

TAVŞANLI İLÇESİNDE AÇIK HAVADAKİ
GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ

Kevser DENİZ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin ÇALIK

Haziran – 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kevser Deniz'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "TAVŞANLI İLÇESİNDE AÇIK HAVADAKİ GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

27/06/2018

Prof. Dr. Önder Uysal

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

.....

Prof. Dr. Atalay Küçük bursa

Anabilim Dalı Başkanı, Fizik Bölümü

.....

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin ÇALIK

Danışman, Fizik Bölümü, Ege Üniversitesi

.....

Sınav Komitesi Üyeleri

Doç.Dr.Kaan MANİSA

Fizik Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ŞİRİN

Fizik Bölümü, Ege Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin ÇALIK

Fizik Bölümü, Ege Üniversitesi

.....

ETİK VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %6 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin Çalık

Kevser Deniz

.....

.....

TAVŞANLI İLÇESİNDE AÇIK HAVADAKİ GAMA DOZ HIZI ÖLÇÜMLERİ

Kevser Deniz

Fizik, Yüksek Lisans Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin Çalık

ÖZET

Bu çalışmada Kütahya ili Tavşanlı ilçe merkezinde bulunan 20 mahallede açık havada gama doz hızı ölçümleri NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan etkin eşdeğer gama doz hızları hesaplanmıştır. Tavşanlı ilçe merkezi için ortalama etkin eşdeğer gama doz hızı $106,64 \pm 6,20 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç Türkiye’de başka şehirlerde yapılan çalışmalar ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun Radyasyon Erken Uyarı Sistemi Ağından alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tavşanlı İlçe Merkezi, Açık Hava Gama Doz Hızı, Etkin Eşdeğer Doz Hızı

OUTDOOR GAMMA DOSE RATE MEASUREMENTS IN TAVŞANLI COUNTY

Kevser Deniz

Physics, M.S Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Abdullah Engin Çalık

SUMMARY

In this study, outdoor gamma dose rate measurements have been done by using NaI(Tl) scintillation detector in 20 neighborhoods in Tavşanlı county center. Annual effective dose rates have been calculated from the obtained results. Average annual effective dose rate for Tavşanlı county center has been found 106.64 ± 6.20 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. This obtained result has been compared with other studies for other cities in Turkey and the data taken from Radiation Early Warning System Network of Turkish Atomic Energy Authority..

Keywords: Tavşanlı County Center, Outdoor Gamma Dose Rate, Effective and Equivalent dose Rate

TEŞEKKÜR

Danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Engin ÇALIK'a; bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan annem ve babama teşekkür ederim.

Yasal izinler için Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Rektörlüğü, Kütahya Valiliği ve Tavşanlı Kaymakamlığı'na ayrıca teşekkür ederim.

Kevser Deniz

Haziran 2018, Kütahya

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. RADYASYON	5
2.1 Genel Özellikler	5
2.2 Radyasyon Kaynakları	6
2.2.1. Doğal radyasyon kaynakları	6
2.2.2. Yapay radyasyon kaynakları	8
2.3 Bozunma Türleri	9
2.3.1. Alfa bozunumu	9
2.3.2. Beta bozunumu	10
2.3.3. Gama bozunumu	11
2.4 Radyasyon Birimleri	11
2.4.1. Aktivite birimi	11

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.4.2. Işınlanma birimi	12
2.4.3. Soğurulan doz birimi	12
2.4.4. Eşdeğer doz birimi	13
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	14
3.1 Sintilasyon Dedektörü	14
3.2 LUDLUM 2241-3RK Sintilasyon Dedektörü	15
4. TAVŞANLI İLÇESİ	17
5. ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR	20
6. TARTIŞMA	35
KAYNAKLAR DİZİNİ	37

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Radyasyon türleri	5
2.2. Elektromanyetik spektrum	6
2.3. Dünya üzerindeki radyasyon kaynaklarının dağılımı.....	7
2.4. Doğal radyasyon kaynaklarının dağılımı	8
2.5. Yapay radyasyon kaynaklarının % dağılımı	9
3.1. Sintilasyon dedektörünün şeması.....	15
3.2. LUDLUM 2241-3RK seyyar NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ve sayım sistemi	16
4.1. Tavşanlı ilçe haritası	17
4.2. Kütahya ili maden haritası	18
5.1. Tavşanlı ilçesinde ölçüm alınan noktalar	20

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.Radyasyon birimleri.....	12
2.2. Kalite faktörleri	13
4.1. Tavşanlı ilçesindeki yeraltı kaynakları ve rezervleri.....	19
5.1. Yeni Mahalle için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	22
5.2. Moymul Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	22
5.3. Devlet Hastanesi Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri ...	23
5.4. Ulucamii Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	23
5.5. Karakova Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	24
5.6. Çardaklı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	24
5.7. Ada Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	25
5.8. Çırçırçesme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	25
5.9. Hanımçeşme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	26
5.10. Y.Beyazıt Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	26
5.11. Subaşı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	27
5.12. Bağlık Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	27
5.13. Çukurköy Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	28
5.14. Durak Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	28
5.15. İstasyon Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	29
5.16. Dağçeşme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	29
5.17. Dedeler Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	30
5.18. Beyköy Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri	30
5.19. Ömerbey Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	31
5.20. Kavaklı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.....	31
5.21. Tavşanlı İlçe merkezinde ölçüm alınan 20 mahallenin 12 aylık IDH, DDH ve EEDH ortalamaları	32
5.22. Türkiye'nin farklı şehirlerindeki EEDH değerleri	33
5.23. TAEK'in RESA sistemi ile Kütahya ve Tavşanlı'da almış olduğu ölçümler	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
^{232}Th	Toryum
^{237}Np	Neptünyum
^{238}U	Uranyum
^{209}Bi	Bizmut
^{208}Pb	Kurşun
^{40}K	Potasyum
NaI(Tl)	Sodyumiyodür (Talyum katkılı)
A	Kütle Numarası
Z	Atom Numarası
N	Nötron Sayısı
e^+	Pozitron
Sv	Sievert
Gy	Gray
R	Röntgen
Ci	Curie
Bq	Bequerel
h	Saat

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Radyoaktivite Etkileri Bilimsel Komitesi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
RESA	Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı
EURDEP	Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
IDH	Işınlama Doz Hızı
SDH	Soğurulma Doz Hızı
EEDH	Etkin Eşdeğer Doz Hızı
DF	Dönüşüm Faktörü
MF	Maruz Kalma Faktörü

1. GİRİŞ

Günlük yaşantımızda radyasyonla iç içe yaşamaktayız. Çok geniş bir dalga boyu ve frekans aralığında dağılım gösteren elektromanyetik spektrum içinde yer alan radyasyon, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. Nükleer radyasyon olarak da adlandırılan iyonlaştırıcı radyasyon alfa ve beta parçacıkları, kozmik ışınlar, gama ve X-ışınları ile serbest nötronlardan oluşur. Hem açık havada hem kapalı ortamlarda sürekli olarak doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından yayınlanan ve yukarıda belirtilen iyonlaştırıcı radyasyon türlerine maruz kalmaktayız. Yaşanılan ortamın coğrafi ve fiziki koşullarına göre değişiklik göstermekle birlikte yıllık alınan radyasyon dozunun %88'ini doğal kaynaklar %12'sini ise yapay radyasyon kaynakları oluşturmaktadır (UNSCEAR, 2000).

Becquerel tarafından 1896'da radyoaktivitenin keşfinden itibaren ve radyasyonun insan sağlığına zararlarının anlaşılmasından sonra, insanların ne kadar doz radyasyon aldıklarının bilinmesinin önemi artmıştır. Dünyada nükleer santrallerin kurulmaya başlaması ve radyasyonun sağlık alanında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bu alanda çalışan sayısı hızla artmıştır. Özellikle bu sektörlerde çalışanların yüksek dozda radyasyona maruz kalma riski taşımalarından dolayı almış oldukları günlük radyasyon doz miktarının sürekli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

Yapay radyasyon kaynaklarından alınan doz harici, toprakta bulunan uranyum, toryum ve aktinyum doğal radyoaktif serilerinde yer alan radyoaktif çekirdekler ve bu seriler dışında olan ve gene toprakta doğal olarak bulunan potasyum çekirdeği doğal radyoaktivitenin en önemli kaynaklarını oluşturmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) verilerine göre Ülkemizde toplam 12.614 ton uranyum, 374.000 ton toryum rezervi bulunmaktadır (Eroğlu ve Şahiner, 2017). Ayrıca ev ve işyerleri gibi kapalı ortamlarda uranyumun bozunumu ile oluşan radon gazı birikimi insan sağlığı üzerinde ciddi tehdit oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) raporlarına göre sigaradan sonra akciğer kanserinin ikinci nedeni radon gazı olup dünyadaki akciğer kanseri vakalarının yaklaşık %15'inin de sebebidir (Pişkin, 2016).

Alfa parçacıkları herhangi bir malzemedan geçerken enerjilerinin büyük bir kısmını iyonlaşma meydana getirmelerinden dolayı hızlıca kaybederler ve bu yüzden menzilleri 5-10cm kadar oldukça kısadır. Beta parçacıkları da alfa parçacıkları gibi belirli bir kütle ve enerjiye sahip olduklarından madde ile etkileşmelerinde alfa parçacıkları kadar olmasa da bir iyonlaşmaya neden olurlar. Bu yüzden menzilleri alfa parçacıklarından daha büyüktür. Gama

ışınları ise çekirdeğin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelirler ve elektromanyetik radyasyon halinde yayılırlar. Madde içine girecilikleri ve menzilleri alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha fazladır. Yani alfa ve beta parçacıklarından belirli bir mesafe uzakta durarak veya ince bir alüminyum levha ile korunabilmekteyken, gama ışınlarından korunabilmek için kurşun kalın levhalar kullanmak gerekmektedir. Yukarıda adı geçen iyonlaştırıcı radyasyon türleri 2. Bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından meydana gelen gama ışınlarına günlük yaşantımız içinde hem açık havada hem de kapalı ortamlarda maruz kalmaktayız. Bu konuda hem dünyada hem de ülkemizde birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Türkiye'nin neredeyse tamamına kurmuş olduğu Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı (RESA) ile çevresel doğal gama doz hızlarını takip etmekte ve internet sayfasından da anlık olarak yayınlamaktadır (TAEK, 2016).

2017 yılında Almanya'da Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu (EURDEP) tarafından çevre dozu eşdeğer hızının ayrıştırılmasıyla karasal açık havadaki gama doz hızının tahmin edilmesi konulu çalışma yapılmış ve böylece Avrupa doğal radyasyon haritasını oluşturmak hedeflenmiştir (Bossew vd., 2017). 2017 yılında Almanya'da çocuk kanser vakalarında açık hava gama radyasyonunun etkileri araştırılmıştır (Spix vd., 2017). Güney Kıbrıs Rum Kesimi'nde yaygın bir şekilde kullanılan 87 adet inşaat malzemesinin radyoaktiviteleri ölçülmüş ve açık hava ve kapalı ortam gama doz hızı hesaplamaları yapılmıştır (Micheal vd., 2010). 2005 yılında tüm Fransa için açık hava gama radyasyonu, kozmik ışınlar ve radon gazının etkilerini içeren bir çalışma yapılmış ve bu çalışmayla Fransa geneli için risk haritası oluşturulmuştur (Billon vd., 2005).Fransa için ortalama açık hava gama doz hızı 46nSv/h olarak belirlenmiştir. HP-Ge ve NaI gama dedektörleri kullanılarak Yunanistan'da 259 noktada açık ve kapalı ortamda gama doz hızı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerin karşılaştırılması yapılarak Yunanistan'ın radyasyon haritası çıkarılmaya çalışılmıştır (Clouvas vd., 2004). İspanya'da da dış ortam karasal gama doz hızları ölçülmüş ve İspanya'nın genel bir kapalı ortam ve açık hava gama radyasyon haritası çıkarılmıştır (Quindos vd., 1992).

Sadece Avrupa'da değil dünyanın birçok ülkesinde açık havadaki ve kapalı ortamdaki gama doz hızı ölçümleri yapılmıştır. Örneğin İran'ın birçok kentinde açık havadaki gama doz hızı ölçümleri yapılmış ve Birjand kentinde ortalama 79,6 nSv/h olarak (Zarghani ve Jafari, 2017),Başkent Tahran'da ortalama 605 nSv/h (Eslami vd., 2016) ve Lorestan eyaletinde ortalama 113 nSv/h (Gholami vd., 2011) olarak ölçülmüştür. Burada dikkat çekici olan Tahran'daki değerlerin oldukça yüksek olmasıdır. Son yıllarda bir Afrika ülkesi olan

Nijerya'nın farklı bölgelerinde açık havadaki ve kapalı ortamlardaki gama doz hızı ölçümleri yapılmış ve bunun kanser üzerine etkileri araştırılmıştır. Güneybatı Nijerya'da Ondo Eyaletinin Akoko bölgesinde yapılan ölçümlerde açık havadaki ortalama gama doz hızı değerleri 86 nSv/h (Asere ve Ajayi, 2017), Rivers eyaletinde 0,15mSv/y ile 0,19mSv/y arasında (Ononugbo ve Mgbemere, 2016), Emelogu kentinde 0,204 mSv/y ile 0,253 mSv/y arasında (Ononugbovd, 2015) ve Nijeryan'nın başkentinde bulunan Kwali hastanesinde ortalama 0,108 μ Sv/h (James vd., 2015) olarak ölçülmüştür.

Hindistan'ın Kerala eyaletinde ortalama açık hava gama doz hızı değerleri 4,83 mSv/y olarak ölçmüş ve bunun kanser riski üzerine etkileri incelenmiştir. (Monica vd., 2018), Malezya'nın Terengganu eyaletinde 145 farklı noktada NaI(Tl) dedektörü ile ölçüm yapmışlar ve açık havadaki ortalama gama hızı değerlerini 0,92 mSv/y olarak (Garba vd., 2015), Bangladeş'in Chittagong kentinin kuzey bölgelerinde 21 ayrı noktada yapılan ölçümlerde ortalama 220nSv/h olarak (Hossain vd., 2014) ölçülmüştür. Pakistan'ın Azad Kashmir Bölgesinin başkenti olan Muzaffarabad'da 40 ayrı ölçüm noktasında kapalı ortam ve açık havadaki gama soğurulma hızları ölçülmüştür (Rafique, 2013). Japonya'da 11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen ve 9,0 şiddetindeki Büyük Doğu Japonya Depreminden önce ortaya çıkan gama doz soğurulma hızı ölçülerek Japonya için haritalama yapılmıştır (Frukawa ve Shingaki, 2012).

Türkiye'de de birçok bölge için açık havadaki ve kapalı ortamdaki gama doz hızları ölçülmüştür. Konya ili Ilgın ilçesinde linyit kömür yatakları civarında karasal gama doz hızları 35 noktada NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüş ve kanser riski araştırılmıştır (Erdoğan ve Manisa, 2016). Artvin ilinde, 204 noktada ölçüm alınarak açık havadaki gama doz hızı değerleri 214,5 μ Sv/y olarak belirlenmiştir (Kobyva vd., 2015). Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat yerleşkesinde bina içi gama doz hızı ölçümleri NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçülmüştür (Erdoğan vd., 2015). Isparta il merkezinde 29 ölçüm noktasında (Tozun vd., 2014) ve Isparta il merkezindeki 12 okulda (Çine ve Kürkcüoğlu, 2014) havadaki gama doz hızı ölçümleri yapılmış ve ortalama olarak 185nSv/h olarak hesaplanmıştır. Çanakkale'de HP-Ge dedektörü kullanılarak ortalama yıllık gama etkin dozu ölçülmüştür (Turhan vd. 2011). Bursa'nın 17 ilçesinde ortalama gama dozu ölçülmüş ve ortalama yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır (Karahan, 2010). Trabzon ve ilçelerinde yıllık etkin açık hava gama dozu 73,83 μ Sv/y olarak hesaplanmıştır (Kurnaz vd., 2010).

Daha önceki çalışmalarımızda Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde açık havadaki (Deniz vd., 2015) ve bina içindeki (Dönmez vd., 2015) gama doz hızı ölçümleri

yapılmıştır. Açık hava ölçümleri için fakültelerin, kütüphanenin, kantinlerin giriş kapılarında ve otobüs duraklarında personel ve öğrencilerin yoğun olarak bulunduğu dış mekânlarda belirlenen 27 noktada ölçüm alınmış ve açık havada ortalama gama doz hızı değeri 56,76 nSv/h olarak belirlenmiştir. Bina içi ölçümler için merkez kütüphane ile fakülte ve yemekhane binalarının içlerinde belirlenen 74 noktada ölçüm yapılmış ve bina içi ortalama gama doz hızı değeri 58,02 nSv/h olarak ölçülmüştür.

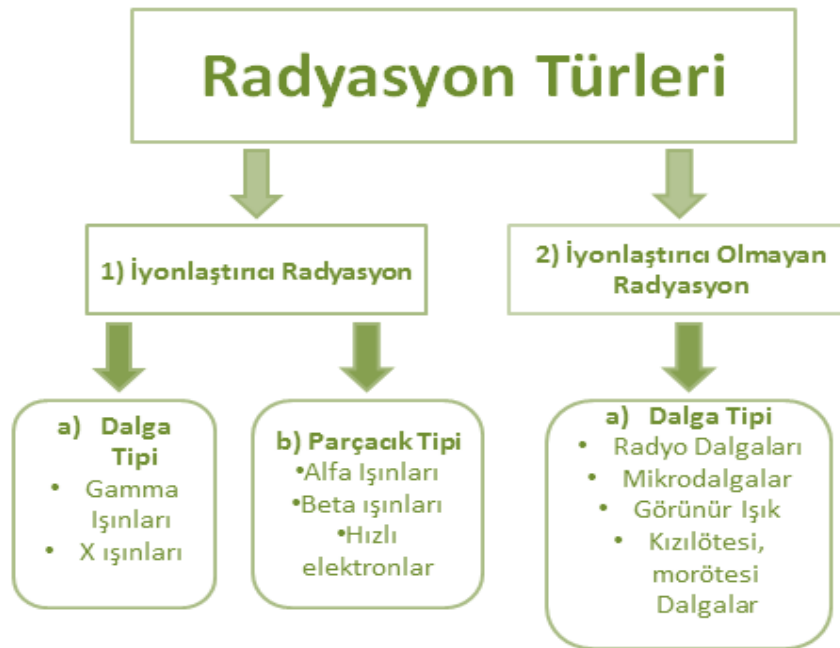
Bu çalışmada ise, zengin linyit kömür yatakları ve yeraltı kaynaklarına sahip Kütahya ili Tavşanlı ilçe merkezinde bulunan 20 mahallede Aralık 2015- Kasım 2016 tarihleri arasında 12 aylık süre boyunca açık havadaki gama doz hızı ölçümleri LUDLUM marka NaI(Tl) dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar TÜBİTAK'ın RESA sistemi ile Türkiye geneli, Kütahya merkezi ve Tavşanlı ilçesi için ölçmüş olduğu sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde radyasyon, gama radyasyonu ve radyasyon birimleri hakkında genel bilgileri verilmiştir. Üçüncü bölümde deneysel yöntem, dördüncü bölümde Tavşanlı ilçesi hakkında kısa bilgi, beşinci bölümde ölçümler ve hesaplamalar ve son bölümde tartışma yer almaktadır.

2. RADYASYON

2.1 Genel Özellikler

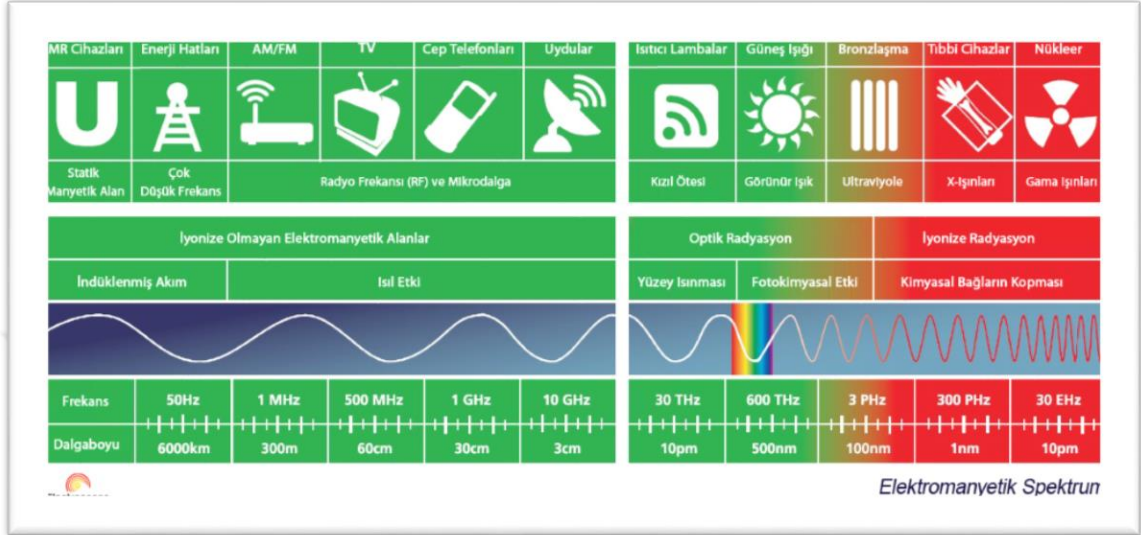
Radyasyon en kısa tanımıyla enerjinin bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Bu durum ile yaşamımızın her anında karşılaşabiliriz. Örneğin ışık gözümüzle görebildiğimiz, ısı da hissettiğimiz bir radyasyondur. Bunların yanında mikrodalga veya X-ışınları gibi bazı radyasyonları ise göremeyiz ve hissedemeyiz. Atomlar tarafından yayınlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanan radyasyon, parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınmaktadır. Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır. İyonlaştırıcı radyasyon da dalga tipi ve parçacık tipi olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılır. Şekil 2.1’de radyasyon türleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Radyasyon türleri.

Dalga tipi iyonlaştırıcı radyasyon gama ve x-ışınlarından, parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyon ise alfa ve beta parçacıkları ile hızlı elektronlardan oluşur. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık, kızılötesi ve morötesi ışık ise etkileştiği malzemedeki atomları iyonize edecek kadar enerjisi olmayan sadece atomu uyaran iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu oluştururlar. Şekil 2.2’de gösterilen elektromanyetik spektrum, enerjinin yüksüz ve kütsüz

fotonlar tarafından taşınan radyasyonları içerir ve dalga boyu ve frekansa göre değişimini gösterir.



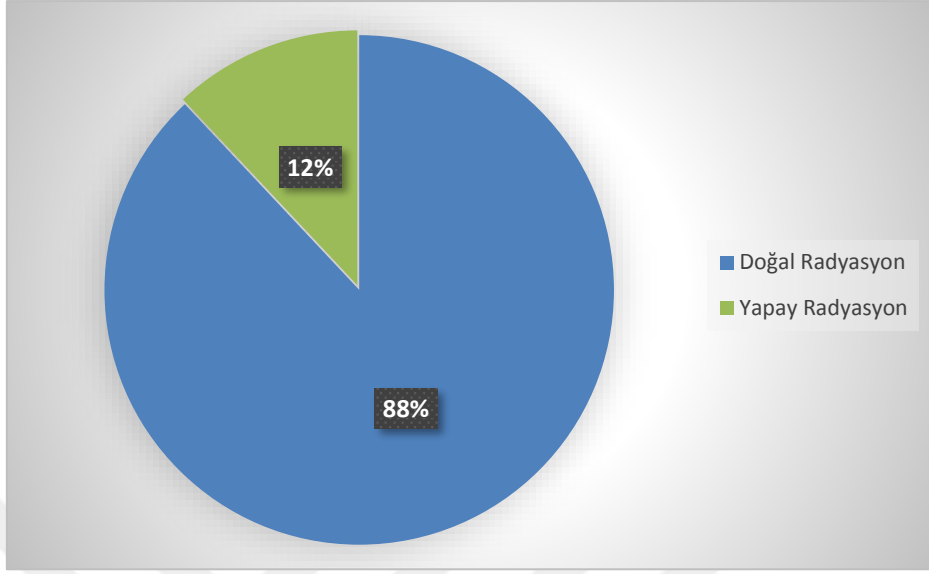
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum.

2.2 Radyasyon Kaynakları

Günlük yaşantımızda maruz kaldığımız radyasyonun bir kısmı dünyanın oluşumundan beri var olan, toprakta doğal olarak bulunan radyoaktif izotopların bozunması ve uzaydan gelen kozmik ışınların oluşturduğu doğal radyasyon, bir kısmı da insanlar tarafından nükleer santral, nükleer deneyler, medikal uygulamalar, endüstri tarafından üretilen yapay radyasyondur. Şekil 2.3'te dünya üzerinde maruz kalınan doğal ve yapay radyasyonun oranları verilmiştir.

2.2.1 Doğal radyasyon kaynakları

Dışarıdan herhangi bir etki olmadan kendiliğinden bozunan elementlere radyoaktif elementler, bu olaya da doğal radyoaktivite adı verilmektedir. Toprakta bulunan ve ağır çekirdekler olan doğal radyasyon kaynakları Toryum (^{232}Th), Neptünyum (^{237}Np), Uranyum (^{238}U) ve Aktinyum (^{235}U)'dur. Bu çekirdekler kararsız çekirdekler olup alfa ve beta



Şekil 2.3. Dünya üzerindeki radyasyon kaynaklarının dağılımı (IAEA, 1996).

bozunmaları yaparak kararlı çekirdeklere dönüşürler.²³²Th çekirdeği kararlı ²⁰⁸Pb çekirdeğine, ²³⁷Np çekirdeği kararlı ²⁰⁹Bi çekirdeğine, ²³⁸U çekirdeği kararlı ²⁰⁶Pb çekirdeğine ve ²³⁵U çekirdeği kararlı ²⁰⁷Pb çekirdeğine dönüşür.

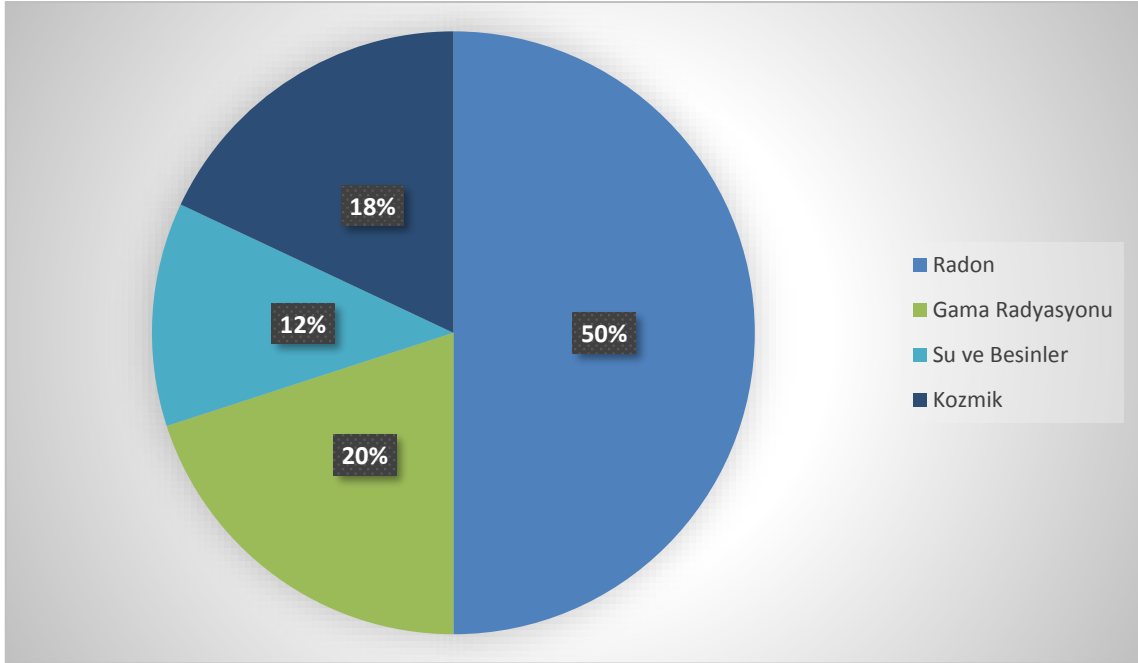
Kozmik ışınlar, uzaydan gelen ve atmosfer tarafından büyük kısmı tutulan diğer bir doğal radyasyon kaynağıdır. Kozmik ışınlardan alınan radyasyon miktarı deniz seviyesinden yukarılara çıktıkça artış göstermektedir. Kozmik ışınlar nedeniyle maruz kalınan ortalama radyasyon miktarı 0,39 mSv/y'dır (TAEK, 2018).

İnsan vücudunda bulunan ⁴⁰K gibi radyoaktif elementlerden dolayı maruz kalınan ortalama radyasyon miktarı 0,23 mSv/yıl kadar, havadan ve yiyecek-içeceklerden aldığımız ortalama radyasyon miktarı da 0,25 mSv/yıl kadardır (TAEK, 2018).

Radyum (²²⁶Ra) elementinin bozunması sırasında ortaya çıkan radon gazı (²²²Rd) alfa bozunması yaparak daha kararlı çekirdeklere dönüşür. Radon gazı solunum yoluyla alınabilen bir gazdır. Özellikle, madenler, mağaralar ve kapalı olan binaların bodrum ve zemin katlarında yeryüzündeki çatlaklardan çıkarak birikme yaparlar. İnsan sağlığını etkileyen en önemli doğal radyasyon kaynaklarının başında gelmektedir. Radon gazından dolayı bir yıl boyunca maruz

kalınan ortalama radyasyon dozu 1,3mSv kadardır (TAEK, 2018; Pişkin, 2016). Radon gazı akciğer kanseri oluşumunda sigaradan sonra en önemli ikinci etmendir.

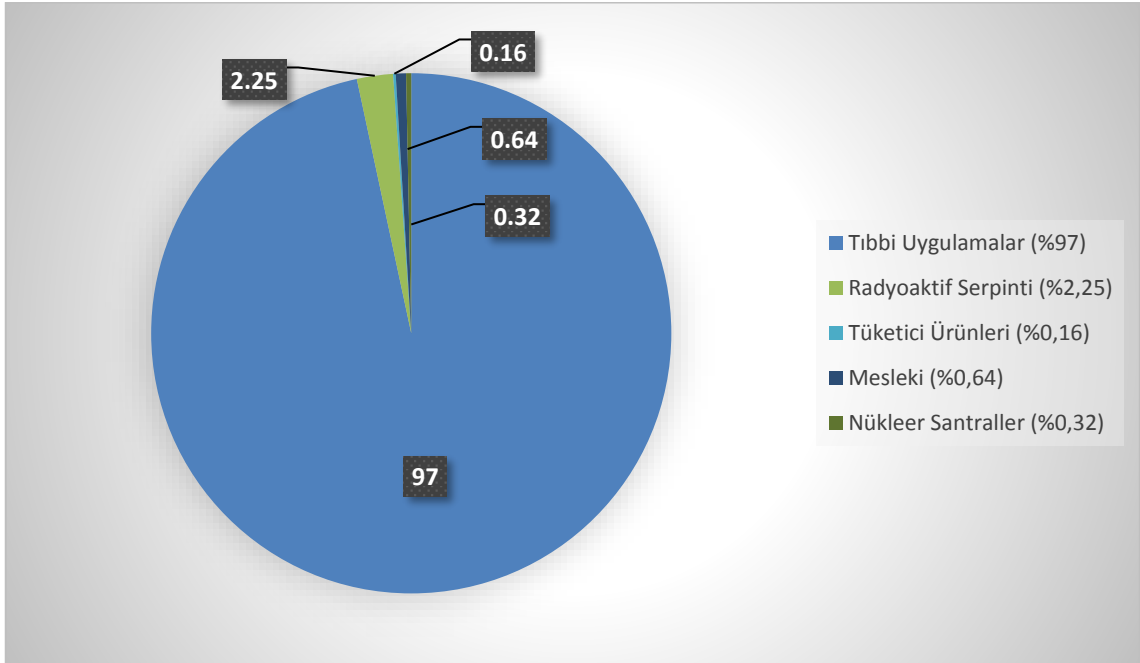
Doğal radyasyon kaynaklarının insanlar üzerine etkilerinin dağılımları Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Doğal radyasyon kaynaklarının dağılımı (IAEA, 1996).

2.2.2 Yapay radyasyon kaynakları

Teknolojinin ilerlemesi ve radyasyon kaynaklarının çeşitli endüstrilerde kullanılmaya başlanmasıyla son 100 yılda yapay radyasyon kaynaklarından dolayı maruz kalınan doz miktarları da artış göstermiştir. Tıbbi uygulamalar, nükleer silah denemeleri sonucu ortaya çıkan radyoaktif serpintiler, tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif kaynaklar, nükleer santraller ve bazı mesleki uygulamalar yapay radyasyon kaynakları olarak ele alınabilir. Bu kaynakların yapay radyasyon kaynakları içindeki dağılımları Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Yapay radyasyon kaynaklarının % dağılımları (IAEA, 1996).

2.3. Bozunma Türleri

Kararsız halde bulunan radyoaktif çekirdekler alfa veya beta bozunması yaparak kararlı bir çekirdeğe dönüşürler. Bu dönüşüm çekirdekte meydana geldiği için atomun cinsi değişir. Uyarılmış halde bulunan bir çekirdek ise cinsi değişmeden gama ışınması yaparak taban duruma bozunur.

2.3.1. Alfa bozunumu

Kararsız olan çekirdek (2.1) eşitliğinde belirtildiği gibi 2 proton ve 2 nötrondan oluşan He çekirdeği yayımlayarak kararlı başka bir çekirdeğe bozunur. Bozunan çekirdeğin atom numarası 2, kütle numarası 4 azalır. Bozunma sırasında toplam enerji korunur.



Yayınlanan He çekirdeği alfa parçacığı olarak da adlandırılır. Alfa parçacığı yüksek enerjiye sahiptir fakat maddeyle etkileşmesi sırasında bu enerjisini iyonlaştırma için kullandığı için menzili çok kısadır.

2.3.2. Beta bozunumu

Beta bozunması çekirdekten yayınlanan elektronlardır. Yayınlanan beta parçacıklarının menzili alfa parçacıklarına göre biraz daha uzundur. Üç şekilde gerçekleşir.

Beta (-) bozunumu

Çekirdek içindeki bir nötronun protona dönüşmesi sırasında çekirdekten bir elektron ve anti-nötrino yayınlanır.



Yeni oluşan çekirdeğin nötron sayısı 1 azalırken proton sayısı 1 artar. Kütle numarası ise değişmeyeceği için bu bozunmalar izobarik bozunmalar da denir.

Beta (+) bozunması

Çekirdek içindeki bir protonun nötrona dönüşmesi sırasında çekirdekten bir pozitif yüklü elektron (pozitron) ve nötrino yayınlanır.



Yeni oluşan çekirdeğin proton sayısı 1 azalırken, nötron sayısı 1 artar. Kütle numarası değişmez.

Elektron Yakalama

Proton fazlalığından dolayı kararsız olan çekirdek, çekirdeğe yakın yörüngelerde bulunan elektronlardan birini yakalar. Protonla yakalanan bu elektron birleşerek nötron ve nötrinoya dönüşür.



Bu olay aynı beta(+) bozunmasına benzer. Proton sayısı 1 azalırken nötron sayısı 1 artar. Bu sırada boşalan elektron yörüngesine üst yörüngelerden başka bir elektron gelir ve iki seviye arasındaki enerji farkı kadar x-ışını yayınlanır.

2.3.3. Gama bozunumu

Kararsız çekirdek alfa veya beta parçacığı yayınladığı zaman hemen kararlı durumda olmaz. Çekirdeğin enerji seviyelerinde farklılıklar meydana gelir. Fazla olan çekirdek enerjisi gama ışını olarak elektromanyetik dalga halinde yayınlanır. Gama ışınları beta ve alfa ışınlarından daha yüksek enerjiye sahiptirler. Yüksüzdürler bu yüzden elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler. İyonlaştırma özelliği alfa ve betaya göre oldukça azdır. Menzilleri alfa ve beta parçacığına göre çok daha fazladır yaklaşık havada birkaç yüz metre yol alabilirler. Gama ışını yayınlayan çekirdeğin kütle ve atom numarası değişmez.

2.4. Radyasyon Birimleri

Radyasyon dozu, radyasyona maruz kalan hedef malzemenin, belirli bir süre içerisinde soğurduğu radyasyon miktarıdır. Radyasyon birimleri, radyasyon kaynağı tarafından üretilen radyasyon miktarını belirten “aktivite ve ışınlama birimleri” ve radyasyonun maddeler üzerinde bıraktığı etkiyi belirleyen “soğurulan doz ve eşdeğer doz birimleri” olmak üzere dörde ayrılır (Pişkin, 2016). Uluslararası Radyasyon Birimleri Komisyonu 1971 yılına kadar aktivite için Curie, ışınlama için Röntgen, soğurulan doz için Rad ve eşdeğer doz için Rem’i kabul ederken, 1971 yılında SI’yı (Uluslararası Birimler Sistemi) kullanmaya başlamıştır (Özger, 2005). Çizelge 2.1’de eski ve yeni birimler ile bunlar arasındaki ilişki verilmiştir.

2.4.1. Aktivite birimi

Birim zamanda meydana gelen bozunma sayısına aktivite denir.

Becquerel (Bq):Saniyede 1 parçalanma yapan radyoaktif çekirdeğin aktivitesidir.

Curie (Ci): 1 gram ²²⁶Ra çekirdeğinin bozunma hızı olarak tanımlanmış ve saniyede $3,7 \times 10^{10}$ bozunmaya karşılık gelmektedir.

Çizelge 2.1. Radyasyon birimleri.

Radyasyon Birimleri	SI Birimi	Eski Birim	Dönüşüm
Aktivite	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1Ci=3,7x10 ¹⁰ Bq 1 Bq=2,7x10 ⁻¹¹ Ci
Işınlama	Coulomb/kg (C/kg)	Röntgen (R)	1C/kg=3876 R 1R=2,58x10 ⁻⁴ C/kg
Soğurulan Doz	Gray (Gy)	RAD (Rad)	1Gy=100rad 1rad=10 ⁻⁴ Gy
Eşdeğer Doz	Sievert (Sv)	REM(Rem)	1Sv=100Rem 1Rem=10 ⁻² Sv

2.4.2. Işınlama birimi

Gama ve X-ışınlarının havayı iyonlaştırabilmesinin bir ölçütüdür.

Röntgen (R): Normal hava şartlarında havanın 1 kg'sinde 2,58x10⁻⁴C'lik elektrik yükü değerinde iyon oluşturan gama veya x-ışın miktarıdır.

Coulomb/kg (C/kg): SI birim sisteminde özel bir adı yoktur. 0°C sıcaklıkta ve 760mm-Hg basınçta havanın 1 kg'da 1C'lik elektrik yükü değerinde iyon oluşturan gama veya x-ışını miktarıdır.

2.4.3. Soğurulan doz birimi

Aktivite ve ışınlanma birimleri radyasyon kaynağının özellikleri hakkında bilgi vermektedir ve ışınlanma birimleri normal şartlardaki hava için tanımlanmıştır. Soğurulan doz birimi, radyasyona maruz kalan madde tarafından soğurulan enerjinin bir ölçüsüdür.

RAD (RadiationAbsorbedDose, Soğurulan Radyasyon Dozu):Radyasyon etkisinde kalan maddenin 1 gramında soğurulan 100 erg'lik enerji veren radyasyon miktarıdır.

Gray (Gy): Radyasyon etkisinde kalan malzemenin1 kg'sinde soğurulan 1joule'lük enerjiyi veren radyasyon miktarıdır.

2.4.4. Eşdeğer doz birimi

Soğurulan dozun meydana getirdiği biyolojik etkiler, iyonlaştırıcı radyasyonun malzeme içinde kaybettikleri enerji miktarına bağlıdır. Eşdeğer doz birimi, iyonlaştırıcı radyasyonun oluşturduğu canlı için zararlı biyolojik etkilerinin bir ölçüsüdür (Özger, 2005). Eşdeğer doz birimi, soğurulan doz ile Çizelge 2.2’de verilen kalite faktörünün çarpımına eşittir.

Çizelge 2.2. Kalite faktörleri.

Radyasyon	Kalite Faktörü
Alfa	20
Beta	1
Gama ve X-ışını	1

REM (RoentgenEquivalent Man; İnsanda Röntgen Eşdeğeri): Eskiden kullanılan eşdeğer doz birimi.

Sievert (Sv): 1Gy’lik gama ve x-ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarı.

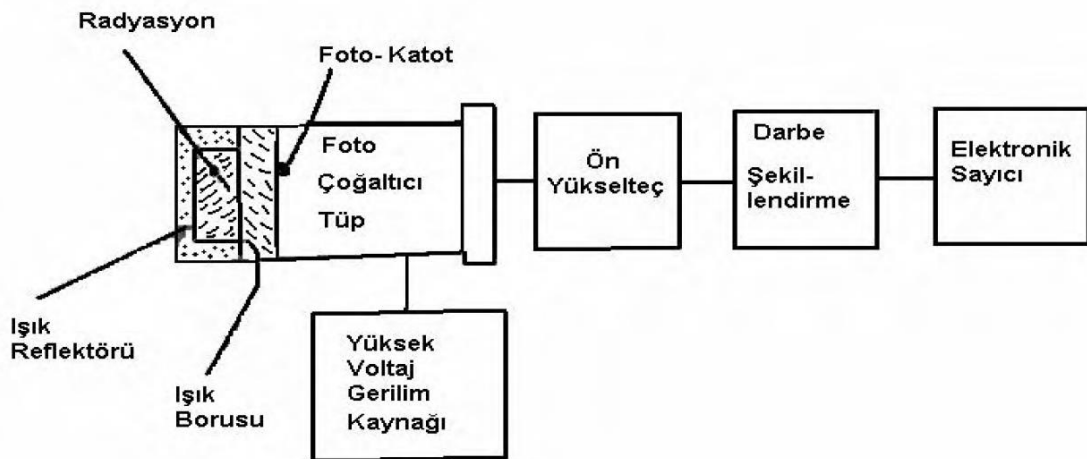
3.DENEYSEL ÇALIŞMA

Ölçümler Dumlupınar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan LUDLUM marka seyyar NaI(Tl) sintilasyonedektörü kullanılarak yapılmıştır.

3.1.Sintilasyon Dedektörü

Sintilasyon kelime anlamı olarak parıldama veya ışıldama demektir. Radyasyona maruz kalan bazı maddeler, soğurdukları radyasyondan dolayı uyarılmış hale geçen atomların tekrar taban duruma geçmesi sırasında ultraviyole veya görünür bölgede ışın yayınlarlar bu olaya sintilasyon adı verilir. Sintilasyon dedektörleri ise bu parıldamayı sayıma dönüştüren cihazlardır.

Sintilasyon dedektörleri, Geiger-Müller sayaçları gibi gazlı dedektörlere göre yoğunlukları daha fazla ve soğurma kapasiteleri daha büyük olduğu için verimleri de yüksektir. Alfa ve beta parçacıklarının iyonlaştırma etkileri yüksek oldukları için gazlı dedektörler de verimli sayım yapılabilirken, gama ışını gibi iyonlaşma özelliğinin az ve enerjinin yüksek olduğu durumlarda verimli ve doğru sayım yapılamaz. Katı maddeli sintilasyon dedektörleri gazlara göre soğurma özelliklerinin fazla olmasından dolayı gazlardan çok daha iyi özelliklere sahiptirler ve gama ışını gibi radyasyon sayımı için tercih edilirler.



Şekil 3.1.Sintilasyonedektörü şeması (Değerlier, 2007).

Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen sintilasyon dedektörü, sintilatör olarak kullanılan bir madde ve bunun hemen arkasına bağlanmış olan foto-çoğaltıcı tüpten oluşur. Ölçümlerde kullanmış olduğumuz dedektörde kullanılan madde talyumla aktive edilen NaI kristalidir. Gama ışınları bu kristal içerisinden geçerken enerjilerini kaybederler ve kristal madde tarafından soğurulurlar. Radyasyondan aldıkları enerji ile kristal atomları uyarılırlar. Uyarılan atomlar tekrar eski durumlarına dönerlerken bir ışık fotonu yayınlırlar. Işık fotonları foto-çoğaltıcı tüpün hassas katoduna çarparak buradan elektron salınmasına neden olurlar. Salınan bu elektronlar foto-çoğaltıcı tüp içerisinde bulunan dinod adı verilen elemanlar tarafından çoğaltılarak anotta toplanırlar. Gelen fotonun enerjisi ile orantılı olan elektrik pulsu elektronik sayıcı tarafından sayılır.

3.2. LUDLUM 2241-3RK Sintilasyon Dedektörü



Şekil 3.2. LUDLUM 2241-3RK seyyar NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ve sayım sistemi.

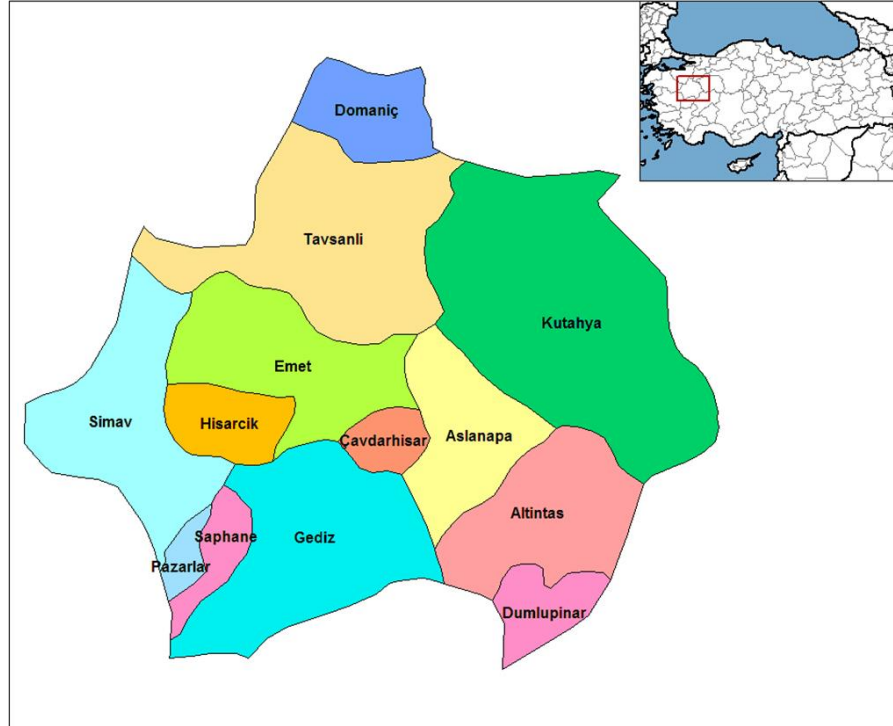
Yapmış olduğumuz ölçümlerde kullanılan NaI(Tl) dedektörü, Şekil 3.2’de gösterilen LUDLUM marka 2241-3RK modelidir. 60keV ile 1,25MeV arasında enerjiye sahip gama ışınlarını ölçebilir. Bir foto-çoğaltıcı tübe bağlanmış 2,5 cm çapında ve 2,5cm kalınlığında NaI kristali içerir. NaI kristali 0,16cm kalınlığında bir alüminyum muhafaza içerisine yerleştirilmiştir. 500 V ile 1200 V arasında çalışma voltajına, 2,9 cm çapında manyetik

korumalı foto-çoğaltıcı tüpe ve elektron çoğaltmakta görevli olan dinodlar $100M\Omega$ dirence sahiptir. Ayrıca dedektör 5,1 cm çapında ve 18,5cm uzunluğunda alüminyum gövdeye sahiptir. Cihaz 8-12 μ s ölü zamana sahiptir. Dedektörün ağırlığı 0,5kg'dır (LUDLUM, 2016).



4. TAVŞANLI İLÇESİ

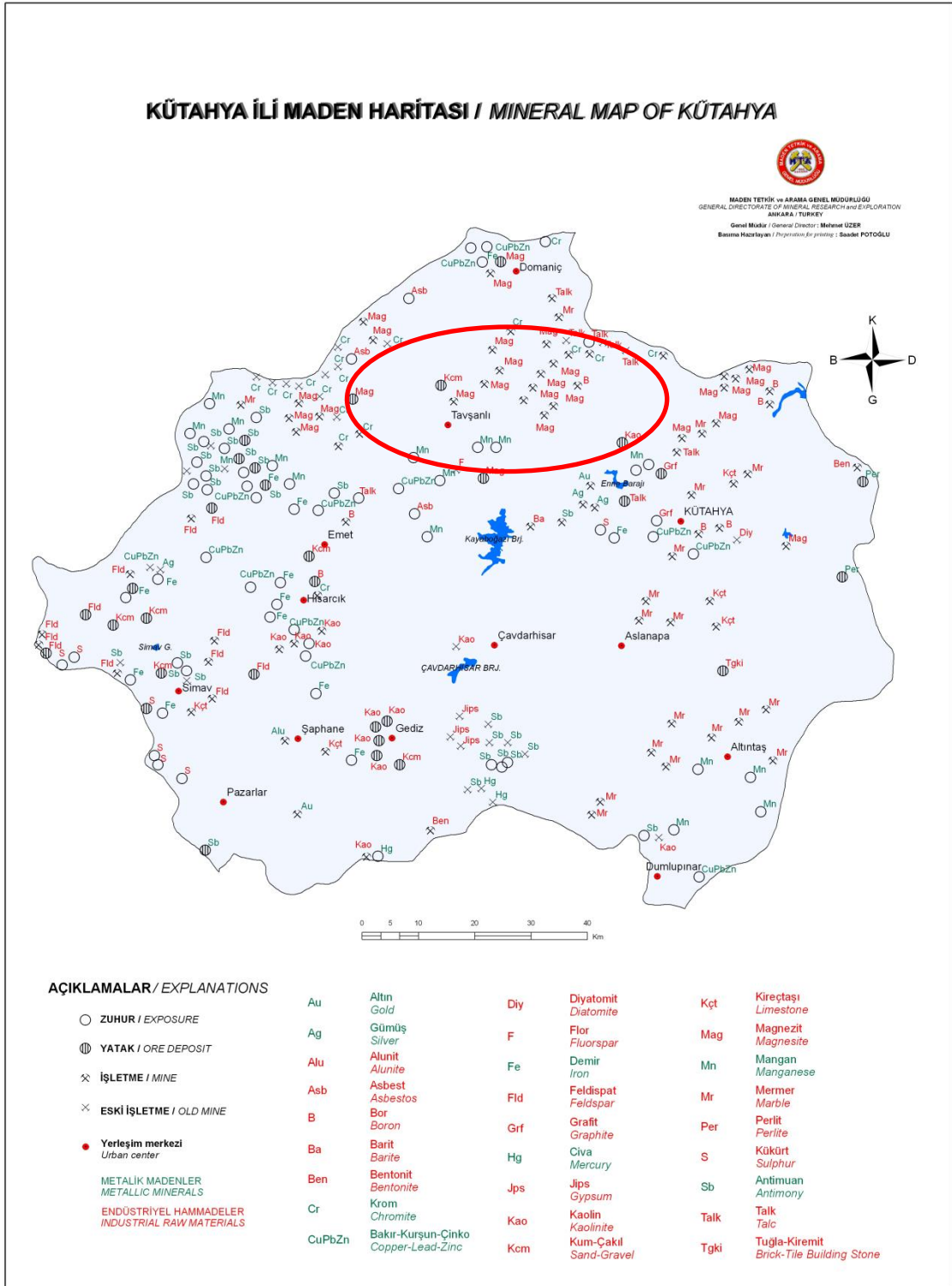
İç Ege bölgesinde bulunan Kütahya ilinin bir ilçesi olan Tavşanlı, Şekil 4.1'den görüldüğü gibi Kütahya'nın kuzeybatısında, Marmara Bölgesi sınırındadır. Kuzeyinde Domanıç ilçesi, güneyinde Emet ilçesi, doğusuna Kütahya ve batısında Simav ilçesi yer almaktadır.



Şekil 4.1. Tavşanlı ilçe haritası.

2017 verilerine göre yaklaşık 102.000 olan nüfusu ile (TÜİK, 2018) Kütahya'nın en büyük ilçesidir. Yüzölçümü 1804 km²'dir. Kütahya il merkezine yaklaşık 45km uzaklıktadır.

Kütahya ili genel olarak zengin yeraltı kaynaklarına sahiptir. Bunların başında dünya rezervinin büyük bir kısmının yer aldığı bor madeni gelmektedir. 1.681.474.000 ton bor rezervi Tavşanlı ilçesinin güneyinde yer alan Emet ilçesindedir. Bordan başka linyit, kaolen, gümüş, krom, alunit, antimuan, bakır-kurşun-çinko, demir, manganez, manyezit, çimento hammaddeleri, feldispat, jips, florit ve kum-çakıl bol miktarda bulunmaktadır. Şekil 4.2'de Kütahya ili maden haritası verilmiştir.



Şekil 4.2. Kütahya ili maden haritası (MTA,2018).

Tavşanlı ilçesi de Kütahya il genelinde olduğu gibi çeşitli ve yüksek rezervde yeraltı kaynaklarına sahiptir. Tavşanlı ilçesi zengin linyit potansiyeline sahiptir. Linyit ve linyit

nedeniyle varolan Tunçbilek ve Seyitömer termik santrallerinin ilçenin sanayisine ve ekonomisine büyük katkısı vardır. Seyitömer’de toplam 198.666.000 ton, Tunçbilek’te 317.732.000 ton olmak üzere toplamda 516.398.000 ton linyit rezervi bulunmaktadır. (MTA, 2018).Tavşanlı ilçesinde varolan yeraltı kaynakları ve rezervleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tavşanlı İlçesindeki yeraltı kaynakları ve rezervleri (MTA, 2018).

Yeraltı Kaynağı	Rezerv(ton)
Çimento Hammaddeleri	25.000.000-30.000.000
Florit (F)	9.000
Gümüş (Ag)	21.500.000
Manganez (Mn)	9.000
Manyezit (Mag)	88.100
Talk	Geçmiş yıllarda işlenmiştir
Linyit	516.398.000
Bitümlü Şeyl*	122.170.000

*Bitümlü Şeyl: Petrole benzer bir yağ veren, organik madde bakımından zengin, ince taneli, kristal yapılı bir tür katı yakıttır. Ülkemizde linyitten sonraki en büyük fosil yakıt kaynağıdır.

çarpanı, μR /hışınlama doz hızını nGy/h soğurulma doz hızına çeviren dönüştürme faktörü olarak adlandırılır (Bozkurt vd., 2007).

$$SDH \left(\frac{nGy}{h} \right) = IDH \left(\frac{\mu R}{h} \right) \times 8,7 \left(\frac{nGy}{\mu R} \right) \quad (5.1)$$

Açık havada maruz kalınan gama ışınlarının biyolojik etkisini anlayabilmek için SDH'dan etkin eşdeğer doz hızına (EEDH) geçiş yapmak gerekir. Etkin eşdeğer doz hızının havadaki soğurulmuş doza oranı, orta enerjilere düşürülmüş çevresel gama ışınları için dönüşüm faktörü (DF) 0,7Sv/Gy olarak tanımlanır (UNSCEAR, 2000). Bu değer hem kapalı ortamlar hem de açık havadaki hesaplamalar için kullanılır. Gama ışınları için etkin eşdeğer doz hızı hesaplanırken bilinmesi gereken diğer bir faktör de canlıların bu ışınlar ne kadar maruz kaldıklarıdır. Maruz kalma faktörü (MF), insanın bir gün içerisinde zamanının ne kadarlık bir kısmını bina dışında yani açık havada geçirmesini ifade eder. UNSCEAR 2000 raporuna göre, yetişkinler bir günün ortalama beşte birini yani %20'sini bina dışında geçirmektedirler. Yani maruz kalma faktörü olarak MF=0,2 alınmaktadır (UNSCEAR, 2000). Gama ışınları için etkin eşdeğer doz hızı (5.2) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EEDH \left(\frac{\mu Sv}{yil} \right) = SDH \left(\frac{nGy}{h} \right) \times DF \left(0,7 \frac{Sv}{Gy} \right) \times MF(0,2) \times T \left(8760 \frac{h}{yil} \right) \times 10^{-3} \quad (5.2)$$

$$EEDH \left(\frac{nSv}{h} \right) = SDH \left(\frac{nGy}{h} \right) \times DF \left(0,7 \frac{Sv}{Gy} \right) \times MF(0,2) \quad (5.3)$$

$$EEDH \left(\frac{nSv}{h} \right) = SDH \left(\frac{nGy}{h} \right) \times DF \left(0,7 \frac{Sv}{Gy} \right) \times MF(1,0) \quad (5.4)$$

Buradaki T zaman faktörü olup, eğer EEDH yıllık olarak hesaplanacaksa (5.2) eşitliğindeki gibi 8760 h/yıl ile çarpılması gerekmektedir. Eğer çarpılmazsa (5.3) eşitliğinde olduğu gibi EEDH birim saat için hesaplanmış olur. Burada kullanılan MF için 0,2 değil de 1 çarpımını kullanırsak, (5.4) eşitliğinde olduğu gibi 365 gün 24 saat boyunca maruz kalınan EEDH hesaplanmış olur. TAEK'in RESA sistemindeki etkin eşdeğer doz hızları birim saat ve MF=1 için verilmektedir (TAEK, 2016).

Çizelge 5.1. YeniMahalle için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH (μ R/h)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH (μ Sv/yıl) MF=0,2
Aralık 2015	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Ocak 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Şubat 2016	17	147,90	20,71	103,53	181,38
Mart 2016	15	130,50	18,27	91,35	160,05
Nisan 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Mayıs 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Haziran 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Temmuz 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ağustos 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Eylül 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ekim 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Kasım 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ortalama	12,83 \pm 0,63	111,65 \pm 5,44	15,63 \pm 0,76	78,16 \pm 3,81	136,93 \pm 6,68

Çizelge 5.2. Moymul Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH (μ R/h)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH (μ Sv/yıl) MF=0,2
Aralık 2015	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Ocak 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Şubat 2016	15	130,50	18,27	91,35	160,05
Mart 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Nisan 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Mayıs 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Haziran 2016	9,1	79,17	11,08	55,42	97,10
Temmuz 2016	16	139,20	19,49	97,44	170,71
Ağustos 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Eylül 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ekim 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Kasım 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ortalama	12,43 \pm 0,62	108,10 \pm 5,37	15,13 \pm 0,75	75,67 \pm 3,76	132,57 \pm 6,58

Çizelge 5.3. Devlet Hastanesi Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	6,3	54,81	7,67	38,37	67,22
Ocak 2016	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Şubat 2016	7,4	64,38	9,01	45,07	78,96
Mart 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Nisan 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Mayıs 2016	8,2	71,34	9,99	49,94	87,49
Haziran 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Temmuz 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ağustos 2016	7,5	65,25	9,14	45,68	80,02
Eylül 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Ekim 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Kasım 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ortalama	8,33±0,39	72,43±3,43	10,14±0,48	50,70±2,40	88,83±4,21

Çizelge 5.4. Ulu Cami Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ocak 2016	17	147,90	20,71	103,53	181,38
Şubat 2016	16	139,20	19,49	97,44	170,71
Mart 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Nisan 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Mayıs 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Haziran 2016	15	130,50	18,27	91,35	160,05
Temmuz 2016	17	147,90	20,71	103,53	181,38
Ağustos 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Eylül 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ekim 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Kasım 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ortalama	13,92±0,57	121,08±4,96	16,95±0,69	84,75±3,47	148,49±6,08

Çizelge 5.5. Karakova Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	6,7	58,29	8,16	40,80	71,49
Ocak 2016	7,2	62,64	8,77	43,85	76,82
Şubat 2016	7,2	62,64	8,77	43,85	76,82
Mart 2016	8,1	70,47	9,87	49,33	86,42
Nisan 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Mayıs 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Haziran 2016	11,0	95,70	13,40	66,99	117,37
Temmuz 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ağustos 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Eylül 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ekim 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Kasım 2016	15	130,50	18,27	91,35	160,05
Ortalama	10,02±0,73	87,15±6,39	12,20±0,89	61,00±4,47	106,87±7,83

Çizelge 5.6. Çardaklı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Ocak 2016	6,3	54,81	7,67	38,37	67,22
Şubat 2016	6,8	59,16	8,28	41,41	72,55
Mart 2016	7,2	62,64	8,77	43,85	76,82
Nisan 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Mayıs 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Haziran 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Temmuz 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ağustos 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Eylül 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Ekim 2016	15	130,50	18,27	91,35	160,05
Kasım 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Ortalama	9,98±0,93	86,86±8,05	12,16±1,13	60,80±5,64	106,52±9,87

Çizelge 5.7. Ada Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Ocak 2016	8,2	71,34	9,99	49,94	87,49
Şubat 2016	9,2	80,04	11,21	56,03	98,16
Mart 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Nisan 2016	8,7	75,69	10,60	52,98	92,83
Mayıs 2016	9,6	83,52	11,69	58,46	102,43
Haziran 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Temmuz 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ağustos 2016	7,3	63,51	8,89	44,46	77,89
Eylül 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ekim 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Kasım 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ortalama	9,47\pm0,40	82,36\pm3,50	11,53\pm0,49	57,65\pm2,45	101,01\pm4,29

Çizelge 5.8. Çirçirçeşme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	7,1	61,77	8,65	43,24	75,75
Ocak 2016	6,8	59,16	8,28	41,41	72,55
Şubat 2016	7,8	67,86	9,50	47,50	83,22
Mart 2016	9,1	79,17	11,08	55,42	97,09
Nisan 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Mayıs 2016	7,4	64,38	9,01	45,07	78,96
Haziran 2016	6,5	56,56	7,92	39,59	69,36
Temmuz 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ağustos 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Eylül 2016	7	60,90	8,53	42,63	74,69
Ekim 2016	8,5	73,95	10,35	51,77	90,69
Kasım 2016	10,5	91,35	12,79	63,95	112,03
Ortalama	8,08\pm0,34	70,33\pm2,99	9,85\pm0,42	49,23\pm2,09	86,25\pm3,67

Çizelge 5.9. Hanımçeşme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	6,6	57,42	8,04	40,19	70,42
Ocak 2016	6,4	55,68	7,80	38,98	68,29
Şubat 2016	7,1	61,77	8,65	43,24	75,75
Mart 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Nisan 2016	9,1	79,17	11,08	55,42	97,09
Mayıs 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Haziran 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Temmuz 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ağustos 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Eylül 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ekim 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Kasım 2016	11,3	98,31	13,76	68,82	120,57
Ortalama	9,57 \pm 0,59	83,23 \pm 5,14	11,65 \pm 0,72	58,26 \pm 3,60	102,07 \pm 6,30

Çizelge 5.10. Yıldırım Beyazıt Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	6,3	54,81	7,67	38,37	67,22
Ocak 2016	6,7	58,29	8,16	40,80	71,49
Şubat 2016	5	43,50	6,09	30,45	53,35
Mart 2016	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Nisan 2016	6,9	60,03	8,40	42,02	73,62
Mayıs 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Haziran 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Temmuz 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ağustos 2016	8,7	75,69	10,60	52,98	92,83
Eylül 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ekim 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Kasım 2016	13,5	117,45	16,44	82,22	144,04
Ortalama	8,63 \pm 0,74	75,11 \pm 6,47	10,52 \pm 0,91	52,58 \pm 4,53	92,11 \pm 7,93

Çizelge 5.11. Subaşı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ocak 2016	9,3	80,91	11,33	56,64	99,23
Şubat 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Mart 2016	7,4	64,38	9,01	45,07	78,96
Nisan 2016	6,4	55,68	7,80	38,98	68,29
Mayıs 2016	6,1	53,07	7,43	37,15	65,09
Haziran 2016	7,8	67,86	9,50	47,50	83,22
Temmuz 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Ağustos 2016	7	60,90	8,53	42,63	74,69
Eylül 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ekim 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Kasım 2016	9,8	85,26	11,94	59,68	104,56
Ortalama	8,20±0,37	71,34±3,23	9,99±0,45	49,94±2,26	87,49±3,96

Çizelge 5.12. Bağlık Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	7,2	62,64	8,77	43,85	76,82
Ocak 2016	7,5	65,25	9,14	45,68	80,02
Şubat 2016	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Mart 2016	7,1	61,77	8,65	43,24	75,75
Nisan 2016	8,3	72,21	10,11	50,55	88,56
Mayıs 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Haziran 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Temmuz 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ağustos 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Eylül 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ekim 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Kasım 2016	11,5	100,05	14,01	70,04	122,70
Ortalama	9,43±0,63	82,00±5,51	11,48±0,77	57,40±3,86	100,56±6,76

Çizelge 5.13. Çukurköy Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH (μ R/h)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH (μ Sv/yıl) MF=0,2
Aralık 2015	7,3	63,51	8,89	44,46	77,89
Ocak 2016	8,2	71,34	9,99	49,94	87,49
Şubat 2016	8,2	71,34	9,99	49,94	87,49
Mart 2016	9,3	80,91	11,33	56,64	99,23
Nisan 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Mayıs 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Haziran 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Temmuz 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ağustos 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Eylül 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Ekim 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Kasım 2016	13,2	114,84	16,08	80,39	140,84
Ortalama	10,93 \pm 0,65	95,12 \pm 5,62	13,32 \pm 0,79	66,58 \pm 3,93	116,66 \pm 6,89

Çizelge 5.14. Durak Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH (μ R/h)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH (μ Sv/yıl) MF=0,2
Aralık 2015	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ocak 2016	9,2	80,04	11,21	56,03	98,16
Şubat 2016	9,5	82,65	11,57	57,86	101,36
Mart 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Nisan 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Mayıs 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Haziran 2016	11,0	95,70	13,40	66,99	117,37
Temmuz 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Ağustos 2016	14	121,80	17,05	85,26	149,38
Eylül 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Ekim 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Kasım 2016	9,5	82,65	11,57	57,86	101,36
Ortalama	11,18 \pm 0,54	97,30 \pm 4,69	13,62 \pm 0,66	68,11 \pm 3,28	119,32 \pm 5,75

Çizelge 5.15. İstasyon Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	5,1	44,37	6,21	31,06	54,42
Ocak 2016	5,5	47,85	6,70	33,50	58,68
Şubat 2016	6,3	54,81	7,67	38,37	67,22
Mart 2016	7,3	63,51	8,89	44,46	77,89
Nisan 2016	9,2	80,04	11,21	56,03	98,16
Mayıs 2016	7,3	63,51	8,89	44,46	77,89
Haziran 2016	10,0	87,00	12,18	60,90	106,70
Temmuz 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ağustos 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Eylül 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ekim 2016	9,5	82,65	11,57	57,86	101,36
Kasım 2016	11,2	97,44	13,64	68,21	119,50
Ortalama	8,53±0,64	74,24±5,57	10,39±0,78	51,97±3,90	91,05±6,83

Çizelge 5.16. Dağçeşme Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	7,9	68,73	9,62	48,11	84,29
Ocak 2016	7,7	66,99	9,38	46,89	82,16
Şubat 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Mart 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Nisan 2016	8,2	71,34	9,99	49,94	87,49
Mayıs 2016	9,1	79,17	11,08	55,42	97,09
Haziran 2016	8,4	73,08	10,23	51,16	89,63
Temmuz 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ağustos 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Eylül 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ekim 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Kasım 2016	12,5	108,75	15,23	76,13	133,37
Ortalama	10,15±0,57	88,31±4,92	12,36±0,69	61,81±3,45	108,30±6,04

Çizelge 5.17. Dedeler Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	7,1	61,77	8,65	43,24	75,75
Ocak 2016	6,8	59,16	8,28	41,41	72,55
Şubat 2016	7,3	63,51	8,89	44,46	77,89
Mart 2016	6,6	57,42	8,04	40,19	70,42
Nisan 2016	7,4	64,38	9,01	45,07	78,96
Mayıs 2016	8,6	74,82	10,47	52,37	91,76
Haziran 2016	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Temmuz 2016	8,5	73,95	10,35	51,77	90,69
Ağustos 2016	6,5	56,55	7,92	39,59	69,35
Eylül 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Ekim 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Kasım 2016	9,3	80,91	11,33	56,64	99,23
Ortalama	7,72\pm0,34	67,14\pm2,92	9,40\pm0,41	46,99\pm2,05	82,33\pm3,58

Çizelge 5.18. Beyköy Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Ocak 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Şubat 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Mart 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Nisan 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Mayıs 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Haziran 2016	8,5	73,95	10,35	51,77	90,69
Temmuz 2016	9,5	82,65	11,57	57,86	101,36
Ağustos 2016	7,5	65,25	9,14	45,68	80,02
Eylül 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ekim 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Kasım 2016	10,5	91,35	12,79	63,95	112,03
Ortalama	10,25\pm0,49	89,18\pm4,23	12,48\pm0,59	62,42\pm2,96	109,36\pm5,19

Çizelge 5.19. Ömerbey Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	7,1	61,77	8,65	43,24	75,75
Ocak 2016	7,5	65,25	9,14	45,68	80,02
Şubat 2016	8	69,60	9,74	48,72	85,36
Mart 2016	7,5	65,25	9,14	45,68	80,02
Nisan 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Mayıs 2016	7,2	62,64	8,77	43,85	76,82
Haziran 2016	8,1	70,47	9,87	49,33	86,42
Temmuz 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ağustos 2016	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Eylül 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Ekim 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Kasım 2016	13,4	116,58	16,32	81,61	142,97
Ortalama	9,07±0,57	78,88±4,99	11,04±0,70	55,22±3,49	96,74±6,12

Çizelge 5.20. Kavaklı Mahallesi için alınan ölçüm sonuçları ve hesaplanan EEDH değerleri.

Ölçüm Zamanı	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
Aralık 2015	9	78,30	10,96	54,81	96,03
Ocak 2016	9,2	80,04	11,21	56,03	98,16
Şubat 2016	9,7	84,39	11,81	59,07	103,50
Mart 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Nisan 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Mayıs 2016	11	95,70	13,40	66,99	117,37
Haziran 2016	9,1	79,17	11,08	55,42	97,09
Temmuz 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ağustos 2016	10	87,00	12,18	60,90	106,70
Eylül 2016	12	104,40	14,62	73,08	128,04
Ekim 2016	13	113,10	15,83	79,17	138,71
Kasım 2016	14,3	124,41	17,42	87,09	152,58
Ortalama	11,19±0,51	97,37±4,48	13,63±0,63	68,16±3,14	119,41±5,49

Çizelge 5.1 ile Çizelge 5.20 arasında Tavşanlı İlçe merkezinde bulunan 20 mahallede gama doz hızı ölçümleri ile ilgili sonuçlar verilmiştir. Çizelgelerin birinci sütunu ölçüm zamanını, ikinci sütun ise kullandığımız dedektör ile aldığımız IDH ölçümlerini göstermektedir. Üçüncü sütunda SDH, (5.1) eşitliği kullanılarak nGy/h birimi cinsinden hesaplanmıştır. Dördüncü sütunda EEDH hesaplamaları (5.3) eşitliğine göre MF=0,2 alınarak, beşinci sütunda ise (5.4) eşitliğine göre MF=1 alınarak nSv/h birimi cinsinden hesaplama sonuçları verilmiştir. Altıncı sütundaki EEDH hesaplamaları ise (5.2) eşitliğine göre yıllık bazda $\mu\text{Sv/yıl}$ birimi cinsinden yapılmıştır. Son satırda her bir ölçüm noktası için 12 aylık süre ile alınan ölçümlerin ortalaması standart sapma ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.21. Tavşanlı İlçe merkezinde ölçüm alınan 20 mahallenin 12 aylık IDH, SDH ve EEDH ortalamaları.

S.No	Ölçüm Noktası	IDH ($\mu\text{R/h}$)	SDH (nGy/h)	EEDH (nSv/h) MF=0,2	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) MF=0,2
1	Yeni	12,83±0,63	111,65±5,44	15,63±0,76	78,16±3,81	136,93±6,68
2	Moymul	12,43±0,62	108,10±5,37	15,13±0,75	75,67±3,76	132,57±6,58
3	D.Hastanesi	8,33±0,39	72,43±3,43	10,14±0,48	50,70±2,40	88,83±4,21
4	Ulu Camii	13,92±0,57	121,08±4,96	16,95±0,69	84,75±3,47	148,49±6,08
5	Karakova	10,02±0,73	87,15±6,39	12,20±0,89	61,00±4,47	106,87±7,83
6	Çardaklı	9,98±0,93	86,86±8,05	12,16±1,13	60,80±5,64	106,52±9,87
7	Ada	9,47±0,40	82,36±3,50	11,53±0,49	57,65±2,45	101,01±4,29
8	Çırçırçeşme	8,08±0,34	70,33±2,99	9,85±0,42	49,23±2,09	86,25±3,67
9	Hanımçeşme	9,57±0,59	83,23±5,14	11,65±0,72	58,26±3,60	102,07±6,30
10	Y.Beyazıt	8,63±0,74	75,11±6,47	10,52±0,91	52,58±4,53	92,11±7,93
11	Subaşı	8,20±0,37	71,34±3,23	9,99±0,45	49,94±2,26	87,49±3,96
12	Bağlık	9,43±0,63	82,00±5,51	11,48±0,77	57,40±3,86	100,56±6,76
13	Çukurköy	10,93±0,65	95,12±5,62	13,32±0,79	66,58±3,93	116,66±6,89
14	Durak	11,18±0,54	97,30±4,69	13,62±0,66	68,11±3,28	119,32±5,75
15	İstasyon	8,53±0,64	74,24±5,57	10,39±0,78	51,97±3,90	91,05±6,83
16	Dağçeşme	10,15±0,57	88,31±4,92	12,36±0,69	61,81±3,45	108,30±6,04
17	Dedeler	7,72±0,34	67,14±2,92	9,40±0,41	46,99±2,05	82,33±3,58
18	Beyköy	10,25±0,49	89,18±4,23	12,48±0,59	62,42±2,96	109,36±5,19
19	Ömerbey	9,07±0,57	78,88±4,99	11,04±0,70	55,22±3,49	96,74±6,12
20	Kavaklı	11,19±0,51	97,37±4,48	13,63±0,63	68,16±3,14	119,41±5,49
Genel Ortalama		10,00±0,58	86,96±5,05	12,17±0,71	60,87±3,54	106,64±6,20

Çizelge 5.21’de ölçüm alınan 20 mahallenin 12 aylık süredeki ortalama IDH, SDH ve EEDH sonuçları verilmiştir. İkinci sütunda ölçüm alınan mahalle isimleri, üçüncü sütunda ölçülen IDH değerleri, dördüncü sütunda hesaplanan SDH değerleri verilmiştir. Beşinci, altıncı ve yedinci sütunda sırasıyla MF=0,2 olacak şekilde birim saatte, MF=1 olacak şekilde gene birim saatte ve MF=0,2 olacak şekilde yıllık bazda EEDH sonuçları verilmiştir. Son satırda ise Tavşanlı İlçesi için IDH, SDH ve EEDH sonuçlarının genel ortalaması görülmektedir. Çizelge incelendiğinde en düşük EEDH değerinin Dedeler mahallesinde, en yüksek değer ise Ulu Cami mahallesinde olduğu görülmektedir. Tavşanlı İlçesinin genel ortalaması ise $106,64 \pm 6,20$ $\mu\text{Sv/yıl}$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.22. Türkiye’nin farklı şehirlerindeki EEDH değerleri.

Kaynakça	Yer	EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$)
(Cengiz, 2017)	Kars-Selim	87,10
(Erdoğan ve Manisa, 2016)	Konya-Ilgın	132,90
(Koby vd., 2014)	Artvin	214,50
(Turhan vd., 2011)	Çanakkale-Ayvacık	96,50
(Karahana, 2010)	Bursa	110,40
(Kurnaz vd., 2010)	Trabzon	73,83
(Taşkın vd, 2009)	Kırklareli	144
(Bozkurt vd., 2007)	Şanlıurfa	74,70
(UNSCEAR, 2000)	Dünya	73,60
Bu Çalışma	Kütahya-Tavşanlı	106,64

Çizelge 5.22’de Türkiye’de açık havada EEDH ($\mu\text{Sv/yıl}$) ölçümü yapılan bazı şehirlerde farklı zamanlarda yapılan sonuçlar görülmektedir. Çizelge incelendiğinde, Artvin’deki sonuçların diğer şehirlerdeki sonuçların çok üzerinde olduğu görülmektedir. Tavşanlı’daki EEDH sonuçları Artvin, Konya-Ilgın, Kırklareli ve Bursa’daki sonuçların altındayken, Kars-Selim, Çanakkale-Ayvacık, Trabzon ve Şanlıurfa’daki sonuçların ise üzerindedir.

Çizelge 5.23’te ise TÜBİTAK’ın 1986 yılında kurma çalışmalarına başladığı, havadaki gama radyasyon düzeyindeki artışın algılanması esasına dayanan ve günümüzde eş zamanlı olarak çalışan toplam 193 istasyonun yer aldığı RESA sisteminden alınan sonuçlar yer almaktadır. Sistem EEDH’yi nSv/h birimi ve MF=1 olacak şekilde ölçmektedir. Bu değerler Çizelge 5.23’ün üçüncü sütununda verilmiştir. Dördüncü sütunda ise EEDH’nin yıllık bazda ve

MF=0,2 alındığı eşitlik (5.2)'ye göre yapılan hesaplar yer almaktadır. Bu sonuçların verilmesindeki amaç, Çizelge 5.22 ile bir karşılaştırma yapabilmek içindir.

Çizelge 5.23.TAEK'in RESA sistemi ile Kütahya ve Tavşanlı'da almış olduğu ölçümler.

Kaynakça	Yer	EEDH (nSv/h) MF=1	EEDH (µSv/yıl) MF=0,2
(TAEK, RESA, 2016)	Kütahya Merkez	140	245,28
(TAEK, RESA, 2016)	Tunçbilek	90	157,68
(TAEK, RESA, 2016)	Seyitömer	170	297,84
(TAEK, RESA, 2016)	Türkiye	96	168,19
Bu Çalışma	Kütahya-Tavşanlı	60,87	106,64

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, İç Ege Bölgesinde yer alan Kütahya'nın kuzeyinde bulunan Tavşanlı İlçe merkezinde açık havadaki gama doz hızları ölçümleri ve bunların eşdeğer doz hızları hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Çizelge 5.23'ün üçüncü sütununda verilen TAEK'in RESA sistemi ölçümlerine göre Kütahya-Merkez ve Seyitömer'deki değerlerin Türkiye ortalamasının üzerinde olması ve Tunçbilek'teki değerlerin de Türkiye ortalamasında bulunması nedeniyle Tavşanlı İlçe merkezinde gama doz hızı ölçümlerinin yapılması planlanmıştır. Dördüncü bölümde belirtildiği gibi Tavşanlı'nın ve çevresinin zengin yer altı kaynaklarına sahip olması ve Türkiye'nin en önemli linyit rezervlerini bulunduran yerlerden birisi olması sebebiyle havadaki gama doz hızı ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca Tavşanlı'da bölgenin önemli iki tane termik santrali Tunçbilek ve Seyitömer Termik Santralleri mevcuttur.

Ölçümler LUDLUM marka seyyar NaI(Tl) dedektörü ile Tavşanlı ilçe merkezinde bulunan 20 mahallede Aralık 2015 – Kasım 2016 tarihleri arasında 12 aylık sürede yapılmıştır. Cihaz ile havadaki gama ışınlanma doz hızları (IDH) $\mu\text{R/h}$ birimi cinsinden ölçülmüş, eşitlik (5.1) ile soğurulan gama doz hızları (SDH) nGy/h birimi cinsinden hesaplanmıştır. Daha sonra gamaların biyolojik olarak etkinliğini ortaya koyan etkin eşdeğer doz hızları (EEDH) hem saatlik olarak nSv/h birimi cinsinden hem de yıllık olarak $\mu\text{Sv/yıl}$ birimi cinsinden hesaplanmıştır. Bütün ölçüm ve hesaplama sonuçları Çizelge 5.1 ile Çizelge 5.20 arasında verilmiştir.

Çizelge 5.21'de 20 mahalledeki EEDH sonuçlarının $82,33 \mu\text{Sv/yıl}$ ile $148,49 \mu\text{Sv/yıl}$ arasında değiştiği, en düşük sonucun Dedeler Mahallesi'nde en yüksek sonucun ise Ulu Camii Mahallesi'nde olduğu görülmüştür. Çizelge 5.22'den anlaşıldığı gibi Tavşanlı genel ortalaması $106,64 \mu\text{Sv/yıl}$ olarak elde edilmiştir. Bu sonucun da UNSCEAR'ın dünya ortalaması olan $73,6 \mu\text{Sv/yıl}$ 'dan yaklaşık 1,5 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Linyit yataklarının fazla olduğu Konya-İlgin'daki sonuçlarla (Erdoğan ve Manisa, 2016) karşılaştırıldığında ise daha düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 5.23'ten anlaşıldığı üzere Tavşanlı İlçe merkezi EEDH sonuçları hem Türkiye ortalamasının hem de Kütahya-Merkez değerlerinin altında yer almaktadır.

Tavşanlı İlçe merkezindeki gama doz hızı sonuçları dünya ortalamasından fazla ve Türkiye ortalamasından ise daha düşük olarak elde edilmiştir. Tavşanlı için daha iyi atmosferik radyasyon değerlendirmesi yapılabilmesi için şehir merkezindeki gama doz hızları ile birlikte atmosferik radon yoğunluğunun da belirlenmesi gerekmektedir. Şehirdeki gama doz hızı

düzeylerini kontrol edebilmek için TAEK'in kurduđu RESA istasyonlarıyla birlikte ilçe merkezinde de sürekli ölçümler almak gerekmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Asere, A.M. ve Ajayi, I.R., (2017). Estimation of outdoor gamma dose rates and lifetime cancer risk in Akoko Region, Ondo State, Southwestern Nigeria, IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 11(5), 49-52.

Billon, S., Morin, A., Caer, S., Baysson, H., Gambard, J.P., Backe, J.C., bütün yazarlar. (2005). French population exposure to radon, terrestrial gamma and cosmic rays.

Bossey, P., Cinelli G., Hernandez-Ceballos, M., Cernohlawek, N., Gruber, V., Dehandschutter, B., bütün yazarlar., (2017). Estimating the terrestrial gamma dose rate by decomposition of the ambient dose equivalent rate, Journal of Environmental Radioactivity, 166, 296-308.

Bozkurt, A., Yorulmaz, N., Kam, E., Karahan, G. ve Osmanlıoğlu, A.E. (2007). Assessment of environmental radioactivity for Şanlıurfa region of southeastern Turkey, Radiation Measurements, 42, 1387-1391.

Cengiz, G. (2017). Selim İlçesinin Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Düzeyleri ve Radyolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (1), 37-47.

Clouvas, A., Xanthos, S. ve Antonopoulos-Domis, M., (2004). Radiological maps of outdoor and indoor gamma dose rates in Greek urban areas obtained by in situ gamma spectrometry, Radiation Protection Dosimetry, 112 (2), 267-275.

Çine, A. ve Kürkcüoğlu M.E. (2014). Isparta il merkezindeki okullarda havadaki gama doz hızı ölçümleri, ADIM Fizik Günleri III, 17-18 Nisan 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Değerlier, M. (2007). Adana ili ve çevresinin çevresel doğal radyoaktivitesinin saptanması ve doğal radyasyonların yıllık etkin doz eşdeğerinin bulunması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Deniz, K., Dönmez, A., Işık, U., Çetinkaya, H., Çalık, A.E. ve Manisa, K. (2015). Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde açık havadaki gama doz hızı ölçümleri, ADIM Fizik Günleri IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Dönmez, A., Deniz, K., Işık, U., Çetinkaya, H., Çalık, A.E. ve Manisa, K. (2015). Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde bina içi gama doz hızı ölçümleri, ADIM Fizik Günleri IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Eslami, A., Shahsavani, A., Sagni, M.H., Akhoondi, L. ve Goorrani, A., (2016). Outdoor gamma radiation measurement in order to estimate the annual effective dose and excess lifetime cancer risk for residents of Tehran, Iran, Journal of Air Pollution and Health, 1(4), 243-250.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Erdoğan, M. ve Manisa, K. (2016). Assessment of Outdoor Terrestrial Gamma Dose Rates in the Konya-İlgin-Çavuşçu Lignite Deposit (Turkey), Süleyman Demirel University Journal of Science, 11 (2), 89-93.

Erdoğan, M., Tandırcıoğlu T.N., Akdemir, M. ve Abaka, M. (2015). Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Yerleşkesindeki bina içi gama doz hızları, ADIM Fizik Günleri IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Eroğlu, G. ve Şahiner, M., (2017). Dünyada ve Türkiye’de Uranyum ve Toryum, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Maden Serisi:3, Ankara.

Furukawa, M. ve Shingaki, R. (2012). Terrestrial gamma radiation dose rate in Japan estimated before the 2011 great east Japon earthquake, Radiation Emergency Medicine, 1(1-2), 11-16.

Garba, N.N., Ramli, A.T., Saleh, M.A., Sanusi, M.S ve Gabdo, H.T., (2015). Terrestrial gamma radiation dose rates and radiological mapping of Terengganu state, Malaysia, J. Radioanal Nucl. Chem., 303, 1785-1792.

Gholami, M., Mirzaei, S. ve Jomehzadeh, A. (2011). Gamma background radiation measurement in Lorestan province, Iran, Iran. J. Radiat. Res., 9(2), 89-93.

Hossain, A., Nizam Q.M.R. ve Rahman, M.M. (2014). Measurement Of Absorbed Outdoor Dose Rate Due To Gamma Radiation In Northern Part Of Chittagong City Corporation, International Journal of Scientific & Technology Research, 3 (5), 98-100.

IAEA, International Atomic Energy Agency, (1996). Radiation Safety, IAEA Division of Public Information, 96-00725.

James, I.U., Moses, I.F., Vandi, J.N. ve Ikoh, U.E., (2015). Measurement of Indoor and Outdoor Background Ionising Radiation Levels of Kwali General Hospital, Abuja, J. Appl. Sci. Environ. Manage, 19(1), 89-93.

Karahan, G. (2010). Risk assessment of baseline outdoor gamma dose rate levels study of natural radiation sources in Bursa, Turkey, Radiation Protection Dosimetry, 142 (2-4), 324-331.

Kobyay, Y., Taşkın, H., Yeşilkanat C.M. ve Çevik U. (2015). Evaluation of Outdoor Gamma Dose Rate and Cancer Risk in Artvin Province, Turkey, Human and Ecological Risk Assessment, 21, 2077-2085.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Okumuşoğlu N.T. ve Yeşilbağ, Y.Ö. (2010). Indoor And Outdoor Gamma Dose Measurements For Specific Counties of Trabzon-Turkey, 7th International Conference of the Balkan Physical Union, AIP Conference Proceedings, 1203, 379-381.

LUDLUM Measurements, (2016). Inc. Ludlum Model 2241-3RK Technical Manuel, Section 1, 1-3.

Micheal, F., Pappas, Y. ve Tsertos, H. (2010). Gamma radiation measurements and dose rates in commonly used building materials in Cyprus, Radiation Protection Dosimetry, 142 (2-4), 282-291.

Monica, S., Visnu Prasad, A.K., Soniya, S.R. ve Jojo P.J., (2018), Estimation of in door and outdoor effective doses and life time cancer risk from gamma dose rates along the coastal regions of Kollam district, Kerala, Radiation Protection and Environment, 39 (1), 38-43.

MTA, (2018). Kütahya ili maden ve enerji kaynakları, www.mta.gov.tr.

Quindos, L.S., Fernandez, P.L., Rodenas, C. ve Soto, J., (1992). Estimate of external gamma exposure outdoors in Spain, Radiation Projection Dosimetry, 45 (1/4), 527-529.

Ononugbo, C.P. ve Mgbemere, C.J. (2016). Dose rate and annual effective dose assessment of terrestrial gamma radiation in Notre Fertilizer Plant, Onne, Rivers State, Nigeria, International Journal of Emerging Research in Management & Technology, 5 (9), 30-35.

Ononugbo, C.P., Avwiri, G.O. ve Tutumeni, G. (2015). Estimation of indoor and outdoor effective doses from gamma dose rates of residential buildings in Emelogu Village in Rivers State, Nigeria, International Research Journal of Pure and Applied Physics, 3(2), 18-27.

Özger, A. G. (2005). Ceyhan, Yumurtalık ve Pozantı bölgelerinin doğal radyoaktivite düzeylerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Pişkin, A., (2016). Ofis Çalışanlarının Radon Gazı Maruziyetinin Nükleer İz Dedektör Yöntemine Göre Belirlenmesi ve Sağlık Üzerine Etkileri, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.

Rafique, M. (2013). Ambient indoor/outdoor gamma radiation dose rates in the city and at high altitudes of Muzaffarabad (Azad Kashmir), Environ Earth Sci, 70, 1783-1790.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Spix, C., Grosche, B., Bleher, M., Kaatsch, P., Kreisel, P. ve Blettner, M., (2017). Background gamma radiation and childhood cancer in Germany: an ecological study, *Radiat. Environ. Biophys.*, 56, 127-138.

TAEK, RESA, (2016). http://www.taek.gov.tr/tr/uygulama/resa_doiz/tum_iller.php

TAEK, (2018). www.taek.gov.tr.

Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzođlu, A., Hıdıroğlu, S. ve Karahan, G. (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kırklareli, Turkey. *J. Environ. Radioact.* 100, 49–53.

Tozun, F., Çine, A. ve Kürkçüođlu M.E. (2014). Isparta il merkezine ait gama doz hızı düzeylerinin yıllık olarak incelenmesi ve haritalandırılması, ADIM Fizik Günleri III, 17-18 Nisan 2014, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Turhan, Ş., Arıkan, I. H., Ođuz, F., Özdemir, T., Yücel, B., Varinliođlu, A. ve Köse, A. (2012). Car-bone survey of natural background gamma dose rate in Çanakkale Region, Turkey, *Radiation Protection Dosimetry*, 148 (1), 45-50.

TÜİK, (2018). Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr.

UNSCEAR, (2000). Report, United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiations, New York.

Zarghani, H. ve Jafari, R. (2017). Assessment of Outdoor and Indoor Background Gamma Radiation, the Annual Effective Dose and Excess Lifetime Cancer Risk in Birjand, Iran, *Jundishapur J Health Sci.*, 9 (3), 1-4.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DENİZ, Kevser
Doğum tarihi ve yeri : 25.10.1983 - Tavşanlı
e-mail : kevserdeniz999@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi, Fizik Bölümü	2014
Lise	Tavşanlı Atatürk Anadolu Lisesi	2001

İş Denevimi

Yıl	2018	Yer	Görev
	Arslanbey Mesleki Teknik Anadolu Lisesi	Tavşanlı	Fizik Öğretmeni

Yayınlar

1. Deniz, K., Dönmez, A., Işık, U., Çetinkaya, H., Çalık, A.E. ve Manisa, K. (2015). Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde açık havadaki gama doz hızı ölçümleri, ADIM Fizik Günleri IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
2. Dönmez, A., Deniz, K., Işık, U., Çetinkaya, H., Çalık, A.E. ve Manisa, K. (2015). Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesinde bina içi gama doz hızı ölçümleri, ADIM Fizik Günleri IV, 28-29 Mayıs 2015, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
3. Deniz, K., Çalık, A.E., Manisa, K. ve Çetinkaya, H. (2016). Outdoor gama dose rate measurements in Tavşanlı County, Kütahya. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress, 6-9 September 2016, Bodrum, Turkey.

