olmasından dolayı binanın hava sirkülasyonu oldukça artmış ve radon konsantrasyonları çok yüksek seviyelere ulaşmamıştır.

Tablo 3.2'de verilen Bilgisayar Laboratuvarı radon konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik sonuçlarına göre tam zamanlı ölçümler için ortalama $121,3 \pm 7,3$ Bq/m³, çalışma saatleri için ise $124,9 \pm 8,1$ Bq/m³ olarak bulunmuştur. Frekans dağılımı normal dağılıma uymaktadır. Merkez Kütüphane'ye göre çok yüksek ortalama değerler bulunmasının nedeni olarak, Bilgisayar Laboratuvarı'nın eski bir bina içerisinde olması ve zemin katta yer alması düşünülebilir. Aynı zamanda Bilgisayar Laboratuvarı Merkez Kütüphane'ye ve Öğrenci Kafeteryasına göre az kullanılmasından dolayı fazla havalandırılmamakta ve radon gazı birikerek yüksek seviyelere çıkabilmektedir.

Bir diğer istasyon olan Öğrenci Kafeteryası'nda Rn-222 ölçüm sonuçları tam zamanlı ölçümler için ortalama $50,6 \pm 3,8$ Bq/m³ ve çalışma saatleri için ise ortalama değer $33,5 \pm 4,9$ Bq/m³ olarak bulunmuş ve Tablo 3.3'te verilmiştir. Çalışma saatleri için alınan ölçümlerin normal dağılıma uymadığı görülmektedir. Çalışma saatleri için

radon konsantrasyonlarının medyan değeri 19,6 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Öğrenci Kafeteryası da zemin katta yer almakta fakat 3 ayrı kapısının bulunması ve bu kapıların gün içinde sıklıkla açık tutulması, sürekli bir hava sirkülasyonu oluşturmakta, bu da radon konsantrasyon seviyesinin düşmesine neden olmaktadır.

Son istasyon olan amfi derslikte ise alınan ölçümlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.4'te verildiği gibidir. Tam zamanlı ölçümler için ortalama radon konsantrasyon seviyesi 268,3±27,4 Bq/m³ ve çalışma saatleri aralığında

ise ortalama değer 264,5±27,8 Bq/m³ olarak bulunmuştur. Burada ise tam zamanlı ölçüm sonuçlarına göre frekans dağılımı normal dağılıma uymamaktadır. Tam zamanlı olarak alınan ölçümlere göre medyan değerinin 260,4 Bq/m³ olduğu görülmektedir. Amfide ölçülen radon konsantrasyon değerleri diğer istasyonlara göre daha yüksektir.

Amfinin zemin katta ve yerin altına doğru inen bir salon olması, çok sık ders işlenmemesinden kaynaklı olarak kapalı kalmasından dolayı sık havalandırılmaması ölçülen bu yüksek değerlerin başlıca nedenleridir.

Tablo 3.1. Kütüphane Rn gazı konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik

	Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Çalışma Saatleri Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Sıcaklık (°C)	Nem (%RH)	Basınç (mbar)
Ölçüm Sayısı	66	66	66	66	66
Aritmetik Ortalama ± SH	16,9±4,3	18,2±4,9	22,7±0,2	40,1±1,5	1008,8±0,9
Geometrik Ortalama	10,8	10,3	22,6	38,2	1008,7
Standart Sapma (SD)	34,6	39,7	1,7	12,0	7,0
Min.	2,5	2,5	19,9	15,6	994,8
25' inci Yüzdelerik	7,9	5,4	21,6	31	1003,5
Medyan	10,3	10,6	22,3	38,9	1007,8
75' inci Yüzdelerik	15,6	16,8	23,9	48,1	1013,6
Max.	271,2	311	28,8	65	1023,9
Skewness	6,6	6,6	1,1	0,2	0,3
Kurtosis	47	47,2	1,8	-0,7	-0,4
Kolmogorov-Smirnov Test Sig.	0,00	0,00	0,20	0,70	0,70
Frekans Dağılımı	Log-normal	Log-normal	Normal	Normal	Normal

Tablo 3.2. Bilgisayar Laboratuvarı Rn gazı konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik

	Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Çalışma Saatleri Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Sıcaklık (°C)	Nem (%RH)	Basınc (mbar)
Ölçüm Sayısı	64	64	64	64	64
Aritmetik Ortalama ± SH	121,3±7,3	124,9±8,1	22,5±0,3	41,8±0,7	1008,9±0,9
Geometrik Ortalama	104,6	99,9	22,4	41,3	1008,9
Standart Sapma (SD)	58,1	64,8	2,2	5,9	6,3
Min.	17,2	2,5	17,3	26,9	1000,3
25'inci Yüzdalik	82,6	79,4	20,9	38,4	1004,3
Medyan	119,3	124,2	22,6	41	1007,3
75'inci Yüzdalik	157,3	167,4	24,2	46,7	1014,2
Max.	267	261,7	26,1	52,7	1025,3
Skewness	0,3	0,1	-0,3	-0,3	0,7
Kurtosis	-0,5	-0,7	-0,7	-0,2	-0,2
Kolmogorov-Smirnov Test Sig.	0,89	0,98	0,83	0,89	0,19
Frekans Dağılımı	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Tablo 3.3. Kafeterya Rn gazı konsantrasyonlarına ait tanımlayıcı istatistik

	Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Çalışma Saatleri Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Sıcaklık (°C)	Nem (%RH)	Basınc (mbar)
Ölçüm Sayısı	64	64	64	64	64
Aritmetik Ortalama ± SH	50,6±3,8	33,5±4,9	24,5±0,7	44,5±0,8	1006,7±0,6
Geometrik Ortalama	31,1	19,0	23,8	44,1	1006,6
Standart Sapma (SD)	5,1	39,6	5,6	6,1	5,1
Min.	5,1	2,5	17	30,5	996,8
25' inci Yüzdalik	29,3	9,3	18,9	40,3	1002,9
Medyan	43,2	19,6	23,5	44,9	1006
75' inci Yüzdalik	67,9	39,9	30,2	48,2	1009,8
Max.	155,7	170,5	34	57,7	1021
Skewness	1,1	1,9	0,2	0	0,6
Kurtosis	1,8	3,4	-1,5	-0,2	0,7
Kolmogorov-Smirnov Test Sig.	0,40	0,00	0,10	0,50	0,60
Frekans Dağılımı	Normal	Log-normal	Normal	Normal	Normal

Tablo 3.4. Amfi Rn gazı konsantrasyonları için tanımlayıcı istatistik

	Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Çalışma Saatleri Rn Konsantrasyonu (Bq/m ³)	Sıcaklık (°C)	Nem (%RH)	Basınç (mbar)
Ölçüm Sayısı	62	62	62	62	62
Aritmetik Ortalama ± SH	268,3±27,4	264,5±27,8	20,5±0,4	52,5±0,9	1007,4±0,7
Geometrik Ortalama	246,5	141,7	19,3	51,9	1007,4
Standart Sapma (SD)	215,9	219	2,8	7,4	5,7
Min.	7,5	6,2	15,9	34,5	993,8
25' inci Yüzdellik	50,6	46,3	18,9	47,1	1003,8
Medyan	260,4	218	19,5	53,3	1008,1
75' inci Yüzdellik	459,6	491	22,2	58,5	1011,4
Max.	650,9	672,4	26,3	63,3	1020,6
Skewness	0,2	0,3	0,8	-0,5	0
Kurtosis	-1,5	-1,5	-0,5	-5,6	0,1
Kolmogorov-Smirnov Test Sig.	0,04	0,06	0,01	0,60	0,90
Frekans Dağılımı	Log-normal	Normal	Log-normal	Normal	Normal

3.2. Bina İçi Radon Kaynaklı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri Tahminleri

UNSCEAR 2000'de rapor edilen Denklem 1 kullanılarak bina içi Rn-222 yıllık etkin doz eşdeğerleri (YEDE) 4 istasyon için hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3.5'te verilmiştir.

UNSCEAR (2000) raporuna göre yıllık maruz kalınan radyasyon etkin doz değeri 2,4 mSv'dir [18]. Bu değer, solunan havadaki radon gazı ve vücuda alınan radyonüklitlerin neden olduğu içsel maruz kalma ile kozmik ışınlar, kozmojenik radyonüklitler ve karasal radyasyonun neden olduğu dışsal maruz kalma sonucu alınan toplam yıllık doz eşdeğeridir. Radon soluma ile içsel

maruz kalma sonucu alınan etkin doz eşdeğeri ise yıllık 1,15 mSv olarak verilmektedir [18]. Tablo 3.5'teki veriler bu referans değere göre değerlendirildiğinde çalışma saatleri için Amfi için hesaplanan hariç olmak üzere elde edilen sonuçlar radon soluma ile alınan etkin doz eşdeğerini (1,15 mSv) aşmamaktadır. Kütüphane hariç olmak üzere kafeterya, amfi derslik ve bilgisayar laboratuvarı için, tüm gün bina içerisinde bulunulma sonucu alınacak yıllık etkin doz hesaplamaları için elde edilen sonuçların UNSCEAR (2000) raporunda belirtilen radon soluma ile alınan etkin doz eşdeğerininin (1,15 mSv) üzerinde bulunduğu görülmektedir [18].

Tablo 3.5. Bina İçi Rn-222 Kaynaklı Yıllık Etkin Doz Eşdeğeri Tahminleri

Ölçüm Yeri	Tüm gün için (24 saat) alınacak yıllık etkin doz	Çalışma saatleri için (8 saat) alınacak yıllık etkin doz
Kütüphane	0,53 mSv	0,13 mSv
Kafeterya	1,59 mSv	0,38 mSv
Amfi	8,46 mSv	2,00 mSv
Laboratuvar	3,83 mSv	0,91 mSv

3.3. Elektromanyetik Alan Ölçümleri

Teknolojinin gelişmesiyle, bilgisayar, wireless, cep telefonları vb. cihazların sürekli kullanıldığı ofis ortamlarında çalışanlar için elektromanyetik alanın önemi oldukça büyüktür. Bununla birlikte, günümüzde sadece çalışma ortamlarında değil günlük yaşantımızda da elektromanyetik alana oldukça maruz kalıyoruz. Bu nedenle iyonize radyasyon kaynaklarından olan radon (Rn-222) konsantrasyonlarının belirlenmesinin yanı sıra iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik alan (EMA) radyasyonları şiddetlerinin ölçülmesi de Ege Üniversitesi öğrencileri ve personeli için büyük önem taşımaktadır.

Ege Üniversitesi içerisinde, elektromanyetik alan ölçümleri için, Merkez Kütüphane, bilgisayar laboratuvarı ve öğrenci kafeteryası olmak üzere 3 istasyon belirlenmiştir. Alınan elektromanyetik alan ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.6'da verildiği gibidir.

Tablo 3.6'da görüldüğü üzere, alınan ölçümlerde, en yüksek manyetik alan şiddeti Kütüphane Giriş Kat'ında ölçülmüştür. Bunun nedeni, Kütüphane'nin giriş katında öğrencilerin kullanması için konulmuş olan çok sayıda bilgisayara ve bu ortamdaki öğrenci yoğunluğunun çok olmasına bağlanabilir.

Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'te (2011) elektromanyetik alan limit değerleri verilmiştir [21]. Bu çalışma boyunca alınan EMA ölçüm sonuçlarının bu değerlerin çok altında kaldığı görülmektedir. Tablo 3.6.' de kütüphanede alınan EMA ölçüm sonuçları ve ICNIRP'nin 900 MHz ve 1800 MHz frekans değerleri için belirlemiş olduğu limit değerler sırasıyla 41,25 V/m ve 58.33 V/m şeklindedir [17].

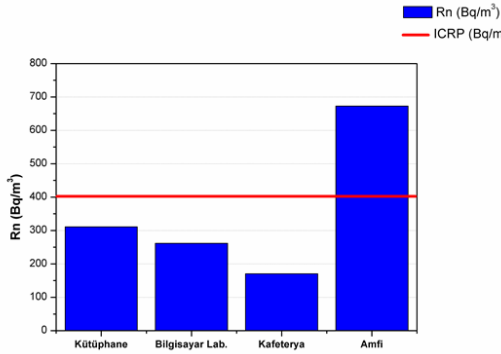
Tablo 3.6. Seçilen istasyonlarda EMA ölçüm sonuçları için tanımlayıcı istatistik

	Bilgisayar Lab. (V/m)	Kütüphane Giriş Kat (V/m)	Kütüphane 1. Kat (V/m)	Kütüphane 2.Kat (V/m)	Öğrenci Kafeteryası İç (V/m)	Öğrenci Kafeteryası Dış (V/m)
Ölçüm Sayısı	96	84	96	96	96	96
Aritmetik Ortalama ± SH	1,82±0,13	1,85±0,16	1,96±0,13	1,74±0,12	1,98±0,11	1,75±0,12
Geometrik Ortalama	1,44	1,47	1,68	1,46	1,91	1,43
Standart Sapma (SD)	0,13	0,16	0,13	0,12	0,11	0,12
Min.	0,17	0,33	0,73	0,38	0,30	0,14
25' inci Yüzdalık	0,92	0,98	1,15	0,98	1,35	0,99
Medyan	1,36	1,51	1,52	1,38	1,79	1,44
75' inci Yüzdalık	2,25	2,14	2,19	1,95	2,47	2,11
Max.	6,87	9,7	7,62	6,40	5,20	5,62
Skewness	1,39	2,66	2,02	1,34	0,93	1,41
Kurtosis	1,68	9,78	4,32	3,86	1,01	1,79
Kolmogorov-Smirnov Test Sig.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,01
Frekans Dağılımı	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Normal	Lognormal

4. Tartışma ve Sonuç

Radon Gazı

Bu 4 istasyon için, Şekil 4.1'de ortalama Rn-222 ölçüm değerleri ve ICRP'ye göre Rn konsantrasyon limit değeri ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ortalama Rn-222 Aktivite Konsantrasyonu Seviyeleri (Bq/m³)

Ülkemizde kapalı ortamlarda (ofis, ev vb.) Rn gazı konsantrasyon limit değeri, ICRP'nin belirlemiş olduğu limit değeri olan 400 Bq/m³ olarak kabul edilmektedir.

Buna göre, Şekil 4.1'de amfi derslikte ölçülen maksimum Rn konsantrasyon seviyesinin bu değerin çok üzerinde olduğu görülmektedir. Merkez Kütüphane, bilgisayar laboratuvarı ve öğrenci kafeteryasındaki Rn-222 ölçüm sonuçlarının maksimum değerleri ise, bu limit değerin altında kalmaktadır. Bunun nedenleri olarak, dersliğin zemin katta ve yerin altına doğru inen bir amfi olması, bulunduğu binanın çok eski olmasından dolayı zemin çatlaklarının bulunması, yıl içerisinde diğer dersliklere göre daha az kullanılması nedeniyle hava sirkülasyonunun az olması söylenebilir. Literatürde yer alan çalışmalarda, kapalı ortamlardaki radon konsantrasyon seviyelerinin mevsimsel olarak, bina yapısına ve havalandırma sistemi vb. faktörlere bağlı olduğu vurgulanmaktadır [22].

Avrupa ülkeleri, ICRP ve Türkiye, radon konsantrasyon limit değerini 400 Bq/m³ olarak kabul ederken, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) radon konsantrasyon limit değerini 100 Bq/m³ olarak belirlemiştir [23]. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) limit değerine göre ölçülen maksimum değerler değerlendirildiğinde ise 4

istasyona ait ortalama ölçüm değerlerinin bu limit değeri aştığı görülmektedir.

Alınan Rn-222 ölçüm sonuçlarının, istasyonların konumu ve ne sıklıkta havalandırıldıkları göz önüne alındığında, bu faktörlerle ne derece değişiklik gösterdiği görülmektedir. Buna örnek olarak, çok sık kullanılmayan amfide ölçülen maksimum değerlerin, limit değerlerin çok üzerinde olması fakat gün içerisinde sık sık havalandırılmakta olan öğrenci kafeteryasının maksimum ölçüm değerlerinin limit değerin oldukça altında kalması verilebilir. Aynı zamanda radon gazı konsantrasyonları sıcaklık, nem ve basınca bağlı olarak da değişim göstermektedir. Şekil 2.1'de örnek olarak verilen sıcaklık, nem ve basınç değişimlerine bakıldığında, bilgisayar laboratuvarındaki Mart ayı Rn-222 ölçüm sonuçlarında radon konsantrasyonlarının sıcaklığın düşüş gösterdiği, nem oranında ise az da olsa bir azalma görüldüğü durumlarda pik yaptığı görülmektedir.

Doğal bir radyasyon kaynağı olan radona maruz kalmamak mümkün değildir. Fakat maruziyet seviyesini olabildiğince aza indirmek insan sağlığı için önemlidir. Bina içi radon konsantrasyon seviyesini en aza indirmek için alınabilecek önlemler TAEK tarafından ortaya konulmuş ve aşağıda listelenmiştir [24].

- Bina yapılarında, yapı malzemelerinin radyoaktivite ölçümleri yapılarak, tavsiye edilen seviyelerdeki yapı malzemeleri ve binaların toprakla temasını engelleyecek izolasyon malzemeleri kullanılmalıdır.
- Su ve doğalgaz sistemleri kontrol altında olmalıdır.
- Havalandırma sistemleri, kapalı binalardaki radon konsantrasyon seviyesini düşürebilecek kapasitede olmalıdır.
- Eski binalarda, çatlak ve kırıklardan dolayı radon konsantrasyon seviyeleri yeni binalara göre daha yüksektir. Bu nedenle, bu kırık ve çatlakların onarılması gerekmektedir.
- Radon gazı, akciğer kanserinin en önemli ikinci nedenidir ve bu konuda önlem almak gerekmektedir. Yukarıda verilen önlemlerin yanında, Türkiye'de radon gazının ve etkilerinin bilinmemesi nedeniyle özellikle kapalı ortamlarda çalışanlara radon gazı ve insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında eğitim verilmesi zorunlu hale getirilmelidir.

Elektromanyetik Alan

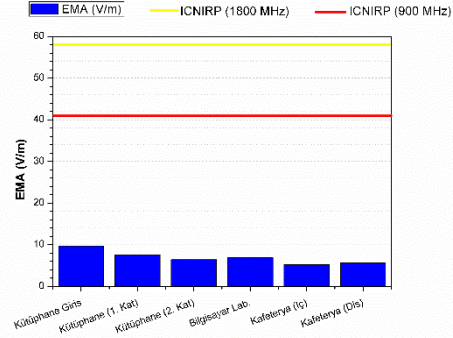
Günümüzde sadece çalışma ortamlarında değil günlük yaşantımızda da elektromanyetik alana sık sık maruz kalındığı göz önüne alındığında, teknolojinin gelişmesiyle, bilgisayar, wireless, cep telefonları vb. cihazların sürekli kullanıldığı ofis ortamlarında çalışanlar için elektromanyetik alanın öneminin ne kadar büyük olacağı dikkat çekicidir.

Yapılan pek çok çalışmada, elektromanyetik alanın olumsuz etkilerinden bahsedilmiştir. Bu çalışmalar, elektromanyetik alanın göze etkisi, endokrin sisteme etkisi, dolaşım sistemine etkisi, üreme sistemine etkisi, DNA yapısına etkisi, sinir sistemine etkisi, biyolojik etkileri ve elektromanyetik alanın kanserle ilişkisi olmak üzere pek çok alanda değişiklik göstermektedir [25].

Sarıkahya (2014) tarafından tamamlanan uzmanlık tezi çalışmasında, elektromanyetik alan sınır değerleri belirlenirken, elektromanyetik alan şiddeti seviyesinin, vücut sıcaklığını 1°C arttırdığı durumda zararlı düzeyde olduğunun kabul edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Sınır değerler pek çok ülkede farklı referanslara göre belirlenirken, Türkiye’de ICNIRP’nin belirlemiş olduğu elektromanyetik alan sınır değerleri kabul edilmektedir [25]. Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Sınır Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik’te (2011) bu sınır değerler verilmiştir (Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Sınır Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 2011). Bu çalışmada alınan EMA ölçüm sonuçlarının bu değerlerin çok altında kaldığı görülmektedir. ICNIRP’nin 900 MHz ve 1800 MHz frekans değerleri için belirlemiş olduğu sınır değerler sırasıyla 41,25 V/m ve 58.33 V/m’dir [17].

Bu bağlamda çalışma süresince Kütüphane giriş, Kütüphane 1. kat, Kütüphane 2. kat, bilgisayar laboratuvarı, öğrenci kafeteryası (İç) ve öğrenci kafeteryası (Dış)’nda alınan ölçümlerin bu sınır değerlerin çok altında olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir.

İstasyonlarda alınan ölçümlerin ICNIRP’nin belirlediği limit değerlerin çok altında olması olumlu bir sonuç olarak düşünülebilir. Yine de elektromanyetik alana uzun vadede maruz kalındığı durumda insan sağlığına olan etkileri göz ardı edilemez.



Şekil 4.2. Maksimum elektromanyetik alan şiddeti seviyeleri (V/m).

Elektromanyetik alanın çok ciddi sağlık etkilerinin olmasının yanında, düşük seviyede maruz kalırsa bile, uzun sürelerde maruz kalındığı durumda insan üzerinde baş ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, yorgunluk vb. geçici fakat olumsuz sağlık etkileri de bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada alınan EMA ölçüm sonuçları sınır değerlerin çok altında çıkmış olsa bile her zaman önlem alınmalıdır.

Elektromanyetik alan şiddetine maruziyeti azaltmak adına aşağıda verilen öneriler dikkate alınmalıdır:

- Kullanılmayan elektrikli cihazlar ya kapalı tutulmalı ya da fişten çekilmelidir.
- Masaüstü bilgisayar kullanılıyorsa, düşük radyasyonlu bilgisayar ekranı tercih edilmeli veya ekran filtresi kullanılmalıdır.
- Dizüstü bilgisayarlar prize takılı olmadığı durumda (şarj edilmiş şekilde) daha az elektromanyetik alan yaymaktadır. Şarj ederken uzak durmaya özen gösterilmelidir.
- Her işyerinin elektromanyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmalıdır. Sınır değerlerin üzerinde radyasyon seviyesindeki yerler için önlem alınmalıdır.

İş hayatında elektrikli cihazlardan uzak durmak mümkün olmasa da önlem almak gerekmektedir. Bazı kişilerin elektromanyetik alana hassasiyeti daha fazladır ve bu kişilerde belli başlı reaksiyonlar görülebilir. Bu reaksiyonlar, yorgunluk, halsizlik, gözde rahatsızlıklar, baş

ağrısı vb. türdendir. Fakat uzun vadede elektromanyetik alanın daha ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, çalışanlar elektromanyetik alanın sağlık üzerine etkileri hakkında bilinçlendirilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde 17FBE010 no.lu proje ile destek sağlayan Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Özbay, T. ve Karadeniz, Ö., 2016, Indoor Radon Measurement in İzmir Province, Turkey, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 96:8, 752-762, DOI: 10.1080/03067319.2016.1196684.
- [2] Şen et al., 2013. Effect of natural gas usage on indoor radon levels, *J Radioanal Nucl Chem* (2013) 295:277-282.
- [3] Uzbey, S. ve Çelebi, N., Çorum İlinde Radon Gazı Ölçümü, 10. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 235-244s, (2009).
- [4] George, A.C., 2008, *World History Of Radon Research And Measurement From The Early 1900's To Today*, *American Institute of Physics*, 1034, 20-33s. doi: 10.1063/1.2991210.
- [5] Olszewski, J., Chruścielowski, W., and Jankowski, J., 2005, Radon on underground tourist routes in Poland, *International Congress Series*, ScienceDirect, Vol. 1276, February 2005, 360-361s.
- [6] Çömlek, Ü., 'Tınaztepe Mağarası' nın Radon Seviyesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [7] Alkan and Karadeniz, 2014. Indoor (222)Rn Levels and Effective Dose Estimation of Academic Staff in İzmir-Turkey, *Biomedical and Environmental Sciences* (2014) 27 (4), 259-267s.
- [8] Karadeniz et al. 2016. Preliminary dose estimation from indoor radon for the medical staff of Radiation Oncology and Nuclear Medicine (2016) 22(7), 1574-1582.
- [9] Yazar et al., 2014. Indoor radon levels of spas and dwellings located around Bayındır geothermal region, *J Radioanal Nucl Chem* (2014) 299:343-349s.
- [10] Zeydan, Z.E., Zeydan, Ö. ve Yıldırım, Y., 2009, Hasta Bina Sendromu, 9.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 587-595s.
- [11] TAEK, Kapalı Ortamlarda Radon Gazı, Teknik Rapor, (2012/3).
- [12] ICRP, 2018, Summary of ICRP Recommendations on Radon, UK.
- [13] Pişkin, A., 2016, Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi ve Sağlık Üzerine Etkileri, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.
- [14] Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000, Resmi Gazete Sayısı: 23999.
- [15] Türkkkan, A. ve Pala, K., Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Radyasyon ve Sağlık Etkileri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Sayı: 2, 11-22s, (2009).

- [16] Yakıncı, Z.D., Elektromanyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt:4, Sayı: 8, (2016).
- [17] Elhasoğlu, D., Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).
- [18] UNSCEAR, Exposures from Natural Radiation Sources, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, (2000).
- [19] C. Öztürk, B., Çam, N.F., Yaprak, G., (2013) Reference levels of natural radioactivity and 137Cs in and around the surface soils of Kestanbol pluton in Ezine region of Çanakkale province, Turkey, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48:12, 1522-1532, DOI: 10.1080/10934529.2013.797242.
- [20] Karadeniz, Ö., Akal, C., (2014), Radiological mapping in the granodiorite area of Bergama (Pergamon)-Kozak, Turkey, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, DOI: 10.1007/s10967-014-3216-9.
- [21] Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 30394, (2018).
- [22] Güler, Ç. Ve Çobanoğlu, Z., Radon Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:44, T.C. Sağlık Bakanlığı, (1997).
- [23] Ozan, S.S. ve Ekinci, C.E., Yapılarda Radon Fenomeni ve Radon-Sağlık İlişkisi, *NWSA Engineering Sciences*, 1590-1602s, (2011).
- [24] (http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_02.html).
- [25] Sarıkahya, N.M., 2014, Bir İş Yerinde Elektromanyetik Alan Ölçümü Yapılması ve Sonuçlarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.