T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE KULLANILAN YAPAY GÜBRELERDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMÜ VE TOPRAKTAKİ ETKİSİ

Mehmet AÇIK

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Temel Kavramlar ve Radyoaktivite 2
1.2. Radyoaktivitenin Tarihçesi 3
1.3. Radyasyon(Işınım) 4
1.4. Radyasyon Kaynakları 4
1.4.1. Doğal radyasyon kaynakları 5
1.4.2. Yapay radyasyon kaynakları 6
1.5. Radyasyon Çeşitleri 7
1.5.1. İyonlaştırıcı radyasyon ve çeşitleri 7
1.5.1.1. Alfa parçacıkları 8
1.5.1.2. Beta parçacıkları 8
1.5.1.3. Nötronlar 9
1.5.1.4. X ışınları 9
1.5.1.5. Gama ışınları 11
1.5.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ve çeşitleri 12
1.5.2.1. Radyo dalgaları 13
1.5.2.2. Mikrodalgalar 13
1.5.2.3. Kızılötesi dalgalar 13
1.5.2.4. Görünür ışık 14
1.5.2.5. Morötesi dalgalar 14
1.6. Elektromanyetik Spektrum 14
1.7. Radyasyon Birimleri 16
1.7.1. Aktivite birimi 17
1.7.2. Işınlanma doz birimi 17
1.7.3. Soğrulmuş doz 17
1.7.4. Eşdeğer doz 17
1.8. Radyoaktif Bozunmalar 19
1.8.1. Alfa bozunması 19
1.8.2. Beta bozunması 19
1.8.3. Elektron yakalama 20
1.8.4. Gama ışıması 20
1.9. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi 21
1.9.1. Fotoelektrik etki 21
1.9.2. Compton saçılması 23
1.9.3. Çift oluşumu 24
1.10. Doğal Radyoaktif Seriler 24
1.10.1. Radyum grubu 25
1.10.2. Aktinyum serisi 26
1.10.3. Toryum serisi 27
1.10.4. Neptünyum serisi 28
1.11. Potasyum 29
1.12. Yarı Ömür Belirlenmesi 30
1.13. Radyasyonun Bulaşma Yolları 31
1.14. Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri 32
1.14.1. Radyasyonun insan sağlığına olumlu etkileri 32
1.14.2. Radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkileri 33

1.15.Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprak Özellikleri ve Gübre Kullanımı 33
1.16. Gübreler 35
1.16.1. Doğal Gübreler 35
1.16.2. Yapay Gübreler 36
1.16.2.1. Yapay gübrelerin yararları 37
1.16.2.2.Yapay gübrelerin zararları 38
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 39
3. MATERYAL ve YÖNTEM 45
3.1. Kullandığımız Sodyum İyodür Detektörü, Enerji ve Verim Kalibrasyonu 45
3.2.Ölçme İşlemi ve Ölçmede Hata 48
3.3. Analizimiz 49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 55
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 60
KAYNAKLAR 61
ÖZGEÇMİŞ 63

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE KULLANILAN YAPAY GÜBRELERDEKİ DOĞAL RADYOAKTİVİTE ÖLÇÜMÜ VE TOPRAKTAKİ ETKİSİ

Mehmet AÇIK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğrt. Üyesi. Mehmet KOŞAL
Yıl: 2022, Sayfa: 63

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde (GAP) kullanılan yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite ölçümü yapılarak topraktaki etkisi incelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi verimli toprak yapısı ve elverişli tarım arazileri ile ön plana çıkmaktadır. Bu bölgede bitkilerin topraktan alması gereken besin ihtiyacı tamamen karşılanamadığı için gübrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Gübreler yapısı itibariyle doğal ve yapay gübreler olmak üzere iki çeşittir. Çiftçilerin daha fazla verim elde etmek için kullandığı yapay gübreler gün geçtikçe artış göstermektedir. Daha profesyonel ve yapay gübrelerin içeriklerinin bilinerek daha bilinçli tarım yapılabilmesi için çiftçilerin kullandıkları yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite miktarının dünya standartlarının içerisinde olup olmadığı belirlenmiştir. Satış yapan gübre bayilerinden yapay gübreler temin edilerek numuneler kurutma işleminden sonra nemi alınarak makine ile ezme işlemi yapılmış ve kaplara ağızları kapatılarak konulmuştur. Belli bir süre bekleme işleminden sonra NaI(Tl) Gama Radyasyon detektörü kullanılarak numunelerdeki ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K aktivite değerleri bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: GAP, Doğal Radyoaktivite, Yapay Gübre, Aktivite

ABSTRACT

MSc Thesis

NATURAL RADIOACTIVITY MEASUREMENT OF ARTIFICIAL FERTILIZERS USED IN SOUTHEASTERN ANATOLIA REGION AND ITS EFFECT ON SOIL

Mehmet AÇIK

Harran University
Institute of Science
Department of Physics

Supervisor: Dr. Öğrt. Üyesi. Mehmet KOŞAL
Year: 2022, Page: 63

In this study, the effect on the soil was investigated by measuring the natural radioactivity in the artificial fertilizers used in the Southeastern Anatolia Region. The Southeastern Anatolia Region stands out with its fertile soil structure and favorable agricultural lands. In this region, fertilizers are needed because the nutrient needs of the plants from the soil cannot be met completely. Fertilizers are of two types as natural and artificial fertilizers. The artificial fertilizers used by formers to obtain more yield are increasing day by day. It has been determined whether the amount of naturel radioactivity in artificial fertilizers used by farmers is within world standards in order to make more conscious agriculture by knowing the contents of more professional and artificial fertilizers. Artificial fertilizers were obtained from the fertilizers dealers selling to the Southeastern Anatolia Region, and the samples were dehumidified after drying, crushed by machine and put into the containers with their mouths closed. After waiting for a certain time, the activity values of ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{40}K in the samples were found by using the NaI(Tl) Gamma Radiation detector.

KEY WORDS: Southeastern Anatolia Region, Natural Radioactivity, Artificial Fertilizer, Activity

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının seçimi, planlanmasında ve yürütülmesinde, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve hoşgörüsünden yararlandığım ve beni sabırla dinleyen hertürlü konuda yardımda bulunan değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KOŞAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlanması sırasında bana gerek bilgi, gerekse maddi-manevi her konuda yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlker Can ÇELİK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Sevgi ve desteklerini hiç bir zaman eksik etmeyen iyi ve kötü günlerimde yanımda olan sevgili eşim'e ve güzel kızlarım Zeynep'e ve Feyza'ya sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Radyasyon Kaynakları 5
Şekil 1.2. Radyasyonun Kaynaklara Göre Dağılımı(TAEK) 6
Şekil 1.3. Radyasyon Çeşitleri 7
Şekil 1.4. X Işını Oluşum Tüpü 10
Şekil 1.5. İyonize radyasyonları durduran malzemeler 11
Şekil 1.6. Elektromanyetik dalga 15
Şekil 1.7. Elektromanyetik Spektrum 16
Şekil 1.8. Radyasyon Birimleri 16
Şekil 1.9. Fotoelektrik etki 22
Şekil 1.10. Fotoelektrikte elektron koparılması 22
Şekil 1.11. Compton Saçılması 23
Şekil 1.12. Çift Oluşum Olayı 24
Şekil 1.13. Radyum Grubu Bozunma Serisi 26
Şekil 1.14. Aktinyum Bozunma Serisi 27
Şekil 1.15. Toryum Bozunma Serisi 28
Şekil 1.16. Potasyumun kararlı ve radyoaktif durumları 29
Şekil 1.17. Potasyum-40 Dallanma Oranları 30
Şekil 1.18. Yarı Ömür Biriminde Zaman 31
Şekil 1.19. Güneydoğu Anadolu Bölgesi 33
Şekil 1.20. Toprak Katmanları 34
Şekil 1.21. Yapay Gübre Üretim-Tüketim Karşılaştırması 37
Şekil 2.1. Bazı Gübrelerin Yıllık Kullanım Miktarları 42
Şekil 3.1. Sintilasyon detektörü 45
Şekil 3.2. (a)Numune Öğütme Cihazı (b)Etüv Cihazı 50
Şekil 3.3. Yapay Gübre ve Toprak Numuneleri 51
Şekil 3.4. Bilgisayar Bağlantılı Sintilasyon Detektörü 52
Şekil 3.5. (a)Hassas Terazi (b)Numune Kabı Boş Kütle Ölçümü (c)Dolu Numune Kütle Ölçümü 53
Şekil 4.1. Yapay Gübrelerin ^{226}Ra ve ^{232}Th Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri 56
Şekil 4.2. Yapay Gübrelerin ^{40}K Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri 56
Şekil 4.3. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübrenin ^{226}Ra ve ^{232}Th Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri 58
Şekil 4.2. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübrenin ^{40}K Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri 58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Radyasyon Birimleri ve Dönüşümleri 18
Çizelge 1.2. Radyasyon Çalışanları ve Toplum İçin Doz Sınırları 18
Çizelge 1.3. Doğal Radyoizotoplar 25
Çizelge 1.4. Ağır Elementlerin Bozunma Serilerinin Bazı Özellikleri..... 29
Çizelge 3.1. Enerji Kalibrasyonu İçin Önerilen Radyoaktif Çekirdekler 47
Çizelge 3.2. Numuneler ve Kullanım Amaçları 54
Çizelge 4.1. Çalışmamızda Yapay Gübre Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonları……55
Çizelge 4.2. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübre Örneklerindeki Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonu..... 57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

η	Viskozite
ϕ	İş Fonksiyonu
A	Aktivite
Bq	Becquerel, Radyoaktivite Birimi
C	Işık hızı
Ci	Curie, Radyoaktivite Birimi
E	Enerji
E	Enerji
F	Frekans
F	Frekans
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
Gy	Gray
H	Planck sabiti,
HpGe	Yüksek Çözünürlüklü Germanyum
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
ICRU	Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi
K	Potasyum
NaI	Sodyum İyodür
pH	Potansiyel Hidrojen
R	Röntgen
Si	Silisyum
Sv	Sievert, Eşdeğer Doz Birimi
$t_{1/2}$	Yarılanma Süresi
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
Th	Toryum
Tl	Talyum
U	Uranyum
UNSCEAR	Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi
α	Alfa Parçacığı
B	Beta Parçacığı
γ	Gama Işını
Λ	Dalga boyu
ν	Nötrino

1. GİRİŞ

Fizik, evrendeki doğa olaylarını gözlem ve deneye dayalı olarak inceleyen, madde ve enerji arasındaki etkileşimi temele alan, doğa olaylarını inceleyen pozitif bilim dallarından biridir. Fiziğin tarihsel gelişimine bakıldığında, fizik bilimi teknoloji ile beraber ilerlemektedir. Klasik fizik ve modern fizik olarak iki dönemde incelenen fiziğin çok geniş çalışma alanları olduğu için alt dalları meydana gelmiş ve bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Fiziğin en önemli alt dallarından biri olan nükleer fizik ilk nükleer reaktörün çalışması ile ivme kazanmış ve günümüzde yapılan deneysel ve bilimsel çalışmalarla alanında önemi daha da artarak devam etmektedir. Nükleer fizik(çekirdek fiziği) denilince atomun çekirdeğinde meydana gelen her türlü nükleer reaksiyonları inceleyen bir bilim dalı belirtilmektedir. Atom çekirdeğinin 1911 yılında Ernest Rutherford tarafından keşfedilmesi ile çekirdeğe dair çeşitli izlenimler daha fazla ortaya çıkmaya başladı. Nükleer fizik radyasyonu, radyasyonun canlılar üzerindeki etkisini azaltmaya ve canlıları korumaya yönelik çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Canlılar sürekli olarak yaşamları boyunca yaşadıkları çevreden direkt veya dolaylı olarak radyasyona maruz kalırlar. Canlılara etki eden radyasyon doğal ve yapay radyasyondan kaynaklanmaktadır. Doğal radyasyonun etkisi yapay radyasyona oranla çok fazladır. Doğal radyasyonun önemli bir kısmı; kozmik ışınlar, güneş ve topraktan gelmektedir. Yapay radyasyon ise insanın etkisi ile ortaya çıkan tüketici ürünleri, medikal uygulamalar, nükleer tesisler ve nükleer tıpta ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmamda Güneydoğu Anadolu bölgesinde kullanılan yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite değerlerinin belirlenerek topraktaki etkisi incelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kullanılan yapay gübreler Şanlıurfa'daki çeşitli gübre bölge bayilerinden toplanarak numunelere konulmuş ve nemlerinden arındırılarak ölçümler yapılmıştır. Toplanılan yapay gübre numuneleri doğal radyoaktif element olan ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K gama spektroskopi yöntemiyle radyoaktivite değerleri Şanlıurfa Harran Üniversitesi Nükleer Fizik Araştırma Laboratuvarında NaI(Tl) Sintilasyon detektörü ile ölçülmüştür. Bu çalışmadaki hedef yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite değerlerini belirlemek ve dünya standartları değerlerine sahip olup olmadığını incelemektir (Çelik, 2016).

1.1. Temel Kavramlar ve Radyoaktivite

Atom fikrini ilk ortaya atan kişi Leucippus olsa da Leucippus'un öğrencisi olan Democritus hocasının bu fikrini uyarlamıştır. Democritus'a göre ''evren iki öğeden oluşur, bunlar atomlar ve atomların hareket ettiği boşluktur'' demiştir. Democritus atomların sonsuz sayıda olduğunu öngörmüştür. Democritus' un ortaya attığı atom teorisi 17. Yüzyılın sonlarına doğru bir varsayım olarak kalmıştır. Modern atom teorisinden önce atomun yapısı ve yörünge olaylarının şekillenmesinde Dalton, Thomson ve Rutherford gibi bilim adamları da çeşitli atom modelleri öne sürmüşlerdir. Dalton atomun top modelini öne sürerken atomun çok küçük kürelerden oluştuğunu belirtmiştir. Bu küreler yapı ve ağırlık bakımından farklılıklar gösterir ve bunların çeşitli oranlarda birleşmesi ile moleküller oluşur. Thomson ise atomun üzümlü kek modelini dile getirmiştir. Thomson 'a göre atom hala küçük bir küredir ancak yapısında eksi(-) yükler elektron olarak bir kekteki üzüm taneleri gibi belirtilmiş ve kekin hamur kısmı için ise artı(+) yükleri ifade ettiğini söylemiştir. Atom modelleri içerisinde önemli bir yere sahip Rutherford' un atom modelinde ise ince altın levhayı alfa taneciklerine maruz bırakarak, alfa taneciklerinin nasıl hareket ettiğini incelemiştir. Beklentinin aksine çoğu alfa taneciğinin arka tarafa sapmadan geçtiğini gözlemlemiştir. Rutherford bu gözleme göre atom içinde çok büyük boşlukların olması gerektiğini, deney sırasında bir kısım alfa taneciklerinin de saçıldığını bu sonuca göre de artı yükün merkezde toplandığını dile getirmiştir. Artı yükler bir merkezde toplanıyorsa, eksi yüklerde büyük boşluklar oluşturacak şekilde uzak yörüngelerde gezegenlerin güneş çevresinde dolanması gibi hareket etmektedir. Bu çıkarımdan dolayı Rutherford' un atom modeli atomun gezegen modeli olarak anılmaktadır (Çelik, 2016).

Radyoaktivite ile ilgili çalışmalar 1896 yılında Fransa da Antoine Henry Becquerel'in bazı atomların radyoaktifliğini keşfetmesi ve 1898 yılında fizikçi olan Marie Curie ile eşi Pierre Curie tarafından radyoaktivite alanında ileri çalışmalar yapılarak radyoaktif maddelerin daha iyi açıklanmasını ve anlaşılmasını sağlamış böylelikle nükleer fiziğin temelleri oluşmaya başlamıştır. Nükleer fizikteki teorik ve deneysel çalışmalar 20.yüzyılda fizik biliminin gelişmesinde aktif ve önemli bir rol

oynamaktadır. Nükleer fizik laboratuvarlarında yapılan özellikle deneysel çalışmalar maddeyi oluşturan temel parçacık olan kuarkların etkileşmesinden oluşan çeşitli problemlerin açığa çıkmasında ve evrenin ilk oluşumu olan Big Bang' den sonra meydana gelen olayların anlaşılması için nükleer fizikteki deneysel çalışmalar önemli bir yere sahiptir. Günümüzde nükleer fizik modern dünyamıza bir şekilde girmiş olup çeşitli bilim dalları olan kimya, tıp, arkeoloji, astrofizik, kozmoloji, jeoloji ve mühendislik gibi bilim dallarını da etkilemiştir. Ayrıca nükleer fizik sanayi, güç üretimi ve kriminoloji alanlarında da etkisini gün geçtikçe daha çok hissettirmektedir (Yavuzkanat, 2010).

1.2. Radyoaktivitenin Tarihçesi

Antoine Henry Becquerel müdürü olduğu Paris Doğa Tarihi müzesindeki bazı mineral ve taşların X ışını yayıp yaymadığını inceliyordu. Güneşten ışık alan taşların, aldıkları ışığı farklı dalga boyunda geri verdiğini gördü. Bu olaya floresans olayı denilmektedir. Bazı taşların ise güneş ışığına maruz kaldıktan sonra bile karanlıkta ışık yaymaya devam ettiklerini gördü. Bu olaya da fosforesans denilmektedir. Antoine Henry Becquerel zaman içinde cam ve seramikleri renklendirmek için kullanılan uranyum elementinin X ışını yayabileceğini düşündü. Güneş ışığına maruz bıraktığı uranyum tuzlarını siyah kâğıtlara sarıp fotoğraf filminin yanına bıraktı. Uranyum tuzlarından çıkan ışınların fotoğraf filmini renklendirdiğini görmüş oldu. Marie Curie ise Henry Becquerel 'in bulmuş olduğu ışınları daha detaylı bir şekilde incelemeye karar verdi ve Marie Curie radyoaktif iki element bularak bunlara polonyum ve radyum isimlerini vermiş oldu. Marie Curie 'ye çalışmalarında eşi Pierre Curie de yardımcı oluyordu. 1903 yılında Henry Becquerel ve Curie ailesi(Marie ve Pierre) Nobel fizik ödülünü almış oldular (Görür, 2016).

Ernest Rutherford da radyoaktivite üzerine çalışmalar gerçekleştirdi. Çalışmaları sonucunda alfa(α) ve beta(β) ışınlarını keşfetti. Alfa ve beta radyoaktif bozunumlarının elementin doğasını değiştirdiği ve alfa parçacıklarının aslında Helyum(He) çekirdeği olduğunu gördüler. Aynı zamanda gama(γ) ışınlarının da elektromanyetik radyasyon (enerjik fotonlar) olduğunu tanımlandı (Lilley, 2018).

Rutherford bir elementin bir başka elemente dönüşümünde radyoaktivitenin rolünü kanıtlamış oldu. Rutherford, alfa parçacıklarının madde içinden geçişi ile ilgili çalışmaları sırasında çok önemli bir deneye imza atarak atomun yapısıyla alakalı önemli bilgiler elde etti. Deneyinde çok ince altın folyolara gönderilen alfa parçacıklarının bazen büyük açılarla ve hatta geri yönde geldiği gibi saptığını fark etti. Rutherford buradan yola çıkarak aslında atomun içinin boşluklu yapıdan ziyade içerisinde çekirdeğin olduğunu fark etti. Çekirdekten bozunmaları sonucu ortaya çıkan gama ışımaları da günümüzde radyasyon tarihinin en önemli etkeni olmuş oldu (Yavuzkanat, 2016).

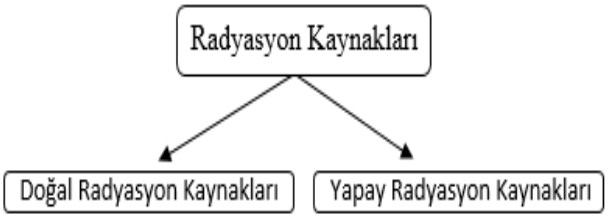
1.3. Radyasyon(Işınım)

Bir atomun çekirdeğinde bulunan proton ve nötron sayıları arasındaki dengesizlikten dolayı atom çekirdeğinde enerji fazlalığı ortaya çıkar. Buna radyasyon(ışınım) denir. Radyasyon(ışınım) bir enerji çeşididir. Radyasyon boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen bir yapıya sahiptir. Atomun çekirdek kısmında dengeyi sağlayamamış sayıda proton ve nötronu olmayan atomlara ise radyoaktif atomlar denir. Atomun çekirdek kısmında dengeli sayıda proton ve nötron bulundurmamaktan maksat çekirdekten ışıma gerçekleşmesidir. Radyasyon parçacık(partikül) ve elektromanyetik radyasyon olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar. Parçacık tipi radyasyonlar; alfa, beta ve nötron parçacıklarıdır. Elektromanyetik radyasyon ise dalga şeklinde olup belirli bir frekans(f) ve dalga boyuna(λ) sahiptirler. Elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızında hareket eden X ışınları, gama ışınları gibi radyasyon çeşitleridir (Yavuzkanat, 2016).

1.4. Radyasyon Kaynakları

Dünyanın oluşumundan günümüze kadar geçen sürede doğada yerini almış bayağı uzun ömre sahip radyoaktif elementler bulunduğumuz ortamda doğal bir radyasyon seviyesi oluşturmaktadır. Oluşan bu doğal radyasyona bir de nükleer bombaların deneme ve teknolojinin gelişmesiyle kullanılan malzemelerin sayısındaki artış maruz kaldığımız doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirlemede önemli

rol oynamaktadır. Radyasyon yeryüzünde yaşayan bütün canlıların maruz kaldığı hayatın vazgeçilmez bir unsurudur. Yaşadığımız yer, toprağın yapısı, binaların yapımında kullanılan malzeme çeşitliliği, doğal ortam insanoğlunun karşılaştığı radyasyon nedenleridir. Yeryüzündeki canlılar hava, su ve toprak gibi doğal yaşam içerisinde her an radyasyona maruz kalmaktadır. Bu şekilde karşı karşıya kaldığımız radyasyon kaynakları (Şekil 1.1) doğal radyasyon ve yapay radyasyon kaynakları olarak ikiye ayrılır.



Şekil 1.1. Radyasyon Kaynakları

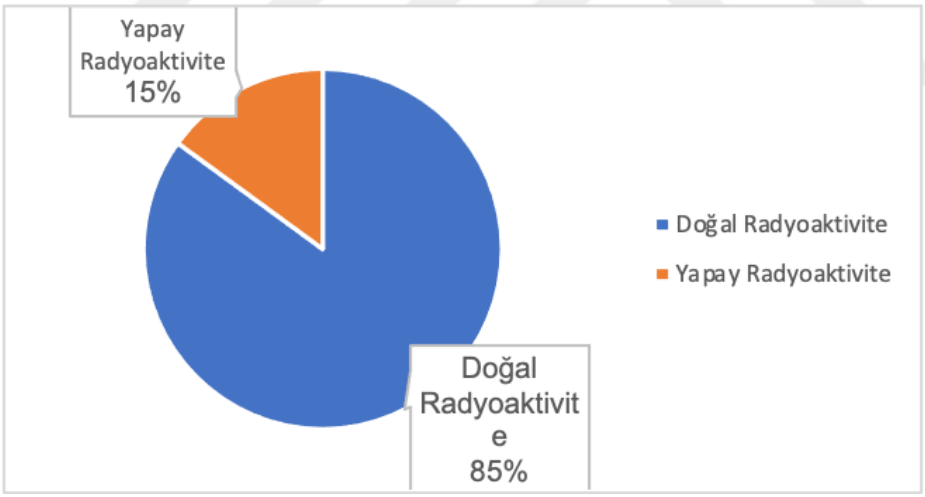
1.4.1. Doğal radyasyon kaynakları

Radyasyon herkes için doğanın bir parçası olarak görülür. Doğal radyasyon kaynaklarından en çok bilineni güneştir. Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre doğal radyasyon dört bölümde incelenmektedir. Bunlar; kozmik radyasyon, karasal radyasyon, solunan radyasyon ve yiyeceklerden aldığımız radyasyondur. Kozmik radyasyon; dünyamıza uzay boşluğundan gelen ve dış atmosferimize ulaşan yüksek enerjili protonlar ile güneş sistemindeki yıldızlardan gelen yüksek enerjili parçacık yağmurudur. Karasal radyasyon; dünyanın yer kabuğunda dünyanın oluşumu sırasında meydana gelen birçok radyoaktif maddeden meydana gelir. Solunan radyasyon; toprakta, besinlerde ve suda bulunan radyoaktif materyallerin soluma yoluyla alınmasıdır. Yiyeceklerden alınan radyasyon ise ^{40}K (Potasyum-40) ve ^{14}C (Karbon-14) gibi radyoaktif elementleri birçok yiyecekle vücudumuza almamızdır. Havada bulunan doğal radyasyon, dünya yüzeyinde oluşmuş çeşitli boşluklardan ortaya çıkan (öncelikli radon gibi zararlı gazlardan), uçak yolculuklarında maruz kalınan kozmik ışımalardan, topraktan yayınlanan uranyum ve toryum gibi ve bunların radyoizotoplarından meydana gelen doğal ışımalarla etkisini göstermektedir. Ayrıca

suda bulunan radyoaktif elementler aracılığı ile doğal radyasyon kaynakları insana etki etmektedir (Görür, 2006).

1.4.2. Yapay radyasyon kaynakları

Yeryüzünde yaşayan canlılar teknolojik gelişmeler ile nükleer endüstri, nükleer bomba denemeleri, sağlıkta tıbbi ışınlamalar, nükleer santrallerden salınan radyoaktif maddeler ve tüketilen ürünlerden dolayı yapay radyasyona maruz kalmaktadır. Yapay radyasyonlar insanlar tarafından üretilmiş olan radyoaktif elementlerin kullanımından kaynaklanmaktadır. Genellikle tedavi ve teşhis amaçlı ışın tedavisi, röntgen, tomografi, sintigrafi çekimlerinde yoğun olarak kullanılır (Bozkurt, 2004). Günümüzde toplam radyasyonun yaklaşık %15'i yapay kaynaklardan kaynaklanmaktadır. İşyerinde mesleki olarak radyasyonla çalışanlar için etkin doz değeri 50mSv/yıl' ı ve art arda beş yılın ortalaması 20mSv'yi geçemez (Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği, 2000).

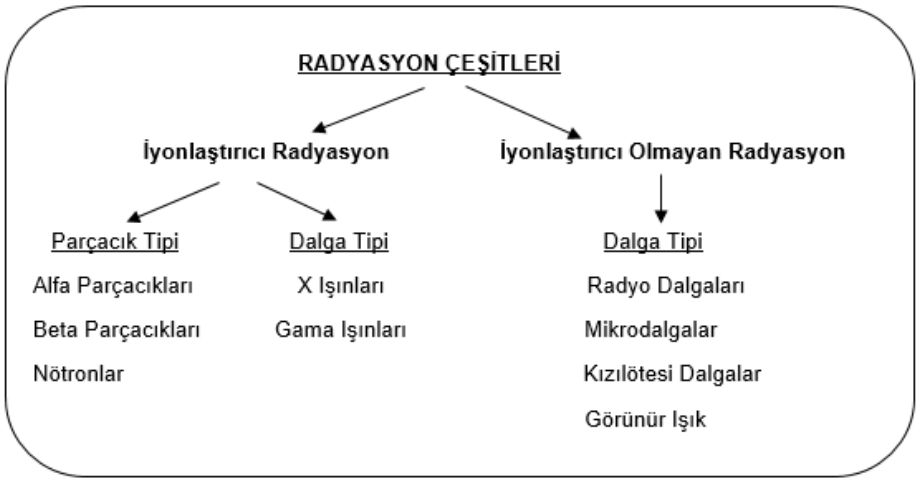


Şekil 1.2. Radyasyonun Kaynaklara Göre Dağılımı(TAEK, 2016)

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu verilerine göre radyasyonun kaynaklara göre dağılımına baktığımızda(Şekil 1.2) yapay radyoaktivite oranı %15 oranında, doğal radyoaktivite ise %85 oranındadır.

1.5. Radyasyon Çeşitleri

Radyasyonları(ışınımları) enerji düzeylerine göre sınıflandırabiliriz. Bütün radyasyon çeşitleri yaptığı ışımalardan dolayı farklı farklı enerjiler yaymaktadırlar. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar yüksek enerji ve düşük enerji seviyelerine sahiptirler. Bu yüzden Şekil 1.3. te elektromanyetik spektrumdaki ışınları yüksek enerji düzeyine göre iyonlaştırıcı radyasyon(parçacık ve dalga tipi) ve düşük enerji düzeyine göre iyonlaştırıcı olmayan radyasyon(dalga tipi) olarak iki grupta inceleyebiliriz (Kabul, 2021)



Şekil 1.3. Radyasyon Çeşitleri (Kabul, 2021)

1.5.1. İyonlaştırıcı radyasyon ve çeşitleri

Atomun çevresinde dolanan elektronu koparark atomu iyonize edebilen radyasyon türüne iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlaştırıcı radyasyon yüksek enerjiye sahip olduğu için de canlı varlıklara zarar verebilir. İyonlaştırıcı radyasyonların enerjisine, kütlesine, türüne ve radyasyon demeti içerisindeki foton sayısına bağlı olarak madde ile etkileşimleri farklı olabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar parçacık ve dalga çeşitleri olarak iki kısma ayrılırlar. Parçacık tipi iyonlaştırıcı radyasyonlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları ve nötronlardır. Dalga tipi radyasyonlar ise X ışınları ve gama ışınlarıdır (Meriç, 2007).

1.5.1.1. Alfa parçacıkları

Doğal radyoaktif maddelerden yayınlanan ışınımlar içerisinde delme gücü en az olan parçacık alfa parçacığıdır. Rutherford 1903 senesinde yaptığı çalışmalarda alfa parçacık yükünün kütlesine oranını, radyumun bozunması sırasında açığa çıkan alfa parçacıklarını manyetik ve elektrik alandaki yön değiştirmesinden faydalanarak belirledi. 1909 yılına gelindiğinde ise Rutherford alfa parçacıklarının helyum çekirdekleri olduğunu ispatladı. Alfa parçacıkları, proton-nötron bölümü az olduğu zaman radyoaktif izotopun çekirdek kısmından çıkan iki nötron ve iki protondan meydana gelen yükü pozitif olan helyum çekirdekleridir. Radyoaktif izotop alfa parçalanması sonucunda kütle numarası dört azalırken, atom numarası iki azalır (Denklem 1.1).

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (1.1) $$

Alfa parçacıkları, belirli radyoaktif maddeler tarafından kendiliğinden yayılma özelliği gösterirler. Fazla giricilik özelliği göstermez, elektrik ve manyetik alanla karşılaştığında negatif kutba doğru yönelim gösterirler. Alfa parçacıkları, bırakıldıkları ortamda hızlı bir şekilde iyonizasyon yaptıkları için fazla mesafe kat edemeden iki elektron yakalayarak helyum atomuna devşirilirler. Havadaki menzil uzunlukları santimetreyi geçemez. Bu parçacıklar bir sayfa ile kolaylıkla durdurulur (Meriç, 2007).

1.5.1.2. Beta parçacıkları

Beta parçacıklarının belirli bir yükü ve kütlesi vardır ve beta parçacığı β sembolü ile gösterilir. Beta ışınları kararsız atom çekirdeklerinden yüksek enerji ile yayınlanan elektronlardır. Atomun içerisindeki çekirdek, fazla olan nötron ya da protonun, bir nötronu bir protona veya bir protonu bir nötrona dönüştürerek kararlı hale gelmesidir. Beta bozulması üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar β^+, β- ve elektron yakalamadır (Denklem 1.2, Denklem 1.3, Denklem 1.4) (Meriç, 2007).

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^+ + \nu_e \qquad (1.2) $$

$$\boxed{{}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + \beta^{-} + \nu_{e}^{-}} \quad (1.3)$$

$$\boxed{{}^{A}_{Z}X_{N}} + \boxed{e^{-} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1}} + \boxed{\nu_{e}} \quad (1.4)$$

1.5.1.3. Nötronlar

Atomun çekirdeğinde bulunan nötron 1932 yılında bilim adamı James Chadwick tarafından keşfedildi ve bu keşfinden ötürü 1935 yılında Nobel fizik ödülünün sahibi oldu. Yüksüz olan nötron çok düşük enerjilerde Coulomb engelinden etkilenmeden çekirdeğe girer ve çekirdekte reaksiyonları başlatabilir. Nötronun kütlesi 1.67×10^{-27} kg değerine sahip olup protonunkine yakındır (IAEA, 2017). Nötronlar ''n'' harfiyle gösterilirler. Serbest nötronlar 10.6 dakika yarı ömürlü beta ışını yayınlar ve kararsız bir yapıya sahiptirler. Nötronun keşfedilmesinde denklem 1.5 önemli rol oynamaktadır.

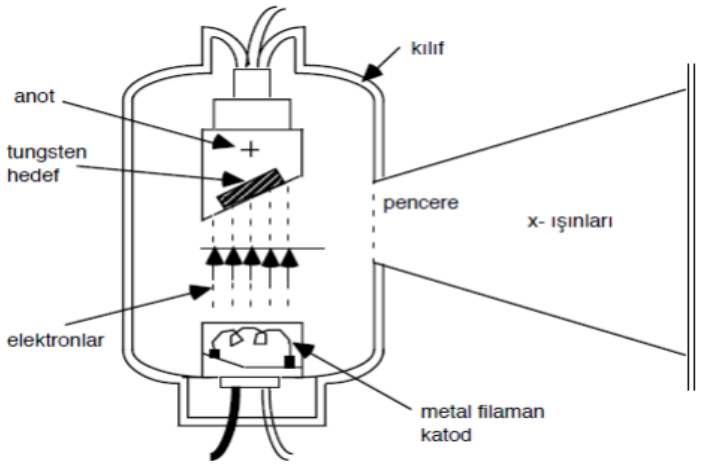
$$\boxed{{}^{4}_{2}He + {}^{9}_{4}Be \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n} \quad (1.5)$$

En iyi nötron kaynakları reaktörlerdir. Yüksek gerilim jeneratörü ve hızlandırıcı tüpten faydalanarak döteryum ve trityumdan nötron elde edilir. Nötronlar yüksüz olduklarından dolayı atomun e^{-} ile etkileşim kurmaları çok zordur. Nötronların yüklü parçacıklara oranla Coulomb bariyeri ile karşılaşmaları nedeniyle çekirdeklere kolayca ulaşabilirler (Meriç, 2007).

1.5.1.4. X ışınları

1895 yılına gelindiğinde Alman bilim adamı W. C. Röntgen içerisinde düşük yoğunluklu gaz bulunan cam tüpleri elektrik akımına tabii tuttu ve gazın elektriksel olarak nasıl boşaldığını inceledi. W. Röntgen deney cihazının üzerini tamamen örttüğü halde gazın boşalması esnasında bir aydınlanmanın olduğunu fark etti. Bu ışınların ne olduğunu hakkında herhangi bir fikri olmadığı için bunlara X ışını adını verdi ve ilk olarak eşi Anna Bertha Ludwig'in sol elinin fotoğrafını çekti. Wilhelm Röntgen X ışınlarını keşfettiği için 1901 yılında ilk Nobel ödülünü kazanmıştır.

Wilhelm Röntgen' in X ışınlarını buluşu bilim dünyasında bayağı bir yankı oluştururken yepyeni olaylara da öncülük etmiştir. Keşiften hemen sonra Henry Becquerel x ışınlarıyla uğraşırken uranyumun radyoaktif olduğunu, karıkoca Curie 'ler ise radyum elementini bularak Radyoloji biliminin kuruculuğuna önayak olmuşlardır. X ışınları hem dalga özelliği hem de tanecik özelliğine sahip olmasından dolayı çift karakterlidir. X ışınları, yüksek enerji ile hızlandırılmış elektronlar kullanılarak yoğun hedef malzeme bombardımanı ile üretilir böylelikle sürekli bir enerji spektrumu ortaya çıkar. X ışınları yüksek enerjili elektronların ivmeli hareketi sonucu yavaşlatılması ile elde edilen elektromanyetik dalgalardır. X ışınlarının enerjileri çok yüksek ve dalga boyları çok küçüktür. X ışınları hem tanecik hem de dalga özelliği göstermesiyle çift karakterli olduğu ortaya çıkmıştır. X ışını tüpleri yüksek voltlu bir katot ışınları tüpü şeklindedir. Havası boşaltılmış yüksek vakumda cam bir hazneden meydana gelmektedir. X ışınları oluşabilmesi için koparılan elektronlar hedefe çarptırılarak durdurulması ile elde edilir (Eşref, 2019).



Şekil 1.4. X Işını Oluşum Tüpü (Eşref, 2019)

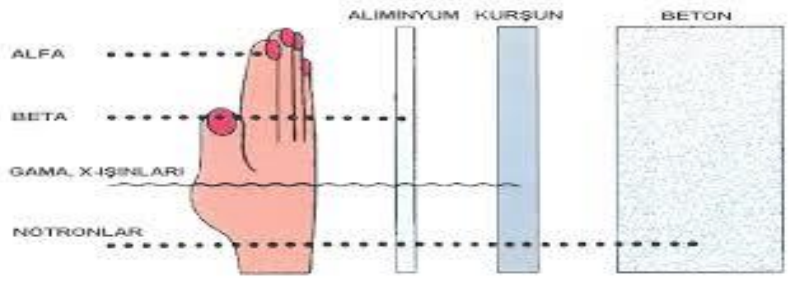
Yukarıda Şekil 1.4.'te bir tarafında anot, diğer tarafında ise katot bulunmaktadır. Katot, ısıtıldığı zaman elektron bırakan tungstenden oluşturulmuş bir flamandır. Anot ise geniş bir çubuk ve bu çubuğun son kısmındaki metal kısımdan oluşan yapıdır. Belli düzeyde voltaj uygulandığında ısınan katot filamanından elektron yayınlanır. Yüksek voltaj uygulanarak elektronlar anoda doğru hızlandırılırlar ve yüksek hıza ulaşan elektronlar hedefe çarptırılarak ivmeli hareket sonucu çok sayıda foton yayınlar. Bu şekilde oluşan X ışını ince pencereden geçer.

Yüksek hızlı elektronun durdurulması sırasında kinetik enerjinin bir kısmı X ışınına, bir kısmı ise ısı enerjisine dönüşür. X ışınları günümüzde çeşitli alanlarda etkisini ve önemini göstermektedir. Örneğin tıpta teşhis ve tedavide, radyoskopi ve radyografide, kanser tedavilerinde, karmaşık organik maddelerin molekül yapılarının aydınlatılmasında, teknik malzemenin kontrolü sırasında oluşması muhtemel hava boşluğu ya da yabancı maddelerin tespitinde, eser miktardaki yabancı maddenin analizinde, nükleer tıpta ve endüstride kullanılmaktadır (Aközcan, 2020).

1.5.1.5. Gama ışınları

Gama ışınları, radyoaktif bir atomun parçalanmasından sonra uyarılmış çekirdekten yayınlanan elektromanyetik radyasyondur. Gama ışınları çekirdekten yayınlanma şeklinde gerçekleşirler. Etkileştiği ortam içerisinde üç temel etkileşim yaparak enerjisini bırakırlar. Bunlar; fotoelektrik etki, compton saçılması ve çift oluşumdur. Gama ışınları iyonlaştırıcı ışın türü olduğu için madde ile etkileşim yaptığında atomdan elektron koparabilirler. Bu elektron koparma olayına da iyonizasyon denilmektedir. Gama ışınları dalga boyu en küçük ve enerjisi en fazla olan elektromanyetik dalga olarak bilinir. Buna bağlı olaraktan gama ışınları yüksek frekansa sahiptirler (Erramli ve El Asri, 2009).

Canlılar bu iyonize gama ışınlarına maruz kaldıkları zaman canlı organizmaların canlılığının yitirilmesine sebebiyet verebilir. Gama ışınlarının yüksüz olduğu için madde içerisine kolayca nüfuz edip ilerleyebilirler. Bu yüksek enerjiye sahip gama ışınlarından korunmak için kurşun blok veya kalın beton tabakası gibi öz kütleleri büyük malzemeler kullanılarak durdurulabilirler (Şekil 1.5).

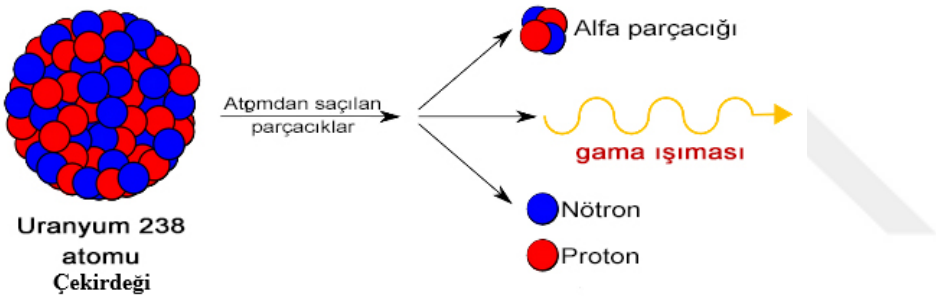


Şekil 1.5. İyonize radyasyonları durduran malzemeler (TAEK, 2009)

Gama ışınları solunum yoluyla ya da sindirim yoluyla alınmasa bile maruz kalındığında canlıların DNA ve proteinlere zarar verebilir.

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma \qquad (1.6) $$

Yukarıdaki denklem 1.6 da görüldüğü gibi radyoaktif olan atom gama ışıması sonucunda proton sayısı ve kütle numarasında herhangi bir değişiklik olmaz. Çekirdek gama ışıması yaparak üzerindeki fazla enerjiyi salar ve başka bir çekirdeğe dönüşmeden kalır.



Şekil 1.6. Uranyum-238 atomu çekirdeğinden saçılan parçacıklar (Çelik, 2016).

Uranyum-238 atomu kararsız olduğu için kararlı hale gelebilmek için üzerindeki fazla yükü alfa parçacığı ve gama ışıması şeklinde salarak kararlı hale geçmeye çalışır (Şekil 1.6) (TAEK, 2009).

1.5.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ve çeşitleri

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon enerjisi, bir atomdan bir elektronun salınımını tetiklemek için çok düşüktür. İyonize olmama atomları ve elektronları yeterli miktarda uyarmak için gereken enerjiyi ifade eder ancak elektronları yörüngelerinden çıkarmak için yeterli değildir (Wiedemann ve ark, 2005). İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynakları; radyo dalgası, mikrodalgalar, kızılötesi(infrared) dalgalar, görünür ışık ve morötesi(ultraviyole) dalgalar olmak

üzere gama ışınlarına göre son derece düşük frekansa sahiptirler (Syaza ve ark, 2017).

1.5.2.1. Radyo dalgaları

Radyo dalgaları elektromanyetik tayfta en fazla dalga boyuna ve en az enerjiye sahip bölgedir. Radyo dalgalarının dalga boyları 30 cm'den 3 km'ye kadar olabilmekte ve cep telefonu sinyalleri, televizyon gibi teknolojik aletlerin sinyallerini taşıyabilmektedir. Gezegenler, galaksiler ve kuyruklu yıldızlar çok farklı boyutlarda ışın yayabilirler. Bu yayılan ışınların büyük bir kısmı radyo dalgası bölgesinde olduğu için yıldızlar, galaksiler ve gezegenlerin incelenmesinde radyo dalgaları kullanılır (Hacıosmanoğlu, 2017).

1.5.2.2. Mikrodalgalar

Dalga boyu 1mm' den 30cm'ye kadar olan dalgalardır. Mikrodalga bölgesinin başlangıcı olan dalga boyunda, yiyecekleri ısıtan mikrodalgalarda kullanılan dalgalardır. Mikrodalgalar atomla etkileşime geçerek ısının ortaya çıkmasını sağlar. Radyo dalgalarına göre daha küçük dalga boyuna sahip olmasına rağmen bu dalgalar radar teknolojisinde kullanılır. Mikrodalgalar ayrıca hava durumu tahminlerinde de kullanılır (Hacıosmanoğlu, 2017).

1.5.2.3. Kızılötesi dalgalar

Dalga boyları $7.8x10^{-7}$ m ile 10^{-3} m arasında olan elektromanyetik bir dalgadır. Kızılötesi dalgalar uzak kızılötesi (10^{-3} m ile $3x10^{-5}$ m), orta kızılötesi (10^{-5} m ile $3x10^{-6}$ m) ve yakın kızılötesi(10^{-6} m ile $7.8x10^{-7}$ m) olmak üzere üç şekilde sınıflandırılır. Özellikle uzak kızılötesi ışınlar ısısal özelliklere sahip oldukları için günlük yaşamımızda ısıtıcılarda karşımıza çıkmaktadır. Kızılötesi ışınlar (infrared) ayrıca günümüzde askeri ve sivil hayatta kullanılan termal kameralarda kullanılan algılayıcılardır (Hacıosmanoğlu, 2017).

1.5.2.4. Görünür ışık

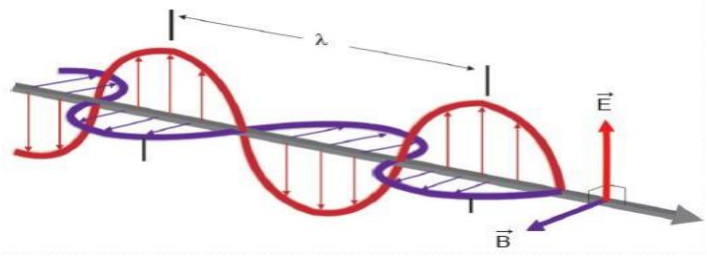
Elektromanyetik spektrumda insan gözünün algılayabildiği tek kısım bu görünür ışık bölgesidir. Görünür ışığın dalga boyu $7.8x10^{-7}$ m ile $3.8x10^{-7}$ m aralığındadır. En kısa dalga boyu ve en fazla enerjiye sahip olan mor renk ile en uzun dalga boyu ve en az enerjiye sahip kırmızı renkler görünür ışığın sınırlarını belirlemektedir. Görünür bölgedeki bütün renkler birleştiğinde beyaz ışık oluşur (Hacıosmanoğlu, 2017).

1.5.2.5. Morötesi dalgalar

Morötesi dalgaların dalga boyları $3.8x10^{-7}$ m ile $6x10^{-10}$ m aralığında olan elektromanyetik dalgadır. Bu bölgeye aynı zamanda ultra-viyole (UV) de denmektedir. Bu bölgedeki ışınlar atomların dış kabuktaki elektronlarını uyararak elektronik geçişler gerçekleştirebilir. Güneşin ürettiği farklı elektromanyetik dalga bölgelerinden biride morötesi dalgalardır. İnsan gözü bu ışınları göremese de bu ışınlar mikroorganizmaları parçalamaktadır. Bundan dolayı sterilizasyon işlemleri içinde kullanılmaktadır (Hacıosmanoğlu, 2017).

1.6. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgalar ilerleyebilmek için herhangi bir ortama ihtiyaç duymazlar. Boşlukta ışık hızıyla ve doğrusal olarak yayılırlar. Elektromanyetik dalgalar şekil 1.7 ‘de görüldüğü gibi yayılma doğrultusu, elektrik alan ve manyetik alan birbirine dik olacak şekilde ilerlerler. İki dalga tepesi arasındaki mesafe dalga boyu olarak nitelendirilir. Elektromanyetik dalgaların enerjileri frekans ile doğru dalga boyu ile ters bir ilişkiye sahiptir.



Şekil 1.6. Elektromanyetik dalga (Görür, 2006)

Elektromanyetik tayf incelendiğinde ise yüksek enerjiye sahip X ışınları ve gama ışınları yüksek frekansa, kısa dalga boyuna sahiptir. Diğer taraftan radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi dalgalar ve görünür ışık ise düşük enerjiye, düşük frekansa ve uzun dalga boyuna sahiptir. İvmeli yüklü parçacıklar bir enerji şeklinde elektrik ve manyetik alan yayarlar. Bu elektrik ve manyetik dalgalar aynı fazdadırlar (Wojtczak ve ark, 2020). Elektromanyetik dalgalar iyonlaşma ile sonuçlanan diğer yüklü parçacıklara güç uygulayabilen elektrik alanı oluşturan yüklü bir parçacıkla oluşturulur.

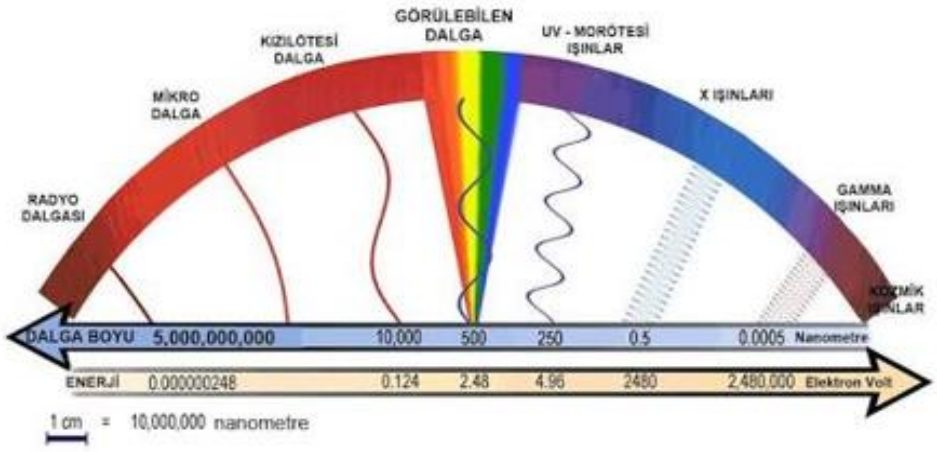
$$E=hf \tag{1.7}$$

$$f=c/\lambda \tag{1.8}$$

Denklem 1.8'i denklem 1.7'de yerine yazarsak, denklem 1.9'u elde etmiş oluruz.

$$E=hc/\lambda \tag{1.9}$$

Elektromanyetik spektrumun görünür kısmı kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, lacivert ve mor renklerden oluşmaktadır. Bu renklerin her biri farklı dalga boylarına denk gelmektedir. Spektrumda sıralanan dalgalar, büyük dalga boylarına sahip radyo dalgalarından ve atom boyutlarından daha kısa olan kısa dalga boyundaki gama ışınlarına kadar değişim gösterir. Spektrumda net kesin çizgiler yoktur ve spektrumda ışığın bütün dalga boylarını içermektedir. Gözümüzün görebildiği ve gözümüzle algılayamadığımız ışık çeşitleri bu spektrum içerisindedir.

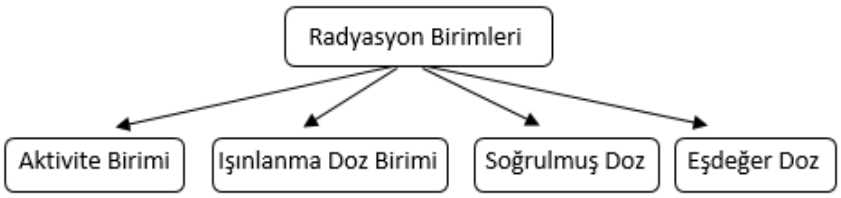


Şekil 1.7. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrumda enerjisi ve frekansı küçük olandan(dalga boyu büyük), enerjisi ve frekansı büyük olan(dalga boyu küçük) elektromanyetik ışınlar; radyo dalgası, mikro dalga, kızılötesi(infrared) dalga, görülebilen bölge(kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, mor), morötesi(ultra viyole), x ışınları ve gama(γ) ışınları şeklinde sıralanırlar (Şekil 1.8) (Görür, 2016).

1.7. Radyasyon Birimleri

Radyasyon birimleri ile ilgili büyüklüklerin belirlenmesi için ‘’Uluslararası Radyasyon Birimleri Komitesi’’ (ICRU) ekibi kendine has birimler belirlenmiştir. Daha sonra ise ‘’İnternational System of Unit’’ (SI) sisteminin bilim adamlarınca kabul edilmesi ile yeni birim sistemi olarak kabul görmüştür. Radyasyon birimleri; aktivite birimi, ışınlanma doz birimi, soğrulmuş doz ve eşdeğer doz olarak değerlendirilir(Şekil 1.9) (Kabul, 2021).



Şekil 1.8. Radyasyon Birimleri (Kabul, 2021)

1.7.1. Aktivite birimi

Radyoaktif bir maddenin belirli bir süre kısmı içerisinde bozunma miktarına aktivite denir. Birimi Curie (Ci)'dir. Uluslararası birim sisteminde (SI) ise birimi Becquerel (Bq)' dir (Kabul, 2021).

$$1Ci=3.7x10^{10}\ Bq$$

1.7.2. Işınlanma doz birimi

Organlarımızın ve dokularımızın aldığı dozun vücut için oluşturduğu riski ifade eden kavrama ışınlanma dozu denir. Işınlanma dozunun birimi rem' dir. Uluslararası birim sisteminde ise ışınlanma dozunun birimi Sievert (Sv)'tir (Kabul, 2021).

$$1rem=0.01Sv$$

$$1Sv=1\ Joule/kg$$

1.7.3. Soğrulmuş doz

Dokuların emmiş olduğu radyasyon soğrulmuş doz olarak ifade edilir. Birimi Rad'dir. Uluslararası birim olarak ise Gray(Gy) kabul edilir. Işınlanan maddenin 1 kilosuna 10^{-2} joule' lük enerji bırakan radyasyon ölçüsü Rad olarak tanımlanır. Işınlanmış maddenin 1 kilogramına 1 joule 'lük enerji veren radyasyonu ise Gray'dir (Kabul, 2021).

$$1Gray=100\ Rad$$

1.7.4. Eşdeğer doz

Vücudumuzda toplanılan enerjiye eşdeğer doz denir ve doz değerlerinde radyasyonun enerjisine ve türüne göre çevresel hasarın bir ölçüsüdür. Radyasyon

tipleri farklı enerjileri eşit olsa bile bırakılan etki farklı olabilir. Eşdeğer dozun birimi rem' dir. Uluslararası(SI) birim sisteminde ise birimi Sievert(Sv)'tir.

$$1Rem=0.01Sv$$

$$1Sv=100Rem$$

$$1Gy=1Sv$$

Aşağıda çizelge 1.1.'de radyasyon birimleri eski ve uluslararası(SI) birim sisteminde dönüşüm katsayıları verilmiştir.

Çizelge 1.1. Radyasyon Birimleri ve Dönüşümleri (Kabul, 2021)

Radyasyon Tanımlamaları	**Birim**		**Eski-Yeni**
	(Klasik)	**(SI)**	
Aktivite	Ci	Bq	1 Ci=37 GBq
Işınlanma Doz	R	C/kg	1 R =2.58x10^{-4} C/kg
Soğrulmuş Doz	Rad	Gy	1 rad=0.01 Gy
Eşdeğer Doz	rem	Sv	1 rem= 10^{-2} Sv

Aşağıda Çizelge 1.2 'de ise radyasyona maruz kalan radyasyon çalışanları ve ayrıca toplum üyelerinin doz sınırları belirlenmiştir (Kabul, 2021).

Çizelge 1.2. Radyasyon Çalışanları ve Toplum İçin Doz Sınırları (Gökharman, 2016)

		Radyasyon Elemanları	**Bireyler**
Etkin Doz Sınırı	5 Yılın Ortalaması	20 mSv	1 mSv
	Tahmini Bir Yılda	50 mSv	5 mSv
Yıllık Organ	Göz Merceği	150 mSv	15 mSv
Doz Sınırı	Deri(cm^2)	500 mSv	50 mSv
	El ve Ayaklar	500 mSv	50 mSv
Hamileler için Doz eşdeğer Sınırı		Hamileliğin söylenmesini Takiben 1 mSv	-

1.8. Radyoaktif Bozunmalar

1.8.1. Alfa bozunması

Atomun fazla enerjisinden kurtulması için alfa(α) parçacığı saçmasına alfa bozunması denir. Alfa bozunumu ağır çekirdeklerde radyoaktivitenin yaygın bir şekli olup en eski çalışma yapılan nükleer fizik olaylarındandır. Birçok yoğun çekirdek özellikle doğal radyoaktif serinin elemanları alfa çıkararak bozunuma uğrarlar. Radyoaktif bir saçılma olan alfa bozunması, bozunma sırasında atom numarası 2, nötron sayısı 2 ve kütle numarası 4 azalır (Denklem 1.10). Alfa taneciğinin diğer adı ise $\boxed{^{4}_{2}He}$' dir.

$$\boxed{^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He} \qquad (1.10)$$

Doğal olarak görülen birçok ağır çekirdek ve yapay olarak üretilen uranyum ötesi elementler alfa yayınlaması ile bozunurlar. Radyoaktif bozunma sırasında kararsız çekirdek (ana çekirdek) daha kararlı olan kız çekirdeğe dönüşürler (Taşlıdere, 2015).

1.8.2. Beta bozunması

Beta bozunması bir adet beta(β) parçacığının yayımladığı radyoaktif çözünmedir. Beta bozunması iki şekilde gerçekleşir. Bunlar; pozitron yayımında artı beta ve elektron yayımında eksi betadır. Artı beta denkleminde proton nötrona dönüşür ve bir pozitron ile bir nötron yayımlanır (Denklem 1.11). Eksi beta denkleminde ise nötron protona dönüşür ve bir adet elektron ile anti nötrino yayımlanır (Denklem 1.12).

$$\boxed{p^{+} \rightarrow n^{0}} + \boxed{e^{+} + \nu_e} \qquad (1.11)$$

$$\boxed{n^{0} \rightarrow p^{+}} + \boxed{e^{-}} + \boxed{\nu_e'} \qquad (1.12)$$

Pozitif bir beta parçacığı çekirdekten yayınlandığında nükleer yük bir birim azalır ve pozitif bir beta parçacığı pozitron olarak adlandırılır. Pozitronlar pozitif yüklü elektronlar gibi davranır ve pozitronlar elektronlarla aynı kütleye sahiptirler. Pozitronların varlığını 1932 yılında Anderson tarafından keşfedilmiştir. Nötron ve proton bakımından zengin olan kararsız çekirdekler pozitif veya negatif beta parçacığı yayınlayarak kararlı izobarik çekirdeklere bozunurlar. Ayrıca beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre sürekli bir enerji spektrumu ile yayınlanırlar. Denklem 1.8' de ortaya çıkan nötrinolar da Fermi tarafından enerji korunumunun bozulması dikkate alınarak bozunmada gözlenmeyen üçüncü bir parçacığın varlığından bahsederek önerdi. Fermi bu parçacığa küçük nötral anlamına gelen nötrino adını verdi (Taşlıdere, 2015).

1.8.3. Elektron yakalama

Elektron yakalanması atom çekirdeğinin atoma bağlı elektronlardan bir tanesini yakalaması ile gerçekleşir. Çekirdek tarafından yakalanan elektron çekirdekteki protonlardan birisi ile etkileşime girer. Bunun sonucunda da bir adet nötron ile nötrino ortaya çıkar (Denklem 1.13).

$$p + e^- \rightarrow n + \nu \tag{1.13}$$

Elektron genellikle atomun en iç yörüngesi olan K tabakasından yakalandığı için elektron yakalama genellikle K yakalaması olaraktan anılmaktadır (Taşlıdere, 2015).

1.8.4. Gama ışıması

Radyoaktif bölünmeden sonra uyarılmış olan çekirdekten yayınlanan elektromanyetik radyasyona gama ışıması denir. Bir elektron yüksek enerji bandından düşük enerji bandına geçtiğinde aralarında ki enerji farkı kadar enerjiyi elektromanyetik aktarım yoluyla yayar. Gama ışınları çekirdekten yayınlama yoluyla

gerçekleşirler. Atom çekirdeğinde yüksek enerji seviyelerine çıkabilir ve aynı elektron gibi çekirdekte, temel enerji seviyesine dönerken ışıma yapar (1.14).

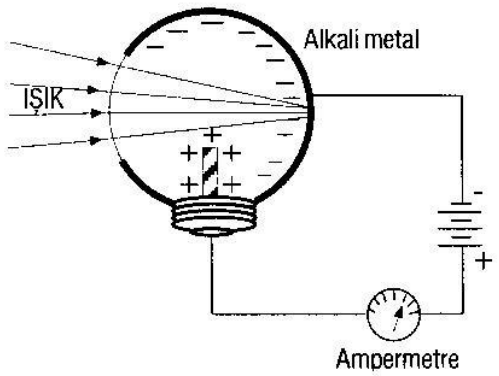
$$\boxed{{}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma} \quad (1.14)$$

Gama ışınları yüksek enerjilere sahip oldukları için maddeye oldukça kolay bir şekilde nüfuz edebilirler. Gama ışıması alfa ve beta bozunumunun ömürleriyle karşılaştırıldığında genellikle çok kısadır ve yaklaşık 10^{-9} saniyedir. Uyarılmış bir çekirdek aynı çekirdeğin daha düşük enerjili bir düzeyine geçiş yaparak enerji kaybederler. İlk ve son enerji düzeyleri arasındaki fark kadar gama ışıması gerçekleşmiş olur (Taşlıdere, 2015).

1.9. Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

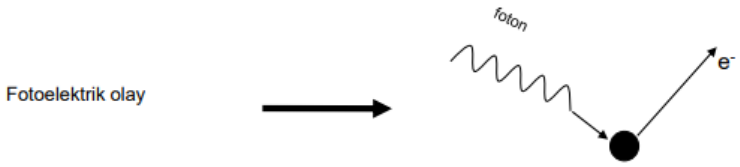
1.9.1. Fotoelektrik etki

Işığın doğası hakkında bilim adamları yıllarca ikilemde kalmışlardır. Bazı bilim adamları ışığın dalga özelliği gösterdiğini ifade ederken bazı bilim adamları ise tanecik yapısında olduğunu savunmuşlardır. Albert Einstein 20. yüzyılda fotoelektrik olayını keşfederek ışığın tanecik yapısında olduğunu söylemiştir ve 1921 yılında Einstein fotoelektrik yasasının keşfi için Nobel ödülünü kazanmıştır. Işığın bir metal yüzeye geldiğinde şekil 1.10. ‘ da metal kısmın üstüne bırakılan ışığın enerjisi ya da frekansının değerinin önemi olmadan metal yüzeyden elektron sökebilir. Bir foton metal kısımdaki e^{-} çarpmasıyla fotoelektrik akımın artış göstermesini sağlar (Önder, 2016). Metalden elektron sökebilmesi için iş fonksiyonundan daha büyük potansiyel farklarda, metal yüzeyden elektron çıkarabilir (Taşlıdere, 2015).



Şekil 1.9. Fotoelektrik etki (Taşlıdere, 2015)

Sökülen bu elektron şekil 1.10. ‘ da gösterildiği gibi metalden koparak belli bir kinetik enerji ile hızlanarak anot yüzeye çarparak belli bir akım elde edilir. Işığın bir metal yüzeye geldiğinde, metal yüzeyden elektronların yayınlandığı görüldü ve bu olaya fotoelektrik etki denildi. Şekil 1.11’ de gelen foton elektrona çarparak belli bir açıda saçılma meydana gelmiş olur.



Şekil 1.10. Fotoelektrikte elektron koparılması (Taşlıdere, 2015)

Fotoelektrik etkinin gelen ışığın frekansının metalin cinsine bağlı olduğu, foto elektronların maksimum kinetik enerjileri ışığın enerjisi arttıkça arttığı, kopan elektronların maksimum kinetik enerjisinin ışığın şiddetinden bağımsız olduğu, elektronların düşük ışık şiddetlerinde bile hemen yayınlandıkları görülmüştür.

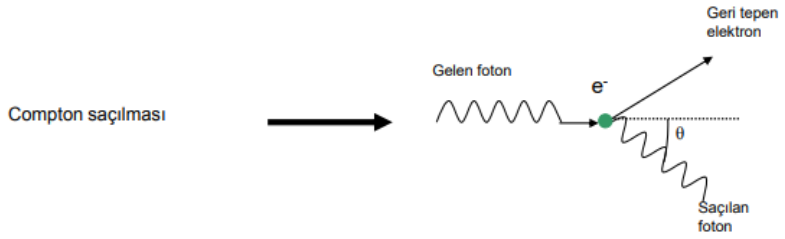
Fotonun enerjisi öncelikle elektronu atomdan koparır ve geriye kalan enerjisini foto elektrona enerji olarak verir.

$$E=E_K+\phi \qquad hf=E_k+\phi \qquad E_k=hf-\phi \tag{1.15}$$

Yukarıdaki denklem 1.15'de ϕ iş fonksiyonudur ve bu iş fonksiyonu elektronu koparmak için yeterli olan enerji miktarı ile yüz yüze gelir. İş fonksiyonu üzerine ışık düşen metalin kendine has bir özelliğidir. Metaller kendi içlerinde farklı olduğu için metaller değiştikçe iş fonksiyonu da değişecektir (Taşlıdere, 2015).

1.9.2. Compton saçılması

Bir elektronla etkileşime giren fotonun belli bir açıda saçılmaya uğrayarak (Şekil 1.12), enerjisindeki azalma ve dalga boyundaki artma olayına ''compton saçılması'' denir. 1923 yılında Arthur Holly Compton tarafından keşfedilen bu olay sonucunda 1927 yılında Compton Nobel fizik ödülünü kazanmıştır.



Şekil 1.11. Compton Saçılması

Compton' in bu deneyi, daha önceden yapılmış olan Thomson saçılmasına göre farklı bir sonuç vermektedir. Klasik fiziğe göre Thomson saçılmasında gelen ışığın dalga boyunda bir değişim öngörülmemekteydi. Fakat Compton saçılmasında gelen ışığın dalga boyu saçılma sonucunda değişime uğradığı saptanmıştır. Bu sonuç ışığın sadece dalga gibi davranacağı önerisinin tam tersi olan parçacık şeklinde olduğunu bildirmesi açısından sıra dışı bir keşif olarak tarihe geçti. Gönderilen fotonun dalga boyundaki değişim denklem 1.16' da ifade edilmiştir (Krane, 2001).

$$\lambda_s-\lambda_i=\frac{h}{m_e c}(1-\cos\alpha) \qquad (1.16)$$

1.9.3. Çift oluşumu

Büyük enerjisi olan foton, maddeden içeri çekilir ve yükünün tam tersi yüklü parçacıklar oluşur. Fotonun elektron-pozitron çiftlerine evirilmesine ‘’çift oluşum’’ denir (Şekil 1.13).



Şekil 1.12. Çift Oluşum Olayı (Krane, 2001)

Çift oluşum olayı, momentum korunum yasası gereği bir atomun çekirdeğinin çok yakınından geçtiğinde oluşur. Elektronun kütlesi pozitronun kütlesiyle aynı olduğundan dolayı elektron-pozitron çift oluşması için gerekli eşik enerjisi $E_{eşik} = 2m_e c^2$=1.02 MeV olur. Foton bu enerjiye sahip olmadıkça oluşum gerçekleşmez (Krane, 2001).

1.10. Doğal Radyoaktif Seriler

Güneş sistemi içerisindeki yeryüzümüz ve diğer gezegenler yaklaşık olarak 4,5 milyar yıl civarı oksijen (O), karbon (C), demir (Fe) ve silisyum (Si) bakımından zengin maddeler ağır elementler olmadan ortaya çıkmıştır. Yapılan araştırmalara göre 15 milyar yıl civarında oluşan Büyük Patlama(Big Bang) akabinde oluşan hidrojen (H) ve helyum (He) sırası ile yaratılmışlardır. Büyük Patlamadan güneş sisteminin yoğunlaşmasına kadar geçen sürede hidrojen (H), helyum (He), novalar ve süper novalardaki ağır elementler oluşmuştur. Bu zaman zarfında radyoaktif olan yıldız kalıntıları kararlı çekirdek olana kadar bozunmaları devam etmektedir. Bazı radyoaktif elementlerin yarılanma ömürleri dünyanın yaşına göre çok uzun olduğu için hala radyoaktif olma özelliğini korumaktadırlar. Radyoaktif izotoplar (Çizelge2.3) çevremizde bulunan kaya ve minerallerde bulunduklarından dolayı ve genel olarak sıkıca bağlı bulunduklarından ötürü sağlığımız için zararlı değillerdir.

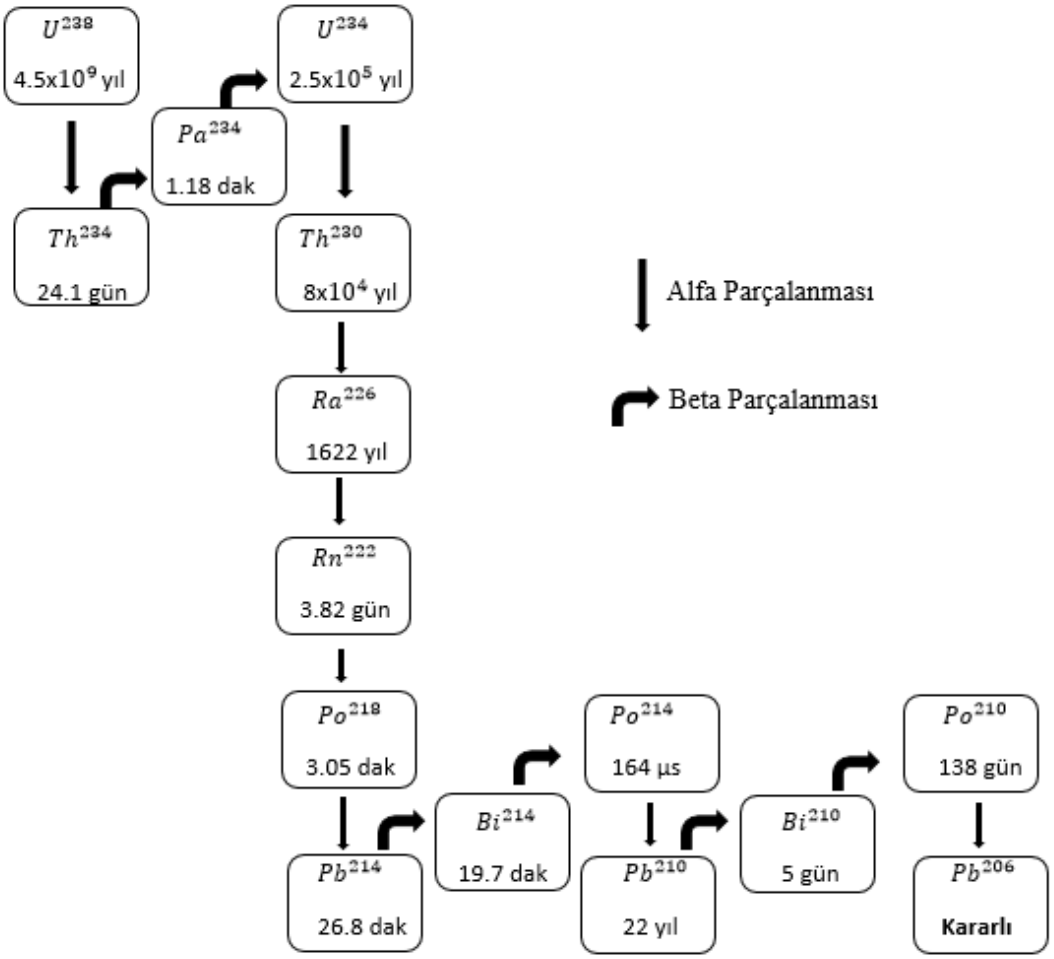
Çizelge 1.3. Doğal Radyoizotoplar (Krane, 2001)

Radyo İzotop	$t_{1/2}$(y)
K^{40}	1.28x10^{9}
Rb^{87}	4.28x10^{10}
Cd^{113}	9x10^{15}
In^{115}	4.4x10^{14}
La^{138}	1.3x10^{11}
Lu^{176}	3.6x10^{10}
Re^{187}	5x10^{10}

Radyoaktif olan ana çekirdekten alfa, beta ve gama çıkarımları sonucu kız çekirdekler oluşturan serilere ‘’radyoaktif seriler’’ adı verilmektedir. Doğada kendi kendine radyoaktif olan bazı elementler bulunmaktadır. Bunlar radyum grubu, aktinyum grubu, toryum serisi ve neptünyum serisi olmak üzere dört grupta incelenmektedir (Krane, 2001).

1.10.1. Radyum grubu

Bu grup uranyum-238 ile başlayan kararlı Kurşun-206’ ya dönüşene kadar art arda alfa(α),beta(β) ve gama(γ) bozunmalarına uğrar. Aşağıdaki seride gama ışıması altı adet gerçekleşir. Bunlar; ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{226}Ra, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{210}Pb’dir (Şekil 1.14).

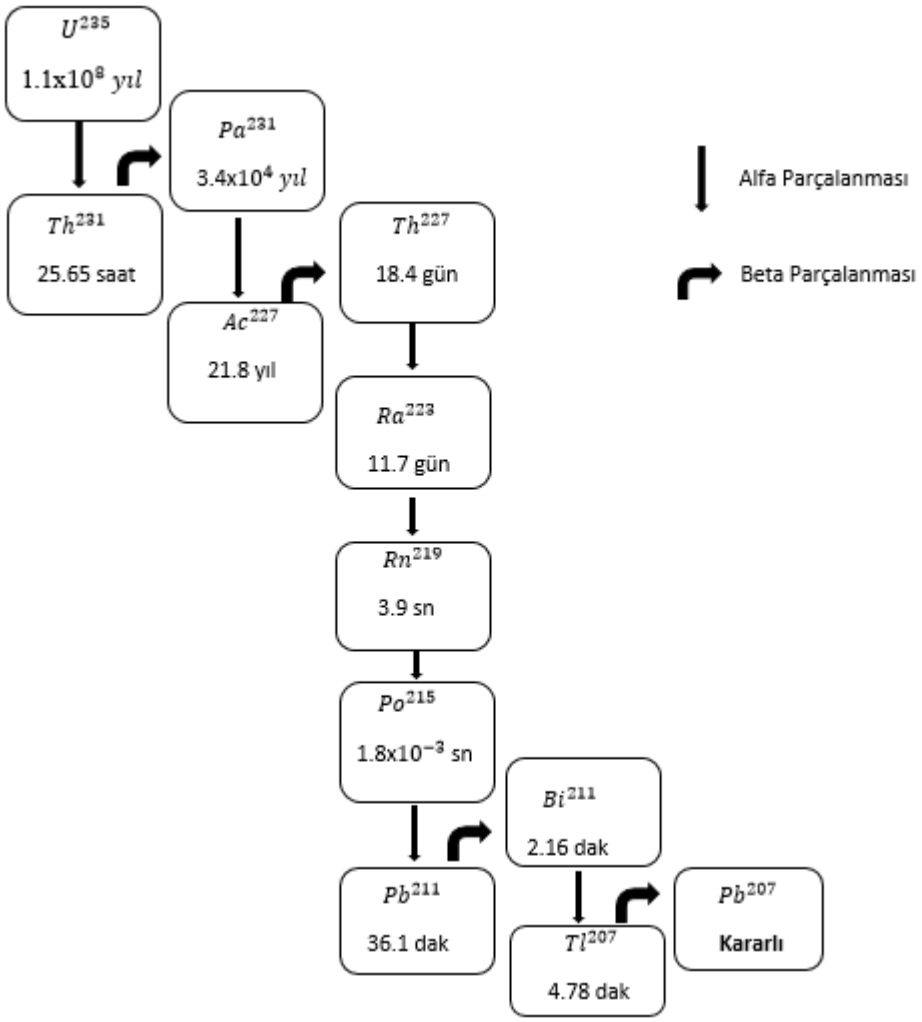


Şekil 1.13. Radyum Grubu Bozunma Serisi (Krane, 2001)

Kararsız çekirdekler, kararlı yapıya dönüşebilmek için alfa, beta ve gama çıkarırlar. İlk bozunmaya rastlayan çekirdeğe ana çekirdek, ana çekirdeğin radyoaktif bozunması aşamasında çıkan çekirdeğe ise yavru ya da kız çekirdek denilir.

1.10.2. Aktinyum serisi

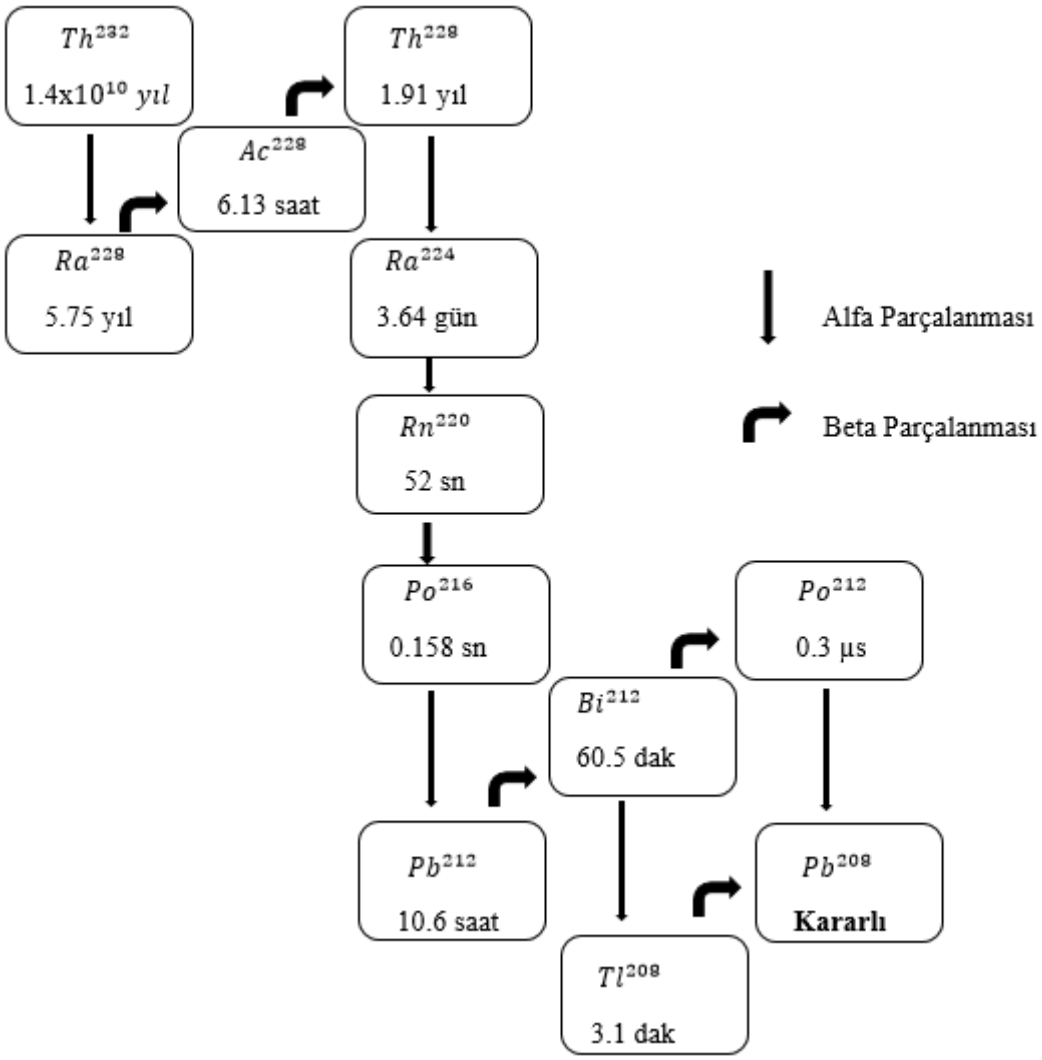
Aktinyum serisi uranyum-235 ile baş gösterir ve kararlı olan kurşun-207' ye devinerek kararlı hale gelir. Bu seride 7 tane alfa(α) parçalanması, 4 tane beta(β) parçalanması ve 4 tane gama(γ) ışımaları gerçekleşerek aktinyum serisi kararlı hale gelmiş olur(Şekil 1.15). Gama ışımaları sırası ile ^{235}U, ^{227}Th, ^{223}Ra ve ^{219}Rn'dir.



Şekil 1.14. Aktinyum Bozunma Serisi (Krane, 2001)

1.10.3. Toryum serisi

Toryum serimiz toryum-232 ile baş gösterir ve kararlı kurşun-208 ile kararlı hale geçmiş olur. Toryum serisi beş adet gama(γ) ışıması, 7 adet alfa(α) parçalanması ve 5 adet beta(β) parçalanmasını da gerçekleştirerek toryum serisi kararlı hale dönüşmüş olur. Toryum serisinde gerçekleşen gama ışımaları sırası ile ^{228}Ac, ^{224}Ra, ^{212}Pb, ^{212}Bi, ^{208}Tl' dir (Şekil 1.16).



Şekil 1.15. Toryum Bozunma Serisi (Krane, 2001)

1.10.4. Neptünyum serisi

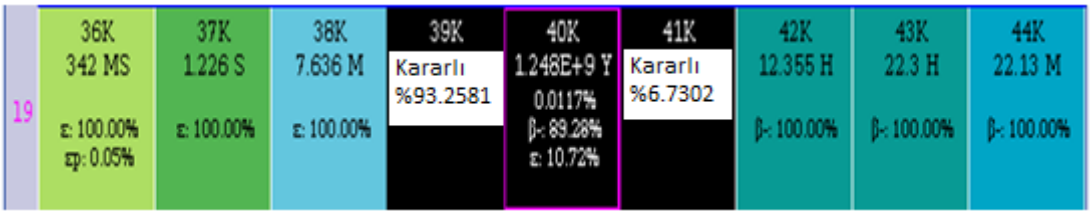
Neptünyum serisi kendi adı ile anılan neptünyum-237 ile başlar ve kararlı bizmut-209 ile son bulur. Her bir bozunma serisi oluşumunu bitirdikten sonra kararlı bir çekirdek yapısına dönüşür. Radyoaktif bozunma süreci istatistiksel gerçekleşen olaydır. Aşağıda çizelge 1.4.'te toryum, neptünyum, radyum ve aktinyum serilerinin bazı özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.4. Ağır Elementlerin Bozunma Serilerinin Bazı Özellikleri

Seri Adı	Türü	Son Çekirdek (Kararlı)	Çekirdek	Yarı Ömür
Toryum Serisi	*4n*	Pb^{208}	Th^{232}	1.41x10^{10}
Neptünyum Serisi	4n+1	Bi^{209}	Np^{237}	2.14x10^{6}
Radyum Serisi	4n+2	Pb^{206}	U^{238}	4.47x10^{9}
Aktinyum Serisi	4n+3	Pb^{207}	U^{235}	7.04x10^{8}

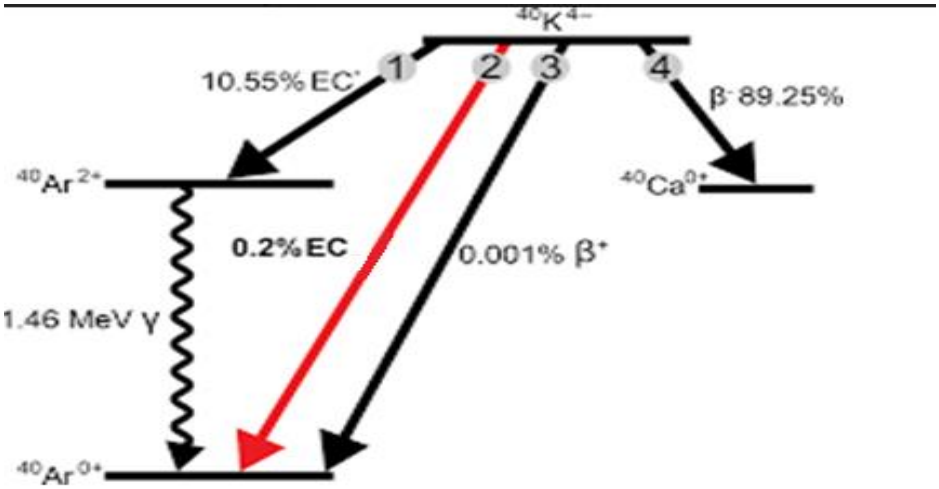
1.11. Potasyum

Potasyum, periyodik cetvelin 4. periyodunun 1. grubunda yer alan oda sıcaklığında katı halde bulunan bir elementtir. Potasyum canlılar için gerekli olan bir element olması ile beraber insan vücudunda bulunan potasyum bitkilerin büyümesi ve çoğalmasını sürdürmek için ihtiyaç duyulan önemli bir elementtir. Bitkiler önemli potasyum kaynaklarıdırlar ve bitkiler ihtiyacı olan potasyumu direkt topraktan karşılarlar. Doğal olarak oluşan potasyum-40 izotopu radyoaktiftir. Aşağıda şekil 1.17 de görüldüğü gibi potasyum-39 kararlıdır ve herhangi bir bozunmaya uğramazlar. Doğada potasyum-39, potasyum-40 ve potasyum-41 bulunmaktadır. Diğer potasyum izotopları ise yapaydır.



Şekil 1.16. Potasyumun kararlı ve radyoaktif durumları (Nndclab, 2022)

Potasyum-40 kararlı hale gelebilmek için üzerindeki fazla enerjiyi çeşitli şekillerde yayınlayarak kararlı hale gelir. Potasyum-40 1.ihtimal kararlı hale gelebilmek için %10.55 ihtimalle elektron yakalama olayı ile $^{40}Ar^{2+}$'ya ve 1.46 MeV' lik gama ışını yayınlayarak $^{40}Ar^{0+}$'ya geçiş yaparak kararlı hale gelir. 2. ihtimal direkt olarak %0.2 elektron yakalama ile $^{40}Ar^{0+}$'ya geçiş gerçekleşir. 3. ihtimal %0.001 β^{+}(pozitron) ışınlaması yaparak direkt $^{40}Ar^{0+}$'ya geçiş gerçekleşir. Son olarak 4. ihtimalde %89.25 β^{-} yaparak Kalsiyum-40' a geçiş gerçekleşir (Şekil 1.18).



Şekil 1.17. Potasyum-40 Dallanma Oranları (Carter, 2020)

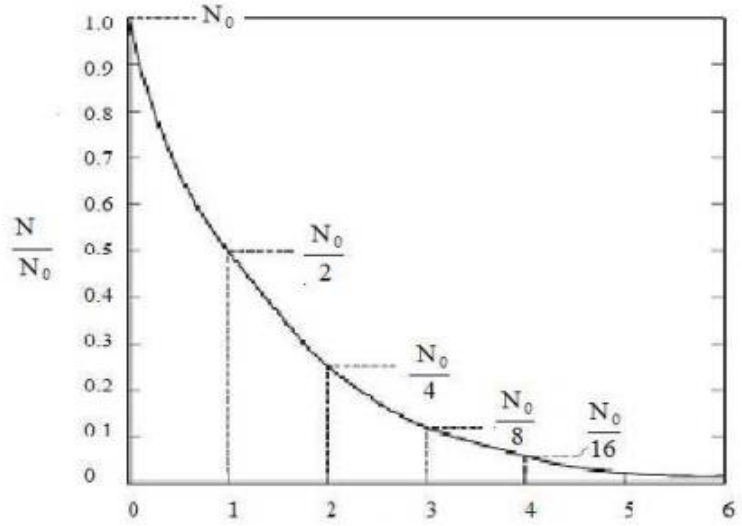
Potasyum bitkilerin yaşayabilmesi için fizyolojik ve metabolik işlevlere sahiptir. Bitkilerin büyümesi ve kök gelişimi ile bitkilerin ürün miktarı ve kalitesini arttırır. Bitkilerin büyüyüp geliştikleri ortamda topraktan yeteri kadar alınamayan potasyum gübre aracılığı ile karşılanır.

1.12. Yarı Ömür Belirlenmesi

Radyoaktif izotoplar çok sayıda radyoaktif çekirdekten oluşurlar. Bu çekirdekler radyoaktif özelliklerinden dolayı bozunmaya uğrarlar. Radyoaktif olan bir elementin aktivitesini ve radyoaktif izotopun çeşidini anlamamıza yarayan yarı ömür, radyoaktif çekirdek sayısını yarıya indirmek için gereken zaman olarak tanımlanır (denklem 1.17).

$$\overline{t_{1/2}} = \frac{\overline{ln2}}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (1.17)$$

Yukarıda denklem 1.17' de görüldüğü gibi denklemde bulunan $\overline{t_{1/2}}$ yarı ömrü, λ bozunma sabiti olarak ifade edilir. Radyoaktif maddenin yarı ömrü numunemizdeki radyoaktif atom sayısına veya başlangıçtaki aktivite değerinin yarısına bozunması için geçen süre olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.19).



Şekil 1.18. Yarı Ömür Biriminde Zaman (Yavuzkanat, 2010)

$\frac{N}{N_0}$, deki N numunedeki radyoaktif atom sayısını, N_0 ise başlangıçtaki atom sayısını ifade etmektedir. Radyoaktif atom sayısı zamanla azalma göstermektedir. Her radyoaktif elementin yarı ömrü birbirinden farklıdır. Yarı ömür elementlerin karakterini göstermektedir.

1.13. Radyasyonun Bulaşma Yolları

Modern dünyada radyasyona maruz kalmadan yaşamak artık neredeyse imkânsız olmaktadır. ‘‘Havada normal miktar dozda radyoaktif karbon ve az miktarda radon gazı bulunmaktadır. Normal şartlarda insanlar senede 30 milirem kozmik radyasyona maruz kalır. Yüksek rakımlarda bulunanlar için 100 milirem’ e kadar artış gösterir. Betonarme evde ikamet edenler, ahşap evde bulunanlara göre yaklaşık iki kat oranında radyasyon alırlar’’ (Köklü, 2006).

Nükleer santrallerde yaşanan kazalarda radyasyonun bulaşma yollarından biridir. Nükleer santrallerdeki patlamalarla radyoaktif maddeler havaya karışır. Havanın teneffüs edilmesiyle zararlı radyoaktif maddeler canlıların vücuduna girerek hastalıklara yol açar. Havadaki radyoaktif maddeler yağmur ve rüzgârın etkisiyle yeryüzüne inerek bitkilerin yapraklarına, çiçeklerine ve toprağa etki ederek bitki kök, gövdesinden bitkinin radyoaktif maddeyi dokusuna işlemesine sebep olur. İnsanlar

direkt olarak tükettikleri bitkilerden veya bitkilerden elde ettiği meyve ve sebzelerden radyasyona maruz kalabileceği gibi hayvanların da bu bitkilerden beslenerek elde edeceği radyasyona insanlar bu hayvanları tüketerek de dolaylı yolla radyasyona maruz kalabilir. Özellikle nükleer santralden patlama sonucu ortaya çıkan iyot, stronsiyum, sezyum elementlerin radyoizotopları insan vücudundaki yumuşak doku ve kemiklerde birikme sonucu canlılara bulaşarak etki etmektedir.

Nükleer tehdidin en şiddetlisi radyoaktif izotop atomların suya işlemesidir. Radyoaktif kazalarda en önemli mevzu acilen çevre sularında radyasyon miktarının tespit edilmesidir. Çünkü suya geçen radyasyon içilme yoluyla ya da bitkilere geçerek radyasyonun devam etmesine neden olur (Köklü, 2006).

1.14. Radyasyonun İnsan Sağlığına Etkileri

Yaşayan canlıların en önemli varlıklarından olan insan çevresel etkilerden ötürü çeşitli radyasyonlara maruz kalmaktadır. Radyasyonun insan sağlığına etkisini iki şekilde inceleyeceğiz. Bunlar; radyasyonun insan sağlığına olumlu etkisi ve radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkileridir.

1.14.1. Radyasyonun insan sağlığına olumlu etkileri

Radyasyon denilince insanın aklına ilk olarak olumsuz ifadeler gelmektedir. Aslında radyasyonun olumlu etkileri de bulunmaktadır. Buna verilebilecek en iyi örnek güneştir. Güneş bir radyasyon kaynağıdır ve güneş olmasa dünya üzerince insan yaşamı veya herhangi bir hayat belirtisi olmazdı. Güneşin tarafımıza kadar gelen ultraviyolesi yeterli oranda olursa hormon salgılarını artırır ve vitaminleri enzime dolaması dolayısı ile hayatı güçlendirir. Ultraviyolenin önemli olan bir yönü de mikropları yok etmesidir. Mikroplar radyasyona dayanmalarına karşın ultraviyoleye dayanıksızdırlar (Köklü, 2006). Ayrıca radyasyonun olumlu yönleri en fazla tıp alanında karşımıza çıkmaktadır. Örneğin prostat bezindeki tümörler üzerinde kullanılan ışın prostat kanserini önleyebilir. Tümörlerin küçültülmesinde radyasyon tedavisi kullanılarak kanserli hücre tedavi edilebilir.

1.14.2. Radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkileri

Her canlının radyasyona karşı hassasiyeti farklıdır. İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyen, radyasyonun zararlı çeşidi olan iyonlaştırıcı radyasyondur. İyonlaştırıcı radyasyon hücrelerimizin genetik yapısı olan Deoksribonükleikasidin parçalanmasına sebep olacak kadar çok miktarda enerji taşımasına ve hücrelerin canlılıklarını yitirmesine neden olmaktadır. Hücrelerin canlılıklarını yitirmesi ile doğal olarak dokularda bozulmalar görülür ve kansere sebebiyet verebilir. Çevremize bırakılan radyoaktif atıklar insanların sağlığını etkileyerek çevresel dengeyi bozmaktadır. Radyasyon aynı zamanda genetik mutasyonlara ya da vücutta bozulmalara yol açabilir (Şahin, 2016).

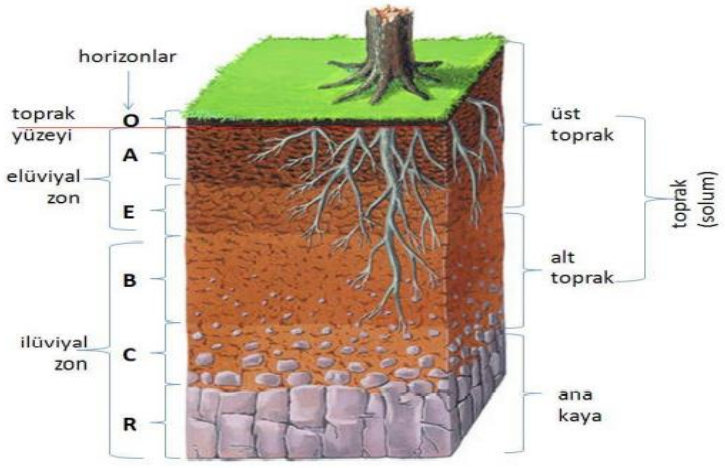
1.15.Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprak Özellikleri ve Gübre Kullanımı

Ülkemizin güney doğusunda yer alan ve yüzölçümü en küçük olan bölgemizdir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin yüzölçümü yaklaşık olarak 59.176 km^2 ‘dir. Şekil 1.20’ de görüldüğü gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi Kilis, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman, Siirt ve Şırnak illerinden meydana gelmektedir.



Şekil 1.19. Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Şahin, 2016)

Bölge ekonomisini etkileyen kuraklık problemi GAP projesi ile çözüme kavuşacaktır. GAP ile beraber sulamalı tarıma geçilerek bölgedeki nadas alanları azalacak ve tarım ürünlerinin çeşitliliği artacaktır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin toprak yapısı bozkır bitki örtüsünün altında gelişen açık renkli bir topraktır. Bölgede en yaygın toprak sınıfı Adıyaman, Gaziantep ve Şanlıurfa platolarında kırmızımsı kahverengi topraklardır yüksek kireç içermektedir. Bu toprakların en önemli sorunu erozyondur. Dicle bölümünde özellikle Mardin eşiğinde ve güneydoğu Toroslar üzerinde kahverengi orman topraklar ortaya çıkmaktadır. Adıyaman platosu, Gaziantep Oğuzeli ve Suruç ovasında kırmızı kahverengi Akdeniz toprakları görülmektedir. Şanlıurfa'nın ilçesi olan Harran ve Akçakale çevresinde ise son dönemde aşırı sulamadan ötürü tuzlu alkali toprak oluşumları görülmektedir. Toprak bitkilerin gelişmesi için doğal bir ortam olan önemli bir etkendir. Bitkilerin üzerinde büyüyerek, canlı organizmalar ile organik maddeler ve minerallerden oluşan hareketli bir varlıktır. Şekil 1.21'de görüldüğü gibi toprak çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Üst toprak, alt toprak ve ana kayadan oluşan toprağın en önemli ve besin kaynağının en fazla olduğu kısım en üst kısımdır (Anonim, 2021).



Şekil 1.20. Toprak Katmanları (Şahin, 2016)

Topraktaki önemli miktardaki besin maddeleri gerek yetiştirilen ürünleri beslemek için ya da toprak bağrına giren sular önemli düzeyde besin maddelerini topraktan uzaklaştırarak toprağın gerekli materyaller bakımından fakirleşmesine sebep olur. Fakirleşen toprak bitkileri yeterince besleyemez hale gelince eksilen bitki

besin maddelerinin verilmesi gerekir. Gerekli besin maddelerinin verilmesi ve ihtiyacın giderilmesi gübreleme ile olur. Türkiye de NPK değerlerine bakıldığında Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) ile beraber sulanan tarımsal arazilerinin çoğaldığı illerde gübre sarfiyatı ciddi artışlar gözlenmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan Şanlıurfa (148 kg/ha), Mardin (192.7 kg/ha) ve Diyarbakır (145.5 kg/ha) gübre tüketim miktarı dünya standartlarının bayağı üstündedir (Şahin, 2016).

1.16. Gübreler

Bitkiler büyüyüp gelişmek için gerekli besinleri topraktan almaktadırlar. Toprak yapısı itibariyle bölgeden bölgeye çeşitlilik ve farklılık göstermektedir. Toprağın bu farklılığından ötürü kendi içerisinde eksilmiş olan bazı besin maddelerini, bitkilere aktaramamaktadır. Bu eksikliklerden ötürü bitki büyüyüp gelişememekte ve yeteri kadar verim elde edilememektedir. Bitkilerin yeteri kadar olgunluğa erişmesi ve büyüyüp gelişip alınan üründen verim elde edilebilmesi için toprağa ihtiyacı olan eksik içerik gübreler ile sağlanmaktadır. Gübreler genellikle el ve makine ile iki şekilde toprağa verilmektedir. Gübre ekim işleminden önce toprak yüzeyine serpilip toprak işleme aleti ile toprağa gömülür. Bazı bitkilere ihtiyacı olan gübre ekme işleminden önce ve bir bölümü de bitkinin gelişim evresinde verilir. Gübre uygulaması toprağın yapısına, bölgenin iklimine, gübrelenecek bitkinin türüne ve uygulanacak gübre tipiyle farklılık göstermektedir. Gübreler doğal gübreler ve yapay gübreler olarak ikiye ayrılmaktadır (Şahin, 2016).

1.16.1. Doğal Gübreler

Doğal gübreler hayvanların katı dışkılarından ve bitkilerden oluşmaktadır. Daha yavaş toprağa etki ettikleri için ve suda az ayrıştıkları için tohumlara, kök ve gövdelere zararları yoktur. Doğal gübrelerin en önemli özelliklerinden biriside topraktaki organik madde miktarını arttırır ve toprağın fiziksel özelliklerini düzenler. Hayvanların yedikleri yemlerdeki besinlerin %45'inden yararlanmakta ve hayvanların yedikleri yemlerdeki besinlerin yarısından fazlası dışkı ile gübrelemeye

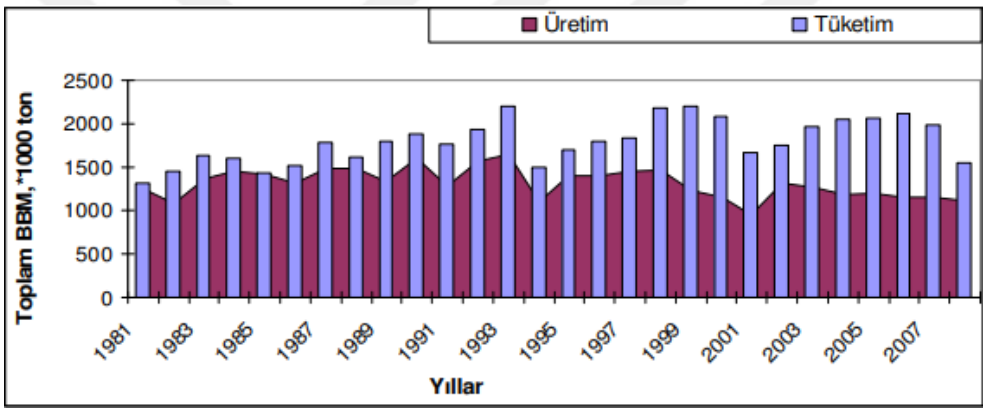
geçmektedir. Doğal gübreler bundan ötürü zengin besin kaynağıdır. Bu gübrelerin en kıymetli kısımlarından biride zengin mikroorganizma barındırmasıdır. Toprakla ilave edilen doğal gübreler, topraktaki küçük organizma sayısını artırır ve topraktaki çevresel değişimin hızlanmasını olanak oluşturur. Doğal gübrelerin uygulandığı toprakların işlenmesi kolaylaşır ve topraktaki hava boşluklarını arttırarak bitki gelişimi için uygun ortam hazırlanmış olur. Doğal gübreler aynı zamanda toprağın su tutma kapasitesini arttırır ve böylelikle topraktaki önemli besin içerikleri eksilmemiş olur. Ayrıca gübreleme ile toprağın üst kısmı tarlada kalarak erozyon tehlikesine karşı önemli bir tedbirde alınmış olur. Doğal gübreler elde edildiği hayvanın türüne göre de farklılık göstermektedir. Güvercin, koyun ve tavuktan elde edilen gübreler sığır ve beygirden elde edilen gübreden besin madde içeriği daha fazladır. Genç hayvanlarda yaşlı hayvanlara göre kemik ve kas gelişimi için proteinlere daha çok ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı da genç hayvanların gübresi kalsiyum, potasyum, fosfor ve azot bakımından fazla olduğu için bitkilerin büyümesi için daha yararlıdır (Şahin, 2016).

1.16.2. Yapay Gübreler

Yapay gübreler katı halde ve sıvı halde olan kimyasal gübrelerdir. Toprağın özelliğine ve üretilen bitkinin türüne oranla, yapay gübreler çeşitlilik göstermektedir. Yapay gübrelerin çeşitleri: Azotlu gübreler, fosfatlı gübreler, potasyumlu gübreler ve kompoze gübrelerdir. Azotlu gübreler, amonyum ve nitrat tuzları halinde bulunur. Bütün azotlu gübreler(kalsiyum nitrat ve potasyum nitratın dışındakiler) toprağı asidik yapar. Bitkinin gelişimini, olgunluğunu çabuklaştırır ve alınan ürünün kalite yönünden ve verim yönünden etkiler. Fosfatlı gübreler de hayvan kemiklerinden elde edilen ve içerisine çeşitli kimyasal bileşenlerin yapay bir gübre çeşidi olup bitkilerin kök ve gövdesinin büyümesi için gerekli bir gübredir. Potasyumlu gübreler suda çözünebilen, potasyum bulunan kaya ve yataklardan üretilerek zenginleştirilir ve gübre şekline getirilir. Bitkinin dayanıklılığını ve ürünün kalitesini yükselten bir gübre çeşididir. Kompoze gübreler ise iki veya daha fazla besin maddesi bulunan gübre çeşididir (Şahin, 2016).

1.16.2.1. Yapay gübrelerin yararları

Bitkiler büyümek ve gelişmek için topraktaki minerallere ihtiyaç duymaktadır. Fakat bölgesel toprak farklılıklarından dolayı bazı gerekli besini topraktan alamayan bitki gübreye ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde doğal gübrelerin yeterince bulunamamasından ve tarım arazilerinin devletin çeşitli teşviklerinden ötürü kullanılan yapay gübre miktarında artış gözlenmektedir. Çiftçiler gerekli besini topraktan alamayan bitkiler için yapay gübre kullanmaktadırlar. Yapay gübreler yeteri kadar kullanılırsa topraktaki yetersiz mineralleri bitkiye aktarır ve çiftçiler yüksek verim alarak ekonomik kazanç elde etmiş olurlar. Yapay gübrelerin üretimi tüketimi karşılayamadığı için genellikle ithal edilmektedir (Şekil 1.22).



Şekil 1.21. Yapay Gübre Üretim-Tüketim Karşılaştırması (Eraslan ve ark, 2016)

Ülkemizde yeteri kadar gübre üretilememesinin çeşitli nedenleri vardır. Örneğin kimyasal gübre sanayimizin gübre ihtiyacımızın çoğunluğunu karşılayabilecek kapasiteye sahip olduğu halde çeşitli sebeplerden dolayı tam kapasite çalışamaması tüketimimizin ancak %60'ını karşılamaktadır. Ayrıca çiftçinin alım gücü, toplumsal bilincin hala yeteri kadar gelişme göstermemesi, fiyat artışları, kullanılması gereken gübre miktarını da aşağıya çeken temel sebeplerin başında gelmektedir. Yapay gübreler yeterince kullanılarak toprağa uygulanırsa verim artar, ekonomik gelişme gerçekleşir ve ayrıca ülke geneline yetecek kadar besin maddesi elde edilmiş olur. Böylelikle ülkemiz tarımsal anlamda dışarı bağımlı kalmaktan

kurtulur ve tüketicinin ihtiyacı olan besin maddeleri karşılanmış olur (Eraslan ve ark, 2016).

1.16.2.2.Yapay gübrelerin zararları

Yapay gübrelerin zararlarına bakacak olursak miktarından fazla kullanılan gübre suda bulunan nitrat miktarının yükselmesine, toprak yüzeyinin aşınarak erozyonun tetiklenmesine, yapay gübrelerin sulara karışarak akarsu ve nehirlerde fosfat miktarının yükselmesine sebebiyet verir. Ekim arazisine uygulanan gübrenin önemli bir kısmı tatlı su sistemlerine girer ve nehirler tarafından kıyı bölgelerine taşınan yapay gübreler kıyı ve deniz ekosisteminin ötrofikasyonu (plankton ve alg varlığında aşırı çoğalma) ile sonuçlanır. Örnek verecek olursak Çin 2020 yılına kadar ulusal gübre kullanımını için gıda üretimiyle ilgili çevresel maliyetleri azaltmayı amaçlayan ilan edilmiş bir ‘’Sıfır Artış Eylem Planı’’ uygulayarak 2015’ten itibaren gübre kullanımını azaltmaya başlamıştır. Toprağın pH değerinde düşüşe sebep olan yapay gübreler yoğun olarak kullanıldığında toprağın fakirleşmesine neden olur. Orantısız kullanılan yapay gübreler çevre üzerinde de olumsuz etkiler doğurmaktadır. Gübrelerden atmosfere salınan azot miktarındaki artıştan ötürü gazlar üzerinde bir dengesizlik meydana getirmektedir. Bilimsel kurallara uyulmadan yapılan gübreleme çiftçilerin kalitesiz ürün elde etmesine sebep olur ve üründen alınan verim ciddi manada düşer. Yapay gübrelerin zararlarından en fazla etkilenenler ise şüphesiz canlılar olacaktır. Meralardan otlanan hayvanlar, bu hayvanların etlerini tüketen insanlar ve ayrıca topraktan çıkan ürünü tüketen insanoğlu en büyük etkiyi vücuduna aldığı kimyasalla hisseder (Li, 2018).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar bölümünde tez konumla benzerlik taşıyan önceden yapılmış çeşitli çalışmaları içermektedir. Yurt içi ve yurt dışında yapay gübrelerle alakalı yapılmış çeşitli çalışmalardaki verilerin dünya standartları içerisinde olup olmadığı ile ilgili doğal radyoaktivite seviyelerinin belirlenmesine yönelik bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur. Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesinde satışı yapılan 6 adet birbirinden farklı özelliklerdeki gübrelerde ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyo nüklitlerin çok özel aktivite değerleri NaI(Tl) detektörü ile belirlenmiştir. Ölçümler gübre örneklerindeki ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K için çok özel aktivitelerin ortalamalarının sırası ile 19.6(3.9-32.9), 30.3(11.4-39.9) ve 664.6(42.6-3481) Bq/kg olduğu ortaya çıkmıştır. Kullanılan gübrelerde ölçülen doğal radyo nüklitlerin yaklaşık miktarları, diğer farklı ülkelerde bulunan değerlerle çelişmemektedir. Yapılan çalışma, yapay gübrelerin tarımsal kullanımına bakılarak, insanların radyasyonla karşı karşıya kalmasının belirlenmesi için kullanılabilecek faydalı bilgiler içermektedir'' (Cengiz, 2019).

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde yapılan kimyasal gübrelerin etraftaki kirliliğe etkileri ve çözüm önerileri isimli çalışmada, tarımsal olarak en önemlilerinden birisi olan yapay gübreleme bir taraftan üretimde katkı sunarken diğer taraftan da bazı olumsuzluklar oluşturabilmektedir. Uygulamadaki miktar ve süre bu olumsuzlukların oluşmasında önemli faktörler olarak baş göstermektedir. Türkiye de bitki besin türüne göre gübre tüketim miktarı (83 kg/ha) dünya standartlarının (95 kg/ha) altına denk gelmektedir. Toprağa uygulanan gübre zamana göre değişmekle beraber bazı zamanlarda oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Tarım topraklarında kimyasal gübrelemeden uzaklaşılamayacağı gerçeği dikkate alındığında, olumsuzlukların giderilmesi ve özellikle doğal gübrelerle desteklenmesi gerekir. Ülkemiz toprağının yaklaşık %70'i doğal madde bakımından yeterliliğe ulaşamamıştır. Doğal gübre uygulamalarına zamanla arttırarak yapay gübrelerin negatif etkilerinin azaltılmasında önemli bir etken olabilecektir. Yapay gübreler uzman eşliğinde analizine dayanarak hazırlanmış sistemli bir gübreleme

programı ile uygulandığında çevredeki olumsuz etkileri azalacak, ekonomik getiri ve yüksek verim elde edilecektir. Toprak, bitki ve su değerleri gübre aktarımında öncelikli faktörler olarak incelenmeli ve uygun sulama sistemlerinin de seçilmesi öncelik olmalıdır. Gübre kullanımını azaltmak ve etkili gübreleme oluşturan damla sulama yönteminin yaygın hale gelmesi öncelik teşkil etmelidir. Ayriyeten tarımsal bölgelerin yakınlarında barınan yeraltı sularını kullanan insanların bu suları kullanacaklarına, su kaynaklarına yönlendirilmeleri ve yapay gübreden yeraltı sularına karışabilecek canlı sağlığına zararlı etkilerden korunmalarında önemli katkı oluşturacaktır'' (Sönmez, 2008).

Ülkemizde gübre kullanımı ve gübrelemede yaşanan sıkıntılar isimli çalışmada, bütün ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de tarımsal girintiler içinde makineleşmenin sonrasında gübreleme ikinci sırada yerini almaktadır. Türkiye'nin tarımında 1950'lerde baş gösteren yapay gübreleme 1970'lere doğru artış kazanmaya doğru ilerlemiştir. Başta sarfiyat 1 milyon tona ulaşmazken son zamanlarda 5 milyon tonun altına düştüğü görülmemiştir. Bundan dolayı ülkemizde yapay gübre üretim ve kullanılması pek çok sıkıntıyı da oluşturmuştur. Türkiye de beklenen verim hem gerçekleşememiş hem de gübrelemeden kaynaklı çeşitli zararlar çok ciddi boyutlara ulaşmıştır. İnsanların bilinçlenmesi ve insan sağlığına verilen değerin artması ile tarımsal gübre aşamasında gübre çeşitleri ile ilgili daha bilinçlenmiş köylü kitlesinin eğitimi ilk sırada yer almalıdır. Ürün elde etme aşamasındaki bilgilendirme gübrelemeden gelebilecek olumsuzlukların giderilmesi asıl unsurlardandır. Asıl önemli olan bir konuda gübre üretiminde ve pazarlama aşamasında bir standart belirlenmesi gerçeğidir. Ülkemizde yurtdışından karşılanan hazır gübreler yurt içinde tekrardan paketlenerek yerli ürünmüş gibi satışa sürülmesidir. Gerçekdışı gübre olarak bilinen bu gübreler ülkemizdeki verilerin güvenirliğini düşürmektedir. Gübrede dışalım, dışsatım ve gübre üretiminde temin edilen ürünlerin verilerinin takip edilmesi ve kaydedilmesi önem arz etmektedir'' (Şahin, 2016).

Ülkemizde yapay gübre üretim ve tüketim halinde oluşan sorunlar, çözüm kısmı ve yenilikler adlı çalışmada, ülkemizde 1985 ile 2008 yılları arasında kimyasal gübre üretiminin yetersizliği görülmektedir. Gübre üretiminde yaşanan hammadde

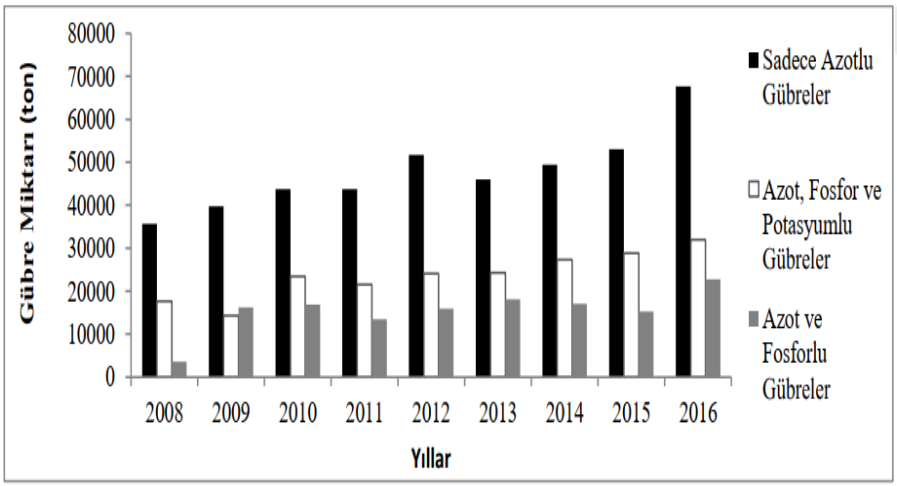
sıkıntısı üretimin yetersizliğinin önemli sorunlarından biridir. Türkiye de yıllara göre destek ve teşvikler artış gösterse de hala istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Sürdürülebilir tarımın sağlanabilmesi için topraktan alınamayan besin mineralleri gübreler aracılığı ile alındığı için, toprağın ve bitkinin analizleri sonucu uygulama aşamasına geçilmelidir. Türkiye için uygun gübreler, azotlu gübre, fosforlu gübre, potasyumlu gübre, kompoze gübreler, sıvı gübreler, mikro element gübreler, mikrobiyolojik gübreler ve yaprak gübrelerdir. Türkiye'nin artan nüfusu ve değişim gösteren beslenme şekilleri tarımsal üretimi gerekliliğini ispatlamaktadır. Tarımsal ürünleri ve verimi belli bir seviyeye getirmek için güvenilir tohumlar, gübre ve gelişen teknoloji ile birim alan başına elde edilen verimin arttırılarak çiftçilerin bilinçlendirilmesi ile çevresel etkiler en aza indirgenerek sorunlar ortadan kaldırılacaktır'' (Eraslan, 2009).

Kırklareli Üniversitesinde yapılmış olan toprak numunelerinde doğal radyoaktivite ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktif tehdidinin belirlenmesi isimli deneysel çalışma yapılmıştır. Türkiye'nin Edirne ve Kırklareli şehirleri arasında otoban kenarlarından temin edilen toprak numunelerinde ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyo nüklidlerinin değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin 10.5 ± 1.0 ile 33.3 ± 2.7, 17.4 ± 0.7 ile 56.0 ± 1.9 ve 102.1 ± 14.5 ile 1126.9 ± 15.8 Bq/kg olduğu görülmüştür. Çalışmada toprakta ölçülen doğal radyonüklid konsantrasyonu tüm radyolojik sınırı yeryüzü için belirlenen sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür'' (Aközcan, 2020).

İzmir ili Urla bölgesi tarımsal alanlarda doğal radyoaktivitenin bulunması isimli çalışmada, dünya bir karasal radyasyon kaynağı olduğundan dolayı uranyum elementi, toryum elementi ve bozunma ürünleri her tarafta bulunmaktadır. Çalışmadaki bölge topraklarında doğal radyasyon seviyelerinin bulunması asıl hedef olarak görülmüştür. Temin edilen toprak örneklerinde gama radyoaktivite değerleri NaI sintilasyon detektörü ile bulunmuştur. Buna göre ^{226}Ra değerlerinin 12.0 ile 34.8 Bq/kg aralığında ^{232}Th değerlerinin 16.0 ile 37.3 Bq/kg aralığında, ^{40}K konsantrasyonlarının sonuçları 251.3 ile 767.2 Bq/kg arasında olduğu tespit edilmiştir. Radyoaktivite dünya yüzeyinde her bölgede farklı miktardadır. Canlı varlıklar radyasyona daima uğrarlar. Bazı bölgelerde ise bazen bu değer artış

gösterebilmektedir. Örnek verecek olursak uranyumun yoğun olduğu bölgeler, jeotermal bölgelerin olduğu topraklar, madenlerin olduğu bölümlerde doğal radyoaktivite değerinde artma görülmüştür. Topraklarda yüksek miktar görülebilmesi tüm bitki, su ve canlıları etki altına almaktadır. Topraktan bitki ve suya geçen radyasyon miktarı bunun aracılığı ile canlı varlıklara geçmektedir. Bu sebepten ötürü radyasyon değerlerinin belirlenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması önem arz etmektedir. Birçok sağlık problemi bazen fark etmeden görülmektedir. Yapılan bu çalışmada veri değerlerine bakıldığında Urla ilçesi için böyle bir riskin olmadığı tespit edilmiştir'' (Saç, 2016).

Bursa da yapılan yapay gübre tüketim ve değerlendirilmesi isimli çalışma, 2008 ile 2016 süreleri aralığında kullanılan yapay gübre yapılarına göre derlenerek senelik değerleri ve bölgelere göre kullanım değerleri tespit edilmiştir. Bursa da nüfusun çoğalması ve dışsatım miktarlarının artmasıyla birlikte tarımsal üretimde gübre kullanım miktarı artış göstermiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bazı Gübrelerin Yıllık Kullanım Miktarları (Kâtip, 2020)

Çalışmada yapılan istatistiksel değerlere göre Bursa ilinde toplam yapay gübre tüketiminin artış gösterdiği görülmüş olup en üst ilgileşim değerleri azot, fosfor ve potasyumlu yapay gübreler ile tarımsal bitkileri ve sebze üretiminde artış gerçekleşmiştir. 6 gübre çeşidinden 3 tanesi olan azotlu, azotlu ve fosforlu ve azot,

fosfor ve potasyumlu bitkisel üretim ile artı bir ilişkili olarak daha etkili olduğu tespit edilmiştir'' (Kâtip, 2020).

Cezayir'in Setif bölgesinde yapılan çalışmada, Cezayir'de üretilen birkaç ticari gübrede radyoaktivitenin içeriğini belirlemek ve ekili bir topraktaki fosfat gübrelerinin doğal radyo nüklidlerinin akışkanlarını belirlemek için yapılmıştır. Bu amaç için Cezayir'deki bölgesinin dışında ve bu bölgede kullanılan fosfat gübrelerinden kullanılmış topraklar toplanmıştır. Gama spektrometresi tekniği ile Setif alanlarından alınan beş tür numunede Ra, Th ve K'ye bağlı aktivite konsantrasyonu belirlenmiştir. Gübrelenmemiş toprak ve gübrelenmiş topraklar için sırasıyla değerlerimiz 47.01±7.3, 33.0±7.0, 329.4±19.7 Bq/kg olarak belirlenmiştir (Wassila, 2011).

Nijerya'nın Kaduna kentinde aktif bir fosfat gübre tesisinin çevresindeki ekili arazilerde toprak ve sebze numunelerinde doğal radyoaktivite değerleri tespit edilmiştir. Toprak örneklerindeki radyonüklidlerin ortalama aktivite konsantrasyonu Ra için 20.5±7.3 ile 31.6±4.1 Bq/kg arasında değişmektedir. Th için 19.6±1.6 ile 53.2±3.7 Bq/kg arasında değişmektedir. K için ise 203.9±6.3 ile 253.6±9.5 Bq/kg arasında değişmektedir (Mark, 2012).

Suudi Arabistan Krallığında kullanılan kimyasal ve organik gübrelerde doğal radyoaktivite seviyeleri ve ağır metaller isimli çalışmada kimyasal ve organik gübrelerde doğal olarak ortaya çıkan radyonüklidlerin Ra ve Th serilerinin ve K'nin aktivite seviyelerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Toplam 30 örnek gübrenin 20 tanesi fosfatlı gübre ve 10 tanesi organik gübredir. NaI(Tl) detektör ile ölçümler tespit edilmiştir. Kimyasal gübrelerde ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyoaktivite düzeyleri sırası ile 51.5±5.2-106.3±7.5, 5.1±1.6-9.9±3.2 ve 462.6±21.0-607.3±14.0 Bq/kg olduğu tespit edilmiştir (El-Taher, 2012).

Brezilyanın Rio de Janeiro kentinde pazarlanan mineral gübre numunelerinde ^{226}Ra, ^{228}Ra ve ^{40}K'a özgü faaliyetlerin belirlenmesi isimli çalışmada, gübre örnekleri Rio de Janeiro şehrinden toplandı ve yüksek çözünürlüklü germanyum(HPGe)

detektörü kullanılarak analiz edildi. ^{226}Ra, ^{228}Ra ve ^{40}K sırası ile 1.48-597, 2.66-832 ve 16-13941 Bq/kg arasında değişmektedir. Yapılan bu çalışma dünya standartları içerisinde olduğu belirtilip insan sağlığı açısından ihmal edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir (Jose, 2018).

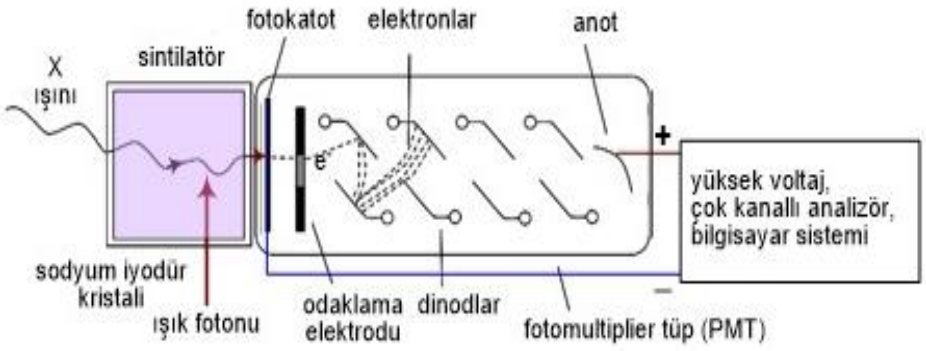
Bangladeş'te kullanılan kimyasal gübrelerde radyoaktivite isimli çalışmada, Bangladeş'in tarım topraklarında kullanılan farklı kimyasal gübrelerde Th ve K, Üçlü süper fosfat, tek süper fosfat, diamonyum fosfat(DAP) yüksek çözünürlüklü germanyum(HPGe) detektörü kullanılarak analiz edildi. Gübre örneklerinde Ra 4.8±0.8 ile 323.8±24.4 Bq/kg arasında değişmektedir. Th değerleri 3.4±1.7 ile 22.0±2.8 Bq/kg arasındadır. K ise 7.9±2.4 ile 12628.5±169.0 Bq/kg arasında değişim göstermektedir (Alam, 1997).

Suudi Arabistan da kimyasal gübreler ve çevrenin eser metal kirleticisi isimli çalışmada gama ışını spektrometresi ve Cr-39 detektörü kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonucunda ^{226}Ra değeri 5.6±2.8 ile 392±18 Bq/kg arasında değişmektedir. ^{40}K değerleri ise 18.4±3 ile 16476±820 Bq/kg değerleri arasında değişmektedir (Alshahri, 2015).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullandığımız Sodyum İyodür Detektörü, Enerji ve Verim Kalibrasyonu

Nükleer fizik uğraştığı radyasyon için gazlı sayaçların kullanışsız yanı verimlerinin yetersiz olmasıdır. İyonların ve elektronların yetecek kadar çoğalıp elektronik atımların gelişebilmesi için yüksek elektrik alana maruz kalabilecek detektör maddesine gerek vardır. Yüksek verime sahip ve yeterli çözüm gücüne sahip sayaçlar 1950'lerde iyileştirilmiştir. İyonlaşmanın sebebiyle gerçekleşen elektronlar elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki oluşan ikilemi, iyonlaşma elektronuyla puls elektronları bitişikliğinde bir aracı olan ışıkla çözer.



Şekil 3.1. Sintilasyon detektörü (Krane, 2001)

Yukarıda Şekil 3.1'de görülen sintilasyon detektöründe gelen radyasyon detektöre giriş yapar ve atomları üst yörünge düzeyine ulaştıran aşırı miktarda etkileşim gerçekleştirir. Üst yörüngeye uyarılmış durumlar hızla insan gözünün algılayabildiği bölgede yani görünür bölgede ışık çıkarırlar (410 nm). Böyle maddelere ‘‘fluoresans’’ denilmektedir. Foto algılamalı kısma çarpan ışık, her bir fotona en çok bir foto elektronun gönderilmesine sebep olur. İkinci kısımdaki elektronlar foto çoğaltıcı kısımda çoğaltılarak hız kazandırılır ve çıkış atımları halini alması sağlanır (Krane, 2001).

Üründen çıkış yapan radyasyon detektöre giriş yapar ve atomları uyarılmış üst kısımlara çıkaran çok fazla miktarda etkileşim olur. Üst yörünge durumdaki elektronlar taban duruma inerken deşiklerle birleşerek görünür bölgede ışık yayınlarlar. Bu sintilasyon fotonları fotona karşı hassas yüzeyle etkileşerek foton başına bir fotoelektron bırakılmasına sebep olur. Bu gruptaki elektronlar, anoda doğru hızlandırılır, fotoçoğaltıcı kısımda arttırılır ve çıkış atımları haline devinilir. Foto çoğaltıcı tüpler, az miktarda ışığı çoğaltır ve çıkışta yüksek bir puls elde eder. Verimleri oldukça yüksek bu detektörler uygun çözme gücüne de sahiptirler. Bu detektörlerin önemli özelliklerinden birisi de gelen radyasyonun enerjisi ile çıkan sintilasyon fotonun sayısıyla orantılı olmasıdır.

Sintilatörler yüksek enerjili fotonların çarpmasıyla görülebilir dalga boylarında düşük enerjili fotonlar yayınlayan kristallerdir. Sintilatör kristallerinin asıl görevi ise gelen yüksek enerjili radyasyonu görünür ışık fotonuna çevirmektir.

Sintilatörler organik ve inorganik sintilatörler olmak üzere iki çeşittir. Araştırmamızda kullanmış olduğumuz detektör bir inorganik sintilatör detektörüdür. İnorganik sintilatörler genel olarak alkali metallerin kristalleridir. Gama ışınlarının tespiti için en yaygın olarak kullanılan detektör NaI(Tl) detektörüdür. İnorganik sintilatörler yüksek ışık verimine ve yoğunluğuna sahip olmaları, enerji çözünürlüklerinin iyi olması avantajlarının arasında sayılabilir. Fakat üretimlerinin pahalı olması, yüksek sıcaklık bağımlılığının olması inorganik sintilatör detektörlerinin dezavantajlı yönleri olarak sayılabilir.

Sintilatör detektörlerinin enerji ve verim kalibrasyonları her ölçme işleminden önce yapılması gerekir. Sintilatör detektörlerini enerji kalibrasyonu yapmamızın amacı; enerjisi önceden bilinen bilgisayar hafızasındaki radyasyonun spektrumunu ölçmek spektrumdaki kanal numarasının hangi enerjiye denk geldiğini belirlemektir. Böylelikle numunede var olan radyoaktif çekirdek çeşitleri bulunur. Kalibrasyon yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli olay ise seçilen enerjinin kullanılan spektrometrenin tüm aralığını kapsayacak şekilde olmasıdır. Enerji kalibrasyonu için daima enerjileri bilinen standart kaynaklar kullanılmaktadır. NaI(Tl) detektörü için

^{60}Co'ın 1.173 MeV ve 1.332 MeV, ^{133}Ba'nin 0.082 MeV, ^{208}Tl'un2.614 MeV, ^{212}Bi 1.764 MeV ve ^{137}Cs'nin 0.662 MeV enerjideki piki kullanılarak kalibre edilmiştir. Çizelge 3.1 de bazı radyoaktif çekirdeklerin enerji kalibrasyonu için önerilen standart gama kalibrasyon kaynaklarıdır.

Çizelge 3.1. Enerji Kalibrasyonu İçin Önerilen Radyoaktif Çekirdekler (Krane, 2001)

Radyoizotop	Yarılanma Süresi($t_{1/2}$)	E_γ(keV)
^{241}Am	432.7 yıl	59.54
^{57}Co	271.8 gün	122.06
^{60}Co	5.27 yıl	1173.24
^{137}Cs	30.1 yıl	661.67
^{54}Mn	312.1 gün	834.84
^{22}Na	1.61 yıl	1274.52

Sintilatör detektörlerinin verim kalibrasyonu kaynaktan yayınlanan gama ışınları sayısı ile spektrumda yapılan sayımların sayısı arasındaki ilişkiyi verim sağlar. Radyoaktivite miktarını belirleyebilmek için spektrumdaki pik alanına ve verimine gerek duyulmaktadır. Pik verimi aktivitesi net bildiğimiz standart kaynaklar kullanılarak bulunur. Verim kalibrasyonunu yapabilmek için belli standartlara sahip radyonüklidler seçilmelidir.

$$\varepsilon = \frac{Net\ Sayım}{A.P_\gamma.m.t} \tag{3.1}$$

Yukarıda denklem 3.1'de görüldüğü gibi A, gama standart kaynağında bulunan radyonüklidlerin bilinen aktivitesi, P_γ ise yayınlanan gama ışınının yayınlanma ihtimali ve t ise kaynağın detektörde ölçme süresidir (Kabul, 2021).

Bu çalışmam da TAEK tarafından gönderilen ve içinde belirli aktivite değerlerine karşılık gelen verim ve hatalar belirlendi ve hesaplamalarda kullanıldı.

3.2.Ölçme İşlemi ve Ölçmede Hata

Plastik kaplardaki ölçme işlemine hazır hale gelen yapay gübre ve toprak numuneleri Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer radyasyon ölçme laboratuvarında ve bizim tarafımızdan enerji kalibrasyonu yapılarak ORTEC markalı NaI(Tl) sintilasyon detektöründe (Şekil 3.4) gama spektrometrik sayım sisteminde her bir numune için 1 gün (86400 saniye) sayım yapılıp kaydedilmiştir. Kullanmış olduğumuz sintilasyon detektörünün enerji çözme gücü az olduğundan dolayı çakışma olasılığının çok az olan pikleri seçtik.

Ölçme işleminde hata ve belirsizliğe çeşitli kaynaklar sebep olabilmektedir. Bu hatalar net sayım işleminden, detektör verim değerinden, gama ışını yayınlanma ihtimalinden, düzeltme faktöründen ve kütle ölçümünden kaynaklanan hatalar olabilmektedir. Spektrumdaki net sayım değeri, dolu sayım değerlerinden boş sayım değerleri çıkarılarak bulunur (Denklem 3.2).

$$N_{net}=N_{dolu}-N_{boş} \tag{3.2}$$

Net sayımda belirsizlik denklem 3.3'te her bir sayımdaki belirsizliklerin toplamı ile bulunur.

$$\sigma_{Net}=\sqrt{(\sigma_{N_{dolu}})^2+(\sigma_{N_{boş}})^2} \tag{3.3}$$

$\sigma_{A;}$ aktivite hesabındaki belirsizliği, $\sigma_{Net;}$ net sayımdaki belirsizliği, $\sigma_{P\gamma;}$ gama fotonu yayınlamasının belirsizliği, $\sigma_{\varepsilon;}$ detektör verimindeki belirsizliği, $\sigma_{m;}$ örneklerin kütlesinin ölçümündeki belirsizlik olup

$$\frac{\sigma_A}{A}=\sqrt{(\frac{\sigma_{N_{net}}}{N_{net}})^2+(\frac{\sigma_{P_\gamma}}{P_\gamma})^2+(\frac{\sigma_\varepsilon}{\varepsilon})^2+(\frac{\sigma_m}{m})^2} \tag{3.4}$$

değeri ile hesaplanır (Denklem 3.4). Yukarıdaki denklem 3.4'te eşitliğin sol tarafında payda kısmında bulunan A ise her örnek için aktivitedir.

Ölçülen en küçük aktivite (MDA) ise güvenilecek belli bir düzeyde ölçtüğümüz veya değerlendirilen aktivite sonucudur. MDA değerinin bağlı olduğu parametreler; sayım cihazı, sayım zamanı ve arka fon sayım miktarına bağımlıdır. MDA değeri sadece bir örnekteki belirtici değeri olamaz. Nükleer sayım programında kapsam faktörü % 95 güvenirlik değerinde 1.645 olarak alınmaktadır (Altıntas, 2019).

MDA değerinin belirlenmesi çevre radyoaktivite değerlerinin gerçeklik ve doğrulaması açısından önem arz etmektedir. Sayma sırasında elde edilen aktivite değerlerinin güvenilir doğrulukta değerlendirilmesi MDA değerlerinin üst düzeyde değer atfetmesi gereklidir. Yaptığımız laboratuvar çalışmasında MDA değerlerinin hesaplanmasında denklem 3.5 kullanılmıştır.

$$MDA=\frac{1.645.\sigma_{Nb}}{\varepsilon P_{\gamma} tm} \quad (3.5)$$

σ_{Nb}; ilgilenilen foto piklerin arka fondaki standart sapması veya her bir foto pikteki net sayım değerlerinin karekökü,
ε; detektörün verimi,
$P_{\gamma;}$ yayınlanma olasılığı,
t; ölçme zamanı
m; örneğin kütlesidir.

Yaptığımız değerlendirmede elde ettiğimiz bütün aktivite verileri MDA değerinden daha fazla bulundu (Kabul, 2021).

3.3. Analizimiz

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kullanılan yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite ölçümü yapılarak topraktaki etkisi incelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi verimli toprak yapısı ve elverişli tarım arazileri ile ön plana çıkmaktadır. Bu bölgede bitkilerin topraktan alması gereken besin ihtiyacı tamamen karşılanamadığı için gübrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Gübreler yapısı itibariyle doğal

ve yapay gübreler olmak üzere iki çeşittir. Çiftçilerin daha fazla verim elde etmek için kullandığı yapay gübreler gün geçtikçe artış göstermektedir. Daha profesyonel ve yapay gübrelerin içeriklerinin bilinerek daha bilinçli tarım yapılabilmesi için çiftçilerin kullandıkları yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite miktarının dünya standartlarının içerisinde olup olmadığı belirlenmiştir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesine satış yapan gübre bölge bayilerinden yapay gübreler temin edilerek numuneler kurutma işleminden önce yabancı maddelerden arındırılarak kurutma işlemine geçilmiştir. 10-15 gün kurutulmaya bırakılan numuneler daha sonra öğütülerek toz haline getirilmiştir (Şekil 3.2(a)). Kurutulmuş gübreler toz haline getirildikten sonra nemlerinden arındırılması için etüvde yaklaşık olarak 50-60^{0}C'ler de 90 dakika kurutulmaya bırakılmıştır (Şekil 3.2 (b)).



a) (b)

Şekil 3.2. (a)Numune Öğütme Cihazı (b)Etüv Cihazı

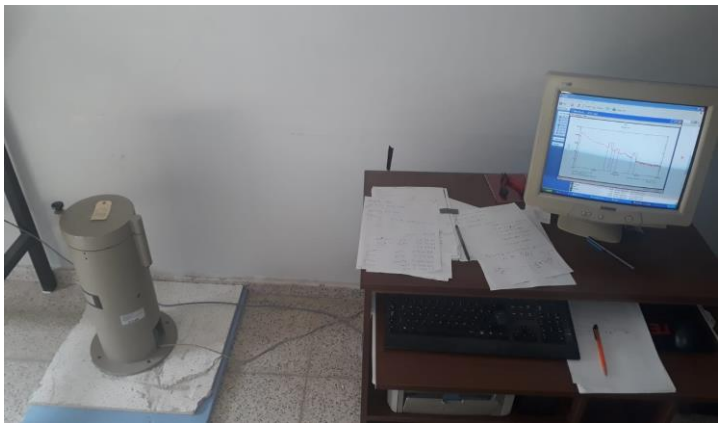
Numunenin içerisinde bulunan nem, ölçüm sonucuna etki eden hataya sebep olabileceği için tamamen nemden arındırılması gerekmektedir. Etüvde kurutulan numuneler darası alınmış ölçüm kaplarına konularak hava almayacak şekilde kapakları kapatılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yapay Gübre ve Toprak Numuneleri

Sızdırmaz bir hale gelen ölçüm kapları ^{226}Ra ve radyumun ürün çekirdeği olan ^{222}Rn arasındaki kalıcı dengeyi sağlaması adına yaklaşık olarak 20-22 gün bekletilmeye bırakılmıştır. Böylelikle toz halindeki yapay gübre ve toprak numuneleri radyoaktivite ölçme işlemine hazır hale getirilmiştir.

Plastik kaplardaki ölçme işlemine hazır hale gelen yapay gübre ve toprak numuneleri Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer radyasyon ölçüm laboratuvarında bulunan ve bizim tarafımızdan enerji kalibrasyonunu yaptığımız ORTEC isimli NaI(Tl) sintilasyon detektöründe(Şekil 3.4) gama spektrometrik sayım sisteminde her bir numune için 1 gün(86400 saniye) sayım yapılıp kaydedilmiştir. Gama spektrometresinde, detektörün kristal kısmına gelen gama ışınlarının enerjisiyle doğru orantılı olarak oluşan puls 'lar ve bir ön artırıcıda işlenmesiyle bir dijital elde etmiş oluruz. Bu dijital analoğu sinyal dönüştürücüde sayısal veri haline getirilerek çok kanallı analizörün beyninde spektrum olarak kaydedilir ve ölçümümüz bunun gibi bir şekilde yapılmış olur.



Şekil 3.4. Bilgisayar Bağlantılı Sintilasyon Detektörü

NaI(Tl) sintilasyon detektörlerinin enerji çözünürlüğü az olduğundan spektrumda birbirine yaklaşan enerjili radyasyonların yüz yüze gelme olasılıklarının çok az olabileceği pikler seçilmiştir. Bu seçtiğimiz piklerin komple alanları spektrumda seçilip pik alanının hesabı bilgisayar programından faydalanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam alanlardan taban sayım alanları çıkartılıp net alanlar bulunmuştur. Aktivite değerlerinin hesaplanma işlemi denklem 3.6 yardımı ile belirlenmiştir.

$$A=\frac{N_{net}}{\varepsilon.P_{\gamma}.t.m} \qquad (3.6)$$

Yukarıdaki denklem 3.6 da;

A: Aktivite(Bq/kg),
N: Net sayımı,
ε: Detektör verimini,
P_{γ}: Yayınlanma olasılığını(%),
t: Sayım süresini ve
m: Numunenin kütlesini(kg) göstermektedir.

Yapay gübre numunelerimizde ^{238}U için radyoaktivite konsantrasyonu bulunurken ^{214}Bi'ün 1764 keV enerjili pikini, ^{232}Th için radyoaktivite

konsantrasyonları bulunurken ^{208}Tl'in 2614 keV enerjili pikini ve ^{40}K'ın 1461 keV enerjili pikinden faydalanarak radyoaktivite konsantrasyonları belirlenmiştir.

Aktivite formülünde kütle değerinin yazılabilmesi için öncelikle Şekil 3.5(a) da hassas terazi gerekli dengenin sağlanması için yer ayarı yapılır. Denge haline gelen hassas teraziye numune konulmadan önce numune kabının boş kütlesi tartılır (Şekil 3.5(b)). En sonunda Numune konulmuş olan plastik kap tartılarak kütle ölçümü gerçekleştirilir (Şekil 3.5 (c)). Buradaki amacımız sadece numunenin kütlesini tayin etmektir.



(a) (b) (c)

Şekil 3.5. (a)Hassas Terazi (b)Numune Kabı Boş Kütle Ölçümü (c)Dolu Numune Kütle Ölçümü

Bütün numuneler için işlem bu şekilde gerçekleştirilir. Numune doldurulduktan sonra ve numune doldurulmadan önce ölçülen değerler arasındaki fark bize net kütle değerlerimizi verecektir. Net kütlesi ölçülen numuneler Denklem 6.15' te ki aktivite formülünde yerine yazılarak formüldeki kütle değerleri yerini almış olur.

Aşağıdaki Çizelge 3.2 de 17 adet yapay gübre numunelerinin isimleri ve kullanım amaçları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Numuneler ve Kullanım Amaçları

Numune Kodu	Numune Adı	Kullanım Amacı
N1	Üre(%46 Azot)	Bitkilerin Azot ihtiyacını karşılamak için kullanılır
N2	DAP 18-46 (Diamonyum Fosfat)	Ekinlerin kök güçlenmesi ve tomurcuklanma için kullanılır
N3	DAP 18-46 (Farklı Firma)	Ekinlerin kök güçlenmesi ve tomurcuklanma için kullanılır
N4	Kükürtlü	Başaklardaki tanelerin dolgun olmasını sağlar
N5	NPK 20-20	Bol çiçek açması istenen bitkilerde kullanılır.
N6	CAN %26 N (Kalsiyum amonyum Nitrat)	Tahıllarda kullanılan bu gübrenin eksikliğinde yapraklar küçük kalır
N7	Şeker Gübresi %21 N (Amonyum Sülfat)	Meyve ağaçlarında ve sebze ekiminde kullanılır
N8	Süper Çinko 20-20	Dal, yaprak ve sürgün gelişimini arttırmak için kullanılır
N9	Granül Üre (%46 Azot)	Bitkilerin Azot ihtiyacını karşılamak için kullanılır
N10	Şeker Gübresi %21 N (Farklı Firma)	Meyve ağaçlarında ve sebze ekiminde kullanılır
N11	Özel Üretim	Potasyumu yüksek olan bu ürün, bitkilerin yan yatmasını önler
N12	Çinko 20-20 (Farklı Firma)	Dal, yaprak ve sürgün gelişimini arttırmak için kullanılır
N13	CAN %26 N (Farklı Firma)	Tahıllarda kullanılan bu gübrenin eksikliğinde yapraklar küçük kalır
N14	DAP 18-46 (Farklı Firma)	Ekinlerin kök güçlenmesi ve tomurcuklanma için kullanılır
N15	DAP 18-46 (Farklı Firma)	Ekinlerin kök güçlenmesi ve tomurcuklanma için kullanılır
N16	Granül Üre (Farklı Firma)	Bitkilerin Azot ihtiyacını karşılamak için kullanılır
N17	CAN %26 N (Farklı Firma)	Tahıllarda kullanılan bu gübrenin eksikliğinde yapraklar küçük kalır

Diğer geri kalan üç numuneden N18 gübresiz toprak, N19 gübreli(DAP 18-46) toprak ve N20 ise Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi ile Avrupa Birliği projesi işbirliğinde kurulmuş olan tesisten alınan doğal gübredir.

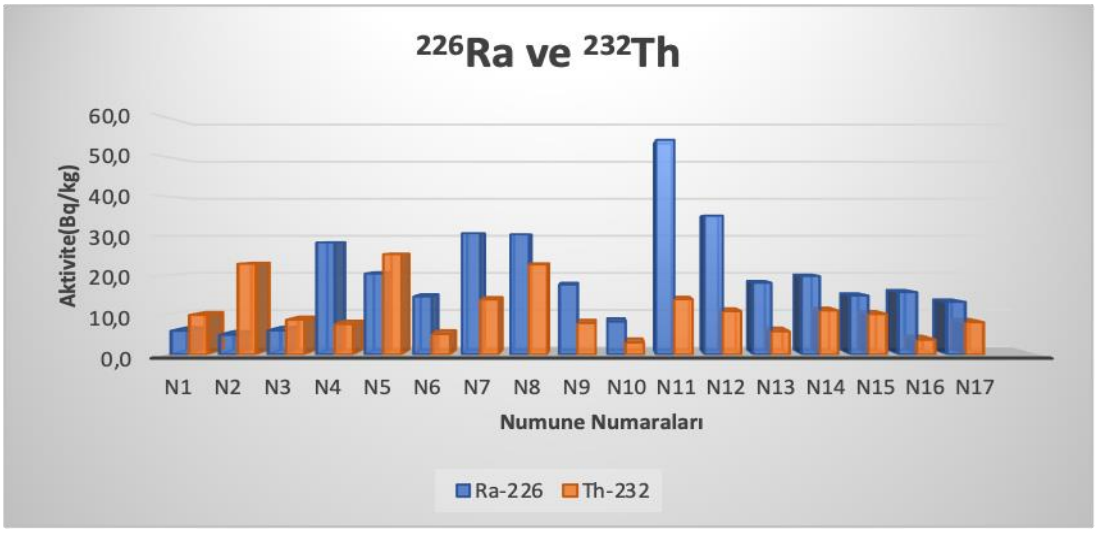
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesine, yapay gübre satışı yapan Şanlıurfa ilindeki gübre bölge bayilerinden alınan 17 adet yapay gübre, gübrenin uygulandığı toprak, gübresiz toprak ve Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesinin Avrupa Birliği ortaklığıyla açılmış olan doğal gübre tesisinden alınmış olan doğal gübre örneklerinin doğal radyoaktivite değerleri bulundu. Bu ölçümler Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Araştırma laboratuvarında NaI(Tl) detektörü ile gerçekleştirilmiştir.

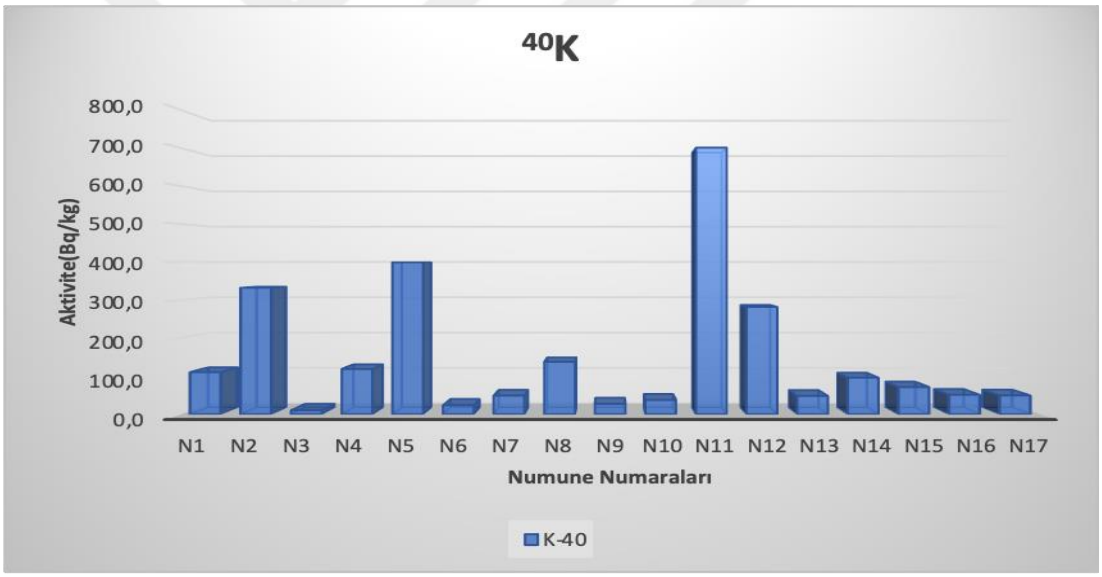
Bu örneklerden elde edilen radyoaktivite konsantrasyonları aşağıdaki gibi bulunmuştur (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Çalışmamızda ki Yapay Gübre Örneklerinde Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonları

	Aktivite Konsantrasyonu(Bq kg^{-1})		
Örnek Numuneler	Ra-226	Th-232	K-40
N1	6.0 ± 0.9	10.0 ± 0.7	110.7 ± 5.3
N2	5.0 ± 0.7	22.9 ± 1.4	332.2 ± 15.7
N3	6.1 ± 0.8	8.8 ± 0.5	10.5 ± 0.5
N4	28.3 ± 3.5	7.7 ± 0.5	118.9 ± 5.7
N5	20.5 ± 2.5	25.4 ± 1.6	399.2 ± 18.8
N6	14.7 ± 1.8	5.2 ± 0.3	23.7 ± 1.2
N7	30.7 ± 4.1	13.9 ± 0.9	49.0 ± 2.4
N8	30.4 ± 3.7	22.8 ± 1.4	137.9 ± 6.6
N9	17.7 ± 2.2	7.9 ± 0.5	27.3 ± 1.3
N10	8.3 ± 1.1	3.0 ± 0.2	37.3 ± 1.8
N11	54.3 ± 6.4	14.0 ± 0.9	700.5 ± 32.9
N12	35.1 ± 4.2	11.0 ± 0.7	282.1 ± 13.4
N13	18.1 ± 2.2	5.9 ± 0.3	48.1 ± 2.3
N14	19.8 ± 2.4	11.2 ± 0.7	96.0 ± 4.6
N15	14.9 ± 1.9	10.2 ± 0.6	71.4 ± 3.4
N16	15.8 ± 2.0	3.8 ± 0.2	51.1 ± 2.5
N17	13.3 ± 1.7	8.2 ± 0.5	49.5 ± 2.4
Ortalama	**19.9 ± 2.5**	**11.3 ± 0.7**	**149.7 ± 7.1**



Şekil 4.1. Yapay Gübrelerin ^{226}Ra ve ^{232}Th Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri



Şekil 4.2. Yapay Gübrelerin ^{40}K Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri

İncelediğimiz yapay gübre örneklerinden elde edilen numunelerin radyoaktivite konsantrasyonları ortalama olarak ^{226}Ra için 19.9 Bqkg^{-1}, ^{232}Th için 11.3 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için ise 149.7 Bqkg^{-1} bulunmuştur.

^{226}Ra aktivitesinin yapay gübrelerdeki en yüksek ve en düşük değerleri sırası ile 54.3 Bqkg^{-1} (N11) ve 5.0 Bqkg^{-1} (N2) olarak ölçülmüştür.

^{232}Th aktivitesinin yapay gübrelerdeki en yüksek ve en düşük değerleri sırası ile 25.4 Bqkg^{-1} (N5) ve 3.0 Bqkg^{-1} (N10) olarak ölçülmüştür.

^{40}K aktivitesinin yapay gübrelerdeki en yüksek ve en düşük değerleri sırası ile 700.5 Bqkg^{-1} (N11) ve 10.5 Bqkg^{-1} (N3) olarak ölçülmüştür.

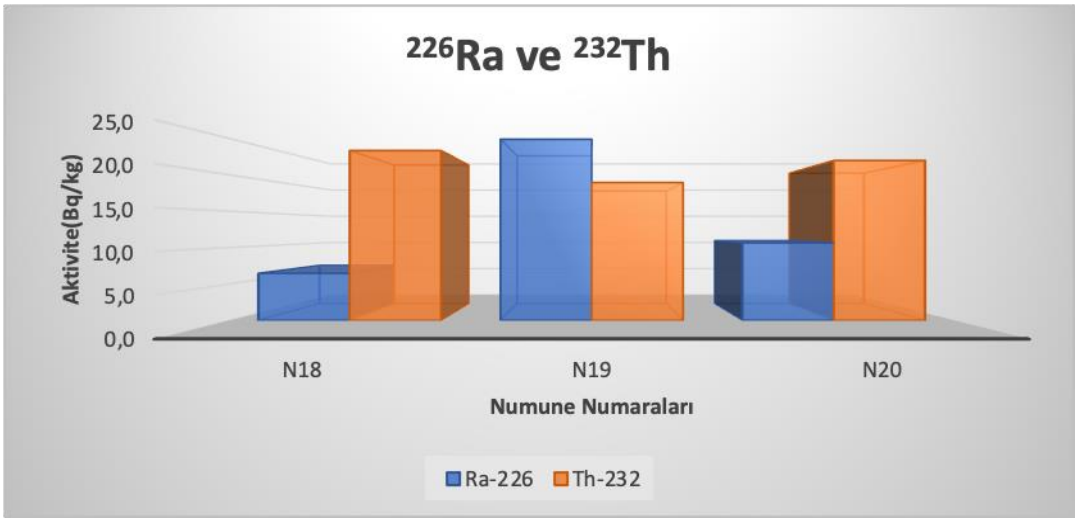
Bulduğumuz değerlerle diğer ülkelerde yapılmış olan çeşitli ölçümler kıyaslandığında ^{226}Ra için ortalama bulduğumuz değer 19.9 Bqkg^{-1} olup, Brezilyanın Rio de Janeiro kentinde pazarlanan gübre numunelerinde ki ^{226}Ra değeri 1.48-597 Bqkg^{-1} değerleri ve Bangladeş'teki gübre numunelerinde ki 4.8-323.8 Bqkg^{-1} arasında olduğu gözlemlenmiştir (Jose, 2018; Alam, 1997).

^{232}Th için bulduğumuz değer 11.3 Bqkg^{-1} olup, Finlandiya'da yapılmış olan çalışmada 11.0 Bqkg^{-1} olduğu tespit edilmiş olup bizim bulduğumuz değerle paralellik göstermektedir (Mustonen, 1985).

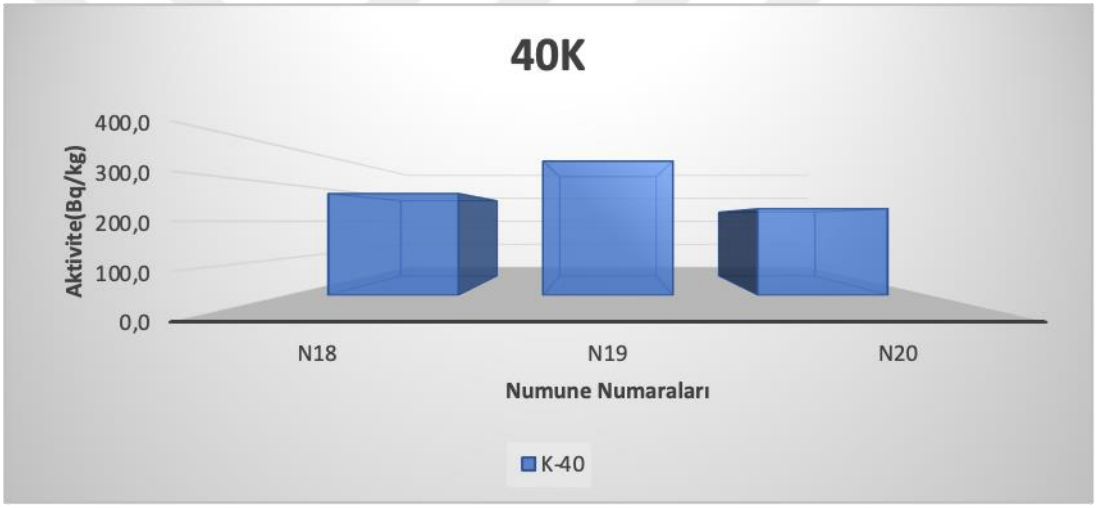
^{40}K için bulduğumuz değer 149.7 Bqkg^{-1} olup, Suudi Arabistan'da yapılmış olan çalışmada ^{40}K değeri 18.3 ile 16476.0 Bqkg^{-1} arasında olduğu gözlemlenmiştir (Alshahri, 2015).

Çizelge 4.2. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübre Örneklerindeki Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonu

	Aktivite Konsantrasyonu(Bq kg^{-1})		
Ornek Numuneler	Ra-226	Th-232	K-40
N18	6.5 ± 0.8	23.3 ± 1.5	275.0 ± 13.0
N19	24.9 ± 3.0	18.9 ± 1.2	362.5 ± 17.1
N20	10.6 ± 1.4	21.9 ± 1.4	233.7 ± 11.2



Şekil 4.3. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübrenin ^{226}Ra ve ^{232}Th Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri



Şekil 4.4. Gübresiz Toprak, Gübre Uygulanmış Toprak ve Doğal Gübrenin ^{40}K Radyoaktivite Konsantrasyon Değerleri

İncelediğimiz gübresiz toprak örneğinde elde edilen numunenin radyoaktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 6.5 Bqkg^{-1}, ^{232}Th için 23.3 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için ise 275.0 Bqkg^{-1}, gübre uygulanmış toprak örneğinde elde edilen numunenin radyoaktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 24.9 Bqkg^{-1}, ^{232}Th için 18.9 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için ise 362.5 Bqkg^{-1} ve doğal gübre örneğinden elde edilen numunenin radyoaktivite konsantrasyonları ^{226}Ra için 10.6 Bqkg^{-1}, ^{232}Th için 21.9 Bqkg^{-1} ve ^{40}K için ise 233.7 Bqkg^{-1} bulunmuştur.

Gübreli topraktaki ^{226}Ra değeri gübresiz topraktaki değere göre daha yüksek ölçülmüştür. Fakat ^{232}Th değeri ise gübresiz toprakta daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Gübreli topraktaki ^{40}K değerine baktığımızda da gübresiz toprağa göre radyoaktivite konsantrasyonu yüksek çıkmıştır

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kullanılan yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite ölçümü ve topraktaki etkisi isimli tez çalışmamda yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite düzeylerinin tayin edilebilmesi için deneysel çalışmalar ve araştırmalar yapıldı.

Bu çalışmada Şanlıurfa ilinde Güneydoğu Anadolu Bölgesine dağıtım yapan gübre bölge bayilerinden yapay gübreler temin edilerek, yapay gübrelerin radyoaktivite konsantrasyonları gama spektroskopik sayım sistemiyle ölçümleri yapıldı. Yapılan ölçüm sayesinde bütün numunelerde ^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K radyonüklidlerin aktivite konsantrasyonları bu radyonüklidlerin bozunma ürünleri olan doğal radyonüklidler aracılığı ile belirlendi.

Yaptığımız çalışmada ölçtüğümüz yapay gübrelerdeki aktivite konsantrasyonlarının diğer bazı ülkelerde bildirilen değerler arasında olduğu görülmüştür. İncelemiş olduğumuz yapay gübrelerdeki doğal radyoaktivite değerlerinin belli aralıklar arasında değişmesinin sebebi ise ham maddenin temini sırasında jeolojik farklılıklar, birbirinden farklı üretim tekniği kullanan fabrikaların üretim yöntemlerinde ki faktörlerden dolayı değişiklik göstermektedir. Gübreli topraktaki aktivite konsantrasyonunun belli aralıklar içermesi çiftçinin kullandığı gübre çeşidi ve miktarından dolayı değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

AKÖZCAN, S., 2020. Toprak Örneklerinde Doğal Radyoaktivite(^{226}Ra, ^{232}Th ve ^{40}K) ve Radyasyon Tehlikelerinin Değerlendirilmesi, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 6(1):12-20.

ALAM, M.N., CHOWDHURY, M.I., KAMAL, M., GHOSE, S., BANU, H. and CHAKRABORTY, D., 1997. Radioactivity in chemical fertilizers used in Bangladesh, 48(8):1165-68.

ALSHAHRI, F. and ALQAHTANI, M., 2015. Chemical Fertilizers as a Source of ^{238}U, ^{40}K, ^{226}Ra,^{222}Rn, and Trace Metal Pollutant of The Environment in Saudi Arabia. Environ Sci Pollut Res İnt, 22(11):8339-48.

ALTINTAS, M., 2019. Siverek İlçesi Toprak, Su ve Kaya Numunelerindeki Doğal Radyoaktivitenin Ölçümü. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 67s.

BISHT, B., BHATNAGAR, P., GRURANI, P. and KUMAR, V., 2021.Food Irradiation: Effect of İonizing and non-İonizing radiotions on preservation of fruits and vegatables- a review. Trends in Food Science and Technology, 114:372-385.

BOUCENNA, A. and BOUKHENFOUF, W., 2012. Uranium Content and Dose Assessment For Phosphate Fertiliser and Soil Samples: Comparison of Uranium Concentration between Virgin Soil and Fertilised Soil. Radiation Protection Dosimetry, 148(2):263-267.

CARTER, J., ICKERT, R.B. and MARK, D.F., 2020. Production of ^{40}Ar by an Overlooked Mode of ^{40}K Decay with Implications for K-Ar Geochronology. Geochronology, GChoron(2):355-365.

CENGİZ, G.B., ve ÇAĞLAR İ., 2019. Doğu Anadolu da Kullanılan Bazı Gübrelerin Doğal Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi. Caucasian Journal of Science, 6(2):2148-6840.

EL TAHAR, A. and ALTHOYAİB, S.S., 2012. Natural levels of radioactivity and heavy metals in chemical and organic fertilizers used in the Kingdom of Saudi Arabia. applied radiation and isotopes article, 70(1):290-295.

ERASLAN, F., İNAL, A.,GÜNEŞ, A., ERDAL, İ. ve ÇOŞKAN, A., 2010. Türkiye'de Kimyasal Gübre Üretim ve Tüketim Durumu, Sorunlar, Çözüm Önerileri ve Yenilikler. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak, Ankara,1-19.

GÖKHARMAN, F.D., AYDIN, S. ve KOŞAR, P.N., 2016. Radyasyon Güvenliğinde Mesleki Olarak Bilmemiz Gerekenler. S.D.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2):35-40.

GÖRÜR, Ş., 2006. Çevresel Radyoaktivite İle Bu Çevrede Yaşayanlara Ait Diş Örneklerindeki Radyoaktivite Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 18s.

HACIOSMANOĞLU, T., 2017. Doğal ve Yapay Radyasyon Kaynakları, Kişisel Doza Katkıları. Nucl Med Semin, 2017(3):166-171.

HIBA, O., 2021. Radiobiological Effects and Medical Opplications of Non-İonizing Radiation. Saudi Journal of Biological, 28(10):5585-5592.

JIBIRI, N.N.and FASAE K.P., 2012. Activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th and ^{40}K in brands of fertilisers used in Nigeria. Radiat Prot Dosimetry, 148(1):132-7.

KABUL, M., 2021. Şanlıurfa'da Yetişen Kırmızı Acı Biberde(İsot) Doğal Radyasyon Miktarı Tayini. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 72s.

KATİP, A., 2020. Kimyasal Gübre Tüketiminin Değerlendirilmesi: Bursa İli Örneği Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3):1271-1286.

KAVALCI, F., 2016. Premium Fizik Öğretmenliği ÖABT Hazırlık. Uzman Kariyer, Ankara, 452s.

KÖKLÜ, N., 2006. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri ve Tıpta Uygulama Alanları. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 22s.

LOPES, J.M., GARCES, R.W.D., FİLGUEİRAS, R.A. and SİLVA, A.X., 2018. Study of K-40, Ra-226, Ra-228 and Ra-224 activity concentrations in some seasoning and nuts obtained in Rio de Janeiro city, Brazil. Food Sci. Technol, 141(1):199-202.

MARK, C. And OKEJİTİENNETH, 2012. Natural radioactivity in cropland around a phosphate fertilizer plant in Nigeria, Radiation physics and chemistry, 81(12):1823-26.

MUSTONEN, R., 1985. Radioactivity of Fertilizers in Finland. Science of the Total Environment, 45:127-134.

NABIL, M.H., MANSOUR, N.A., HASSAN, M.F. and SEDQY, E., 2016. Assessment of natural radioactivity in fertilizers and phosphate ores in Egypt Journal of Taibah University for Science, 10(2):296-306.

ÖNDER, F. ve ÖNDER B.E., 2018. Simülasyon Destekli Sorgulama Temelli Etkinlikler ile Fotoelektrik Olay Öğretimi. İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 19(3):57-73.

SAÇ, M.M. ve EKİN, K., 2016. İzmir-Urla Bölgesi Tarım Topraklarında Doğal Radyoaktivitenin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fak. Derg.,53(2):189-193.

SÖNMEZ, İ., KAPLAN, M. ve SÖNMEZ, S., 2008. Kimyasal Gübrelerin Çevre Kirliliği Üzerine Etkileri ve Çözüm Önerileri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 25(2):24-34.

ŞAHİN, G., 2016. Türkiye de Gübre Kullanım Durumu ve Gübreleme Konusunda Yaşanan Problemler. Tarım Ekonomisi Dergisi, 22(1):19-32.

TAŞKIN, H., 2018. İzmir İli Fon Radyasyon Düzeylerinin Belirlenmesi, İnsan Sağlığı Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Aracılığı ile Dağılımın Gösterilmesi. İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 6s.

YAVUZKANAT, N., 2010. Radyoterapide Kullanılan Koruyucu Bloklar ile Kurşun Bilye İlaveli Koruyucu Blokların Gama Işını Geçirgenliklerinin Karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 41s.