

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE ÖRNEKLERİNDE NÖTRON AKTİVASYON YÖNTEMİ İLE ESER AĞIR
METAL ÖLÇÜMLERİ**

DERYA SOYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. KUTSAL BOZKURT**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEVRE ÖRNEKLERİNDE NÖTRON AKTİVASYON YÖNTEMİ İLE ESER AĞIR
METAL ÖLÇÜMLERİ**

Derya SOYA tarafından hazırlanan tez çalışması 18.11.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Kutsal BOZKURT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Kutsal BOZKURT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi

Prof. Dr. A. İskender REYHANCAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ayşe DURUSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2012-01-01-YL02 numaralı YULAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Çevre Örneklerinde Nötron Aktivasyon Yöntemi İle Eser Ağır Metal Yöntemleri” adlı bu tez İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü’nde gerçekleştirilmiştir. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sağlamış olduğu destek için tez danışmanım, Y.T.Ü Fizik Bölümü Öğretim Üyesi hocam Sayın Doç. Dr. Kutsal BOZKURT’ a içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu tez çalışmasını yapmama vesile olan, hiçbir yardımını esirgemeyen, edindiğim bilgi ve deneyimlere büyük katkı sağlayan tez eş danışmanım Y.T.Ü Fizik Bölümü hocam Sayın Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI’ ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımı gerçekleştirmeme büyük katkı sağlayan, İ.T.Ü Enerji Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı yapmamdaki dolaylı yardımları için Y.T.Ü Fizik Bölümü hocam Sayın Doç. Dr. Ayşe DURUSOY’ a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, sevgilerini ve yardımlarını benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan kardeşim Deniz SOYA’ ya ve yardımları için arkadaşım Makbule TAMKAŞ’ a çok teşekkür ederim.

Manevi desteğiyle her zaman yanımda olan ve bundan sonra da daima yanımda olacak olan Semih İŞSEVER’ e teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2014

Derya SOYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
TEMEL BİLGİ	7
2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite	7
2.2 Nükleer Reaksiyonlar	11
2.2.1 Reaksiyon Tesir kesitleri	15
2.2.2 Parçacıklar Ve Radyasyonun Çekirdek İle Etkileşmesi.....	18
2.3 Nötronlar.....	26
2.4 TRIGA MARK II Reaktörü	30
2.5 Nötron Aktivasyon Analiz Yöntemi	32
2.6 AĞIR METALLERİN ETKİLERİ	34
BÖLÜM 3	
DENEYSEL ÇALIŞMA	40
3.1 Örneklerin Hazırlanması	40

3.2	Işınlama/Sayım Süreci.....	43
3.3	Spektrumların Analizi.....	46
BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		59
KAYNAKLAR.....		63
EK-A		
YARI İLETKEN DEDEKTÖRLER.....		65
EK-B		
AĞIR METAL SPEKTRUMLARI		66
ÖZGEÇMİŞ.....		72

SİMGE LİSTESİ

A	Aktivite
f_{γ}	Gama ışını yayınlanma olasılığı
H	İzotop zenginliği
h	Planck sabiti
N_A	Avogadro sayısı
n	Nötron
p	Proton
R	Tepkileşim sayısı
$t_{1/2}$	Yarı ömür
Z	Çekirdek element numarası
λ	Bozunma sabiti
ε	Dedektör verimi
α	Alfa parçacığı
β	Beta parçacığı
γ	Gama ışını
Ω	Katı açısı
σ	Tesir kesiti
Φ	Akısı
ν	Nötrino

KISALTMA LİSTESİ

b	Barn
HPGe	High Purity Germanium
keV	Kilo elektron Volt
kW	Kilo Watt
MeV	Mega elektron Volt
MW	Mega Watt
NAA	Nötron Aktivasyon Analiz
SCRAM	Safety Control Rod Axe Man
TRIGA	Training Research Isotope Production General Atomic
TET	Tüm Enerji Tepesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Ra-226 α bozunum [18]	13
Şekil 2. 2 γ bozunumu, izomerik geçiş [18].	15
Şekil 2. 3 Reaksiyon geometrisi	16
Şekil 2. 4 İki kürenin çarpışması	18
Şekil 2. 5 Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri	20
Şekil 2. 6 Fotonların şiddetinde soğurucu madde kalınlığına bağlı olarak değişme ...	21
Şekil 2. 7 Toplam foton tesir kesitleri (Pb, C)	22
Şekil 2. 8 Fotoelektrik olay	23
Şekil 2. 9 Compton Şaçılması.....	24
Şekil 2. 10 Çift oluşum	25
Şekil 2. 11 Toplam lineer soğurma katsayısının gelen foton enerjisi ile değişimi	26
Şekil 2. 12 Fisyon tepkileşimleri [21]	29
Şekil 2. 13 Triga Mark II reaktör	32
Şekil 2. 14 Reaktörün kalbi	32
Şekil 2. 15 Ağır Metal Etkilerinin Derişimle Değişimi [25].	35
Şekil 3. 1 Altın monitor spektrumu	43
Şekil 3. 2 Farklı derişimlerdeki As ölçümleri.....	44
Şekil 3. 3 Ölçüm sistemi.....	46
Şekil 3. 4 Analiz programının sonuç çıktısı	47
Şekil 3. 5 Arseniğe ait incelenen tüm gama seviyeleri	51
Şekil 3. 6 Arsenik kütle kıyaslaması	52
Şekil 3. 7 Antimona ait incelenen tüm gama seviyeleri	57
Şekil 3. 8 Antimon kütle kıyaslaması	57
Şekil 4. 1 Davutpaşa yerleşkesi örnek 1	60
Şekil 4. 2 Fon radyasyonu düzeltilmiş örnek 1	61
Şekil 4. 3 Davutpaşa yerleşkesi örnek 2	61
Şekil 4. 4 Fon radyasyonu düzeltilmiş örnek 2	62
Şekil Ek B. 1 Cd 0-3000 keV arası enerji spektrumları.....	70
Şekil Ek B. 2 Hg 0-3000 keV arası enerji spektrumları	70
Şekil Ek B. 3 Sn 0-3000 keV arası spektrumları	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 Temel Endüstrilerden Atılan Metal Türleri [12].....	5
Çizelge 3. 1 Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler	42
Çizelge 3. 2 Gama-ışını seviyeleri ve bollukları	42
Çizelge 3. 3 Numuneye bağlı sayım parametreleri	45
Çizelge 3. 4 Arsenik için okunan alan değerleri ve hataları	48
Çizelge 3. 5 Arsenik için hesaplanan K değerleri.....	50
Çizelge 3. 6 As normalizasyon çizelgesi.....	51
Çizelge 3. 7 Sb için okunan alan ve hata değerleri.....	53
Çizelge 3. 8 Sb-121 için hesaplanan K değerleri.....	54
Çizelge 3. 9 Sb-121 normalizasyon çizelgesi	54
Çizelge 3. 10 Sb-123 için okunan alan ve hata değerleri	55
Çizelge 3. 11 Sb-123 hesaplanan K değerleri	56
Çizelge 3. 12 Sb-123 normalizasyon çizelgesi	56
Çizelge Ek B. 1 Ağır metaller ve aktivite değerleri.....	68
Çizelge Ek B. 2 Ağır metaller ve tesir kesiti değerleri	69

ÇEVRE ÖRNEKLERİNDE NÖTRON AKTİVASYON YÖNTEMİ İLE ESER AĞIR METAL ÖLÇÜMLERİ

Derya SOYA

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kutsal BOZKURT

Eş Danışman: Öğr.Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Eser elementler atmosfere çeşitli kaynaklardan atılır ve insan sağlığını tehdit ederler. Bu eser elementlerin miktarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri nötron aktivasyon analizidir.

Bu çalışmada reaktör ortamında uygun nötron akı değerinde ve uygun mesafelerde nötron aktivasyon analizi (NAA) ile sıvı ve /veya katı Kadmiyum (Cd), Antimon (Sb), Civa (Hg), Bizmut (Bi), Kurşun (Pb), Tellür (Te), Arsenik (As), ve Kalay (Sn) örneklerinin dedekte edilebilecek mümkün olan en az miktarı belirlenmiş ve örneklerin aktiviteleri gama sayım sistemi ile ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nötron Aktivasyon Analizi, Eser Madde

**MEASUREMENTS OF TRACE HEAVY METAL AT ENVIRONMENTAL
SAMPLES BY NEUTRON ACTIVATION METHOD**

Derya SOYA

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Kutsal BOZKURT

Co-Adviser: Lecturer Dr. Özgür AKÇALI

Trace elements are released into the atmosphere from various sources and threaten human health. Neutron activation analysis is one of the method to determine the amount of matter of this trace elements. In this study, the least possible amount that can be detected of liquid and/or solid Cadmium (Cd), Antimony (Sb), Mercury (Hg), Bismuth(Bi), Lead (Pb), Tellurium (Te), Arsenic (As), and Tin(Sn) had been irradiated adequate flux values and adequate distance in reactor and the activity of samples had been measured by using gamma counting system.

Keywords: Neutron Activation Analysis, Trace Matter

1.1 Literatür Özeti

Bilindiği gibi, bazı tehlikeli toksik (zehirli) elementler As, Cd, Cr, Hg, ve Pb dur. Fakat bunlarla birlikte diğer eser elementleri kentsel bölgelerde gözlemleyebiliyoruz. Eser elementler doğal ve antropojenik kaynakların her ikisinden atmosfere serbest bırakılıyor. Cr, Mn elementleri doğal emisyon ile süspanse yüzeye toz olarak katkı sağlarken Cu, Mo, Ni ve Zn daha az katkıda bulunur. Diğer taraftan yanan yakıtlar ve araçlardan çıkan gaz emisyonu sonucu Cu, Ni, ve Zn oluşur ve kentsel hava parçacıklarını oluştururlar. Böylelikle atmosfere bırakılan antropojenik kaynaklardan oluşan eser elementler hava kalitesinin kötüleşmesine sebep olur. Ve eğer solunum sisteminde olursa, bu parçacıklar insan sağlığında fazlasıyla etkili olur. Bu yüzden dünya çapında eser elementler ile oluşan hava kirliliğini kontrol altında tutmak için birçok ülke çaba göstermektedir. Ve birçok çalışma yapılmıştır.

Tebbens tarafından İstanbul'da ilk olarak 1967-1968 yıllarında kükürt dioksit ve partikül ölçmeleri yapılmıştır. Ölçmeler; Nişantaşı (yerleşim alanı olarak), Karaköy(ticaret alanı olarak) ve Zeytinburnu'nda (endüstri alanı olarak) yapılmıştır. İstanbul'da hava ile taşınan kurşun kirliliği ayrı bir araştırmada incelenmiştir [1].

Sebüktekin İnel tarafından 1975 yılında yapılan araştırmada, ortalama kurşun konsantrasyonu şehrin içinde, şehrin içine yakın ve şehir dışı olmak üzere üç bölgede incelenmiş ve en yüksek 995 ppm ve en düşük 65 ppm olarak bulunmuştur [2].

S. Akçetin tarafından 1977 yılında yapılan bir araştırmada, partikül ortalaması, Ağustos ayı için $110,4\mu\text{g}/\text{m}^3$ Aralık ayı için $191,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak verilmiştir. Bu ölçümler Maçka'da

35m yükseklikte yapılmıştır. Ve NAA yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada Cl, V, Zn, As, Se, Br, Sb elementlerinde yüksek artışlar bulunmuştur [3].

Atagündüz, G. Müezzinoğlu tarafından 1979 yılında yapılan çalışmada İzmir’de toz çapları 0,2-0,8 μ arasında bulunmuş, toz dışındaki elementlerin ortalama konsantrasyonlarının yüksek seviyelere çıkmadığı belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca Pb, Zn, Cd, Fe, Ni, NH₄, NO₂, SO₄, Cl iyonları incelenmiştir. 1977-1979 yılları arasında tekrardan beş değişik noktada havadan alınan toz örnekleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Daha sonra bu parametrelerle hava kirliliği ile yakından ilgili bazı meteorolojik parametreler arasında bilgisayar programları yardımıyla istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır [4].

Kırımhan, S tarafından 1979 yılında yapılan bir çalışmada kükürt dioksit konsantrasyonunun Erzurum’da Ankara’dan daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bu miktarın aylık ortalama olarak 381 μ g/m³ olduğu, bazı günlerde 1057 μ g/m³ değerine ulaştığı söylenmiştir [5].

Ozan D. Yay, O. Alagha ve G. Tuncel tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada Antalya’nın kentsel endüstriyel alanından toplanan 73 tane toprak örneği toplanmıştır ve 48 saat boyunca 60 derecede fırında kurutularak küçültülmüştür. HNO₃-HF karışımı ile PARR kullanılarak 4746 model yüksek basınçlı ayrışma kapları kullanılarak örnekler hazırlanmıştır. Ve Massachusetts Institute Technology’de iki kez termal nötron akısı (10¹⁴n cm⁻² s⁻¹) ile ışınlanmıştır. CANBERRA HPGe dedektörü ve Software kullanılarak ölçümler alınmıştır. En yüksek konsantrasyon Cu, Cr, Ni, Zn ve Pb çıktığı gözlemlenmiştir [6].

Yurt dışında yürütülmüş çalışmalar ise;

Schutz ve Rahn 1982 yılında Afrika ve Kuzey Amerika’nın kurak bölgelerinde 40 elementin NAA yöntemi ile bulunan konsantrasyonlarını kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada element konsantrasyonlarının parçacık çapları ile ilişkisi araştırılmıştır [7].

Barfoot ve arkadaşları 1984 yılında Meksika şehrinin havasında 1980-1981 kış periyodunda 24 saatlik partikül ölçümleri yapmışlardır. Bu ölçümler GMW 810 filtre kağıtları ile gerçekleştirilmiştir. X-ışınları yolu ile bazı elementlerin konsantrasyonları

toplanan katı parçacıklardan hesaplanmıştır. Bu elementler S, Cl, Ti, Fe, Cu, Zn, Br ve Pb dir. Pb ile Br arasındaki kolerasyon araştırılmış ve 0,91 gibi yüksek bir değer bulunmuştur. Ayrıca Br/Pb oranı 0,15 bulunmuştur. Sonuçta Meksika şehrinde kurşun kaynağının otomobil egzoz gazları olduğu söylenmiştir [8].

M.Sohrabpour, H.Mirzaee ve arkadaşları tarafından 1996 yılında yapılan çalışmada Tehran ve çevresinden özellikle trafiğin yoğun olduğu bölgelerden Whatman 41 filtreleri (çapı 12,5 cm) kullanılarak örnekler toplanmıştır. AAS ve NAA yöntemleri kullanılmıştır. Ve HpGe dedektörü ile sayımlar alınmıştır. Sonuç olarak Al=3,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, As=0,013 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Br=0,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ca=6,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ce=0,014 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cs=0,006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Pb=1,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Sb=0,028 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur [9].

E.Rizzio, G.Graveri, A.Profumo ve arkadaşları tarafından 1999 yılında İtalya'nın kırsal kesimlerinden filtreleme yöntemiyle hava örnekleri alınıp TRIGA MARK 2 de (nötron akısı $10^{13} \text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) ışınlanmıştır. Daha sonra gama spektrum ölçümleri için HpGe dedektörü ile çok kanallı analizör kullanılmıştır [10].

J.Merešová, I.Sykora tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada Bratislava ve çevresinden farklı mevsimlerde yaklaşık 2,85m yükseklikten nitro-selüloz membran filtre yardımıyla 37 filtre hava örneği toplanmıştır. Toplanan örnekler kısa ömürlü ve uzun ömürlü izotoplar olarak ikiye bölünmüştür. Örnekler REGATA deney düzeneği tarafından IBR-2 reaktör ışık kanalında ışınlanmıştır. Kısa ömürlü izotoplar için NAA kullanılmıştır. Uzun ömürlü izotoplarda ise epitermal kadmiyum screened channel Ch-1 de ışınlanmıştır. Ve örnekler gama spektra ve yüksek saflıkta germanyum dedektörü ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda en fazla Al, Ca, Ti, Mn, Ba ve U toprak kirleticisi olarak belirlenmiştir [11].

T.Stafilov, R.Sajn ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada Makedonya'nın Veles bölgesinden 201 tane toprak(humus)örneği toplanmıştır. Bu örnekler oda sıcaklığında 2 hafta bekletilmiştir. Ve sonra ufalanıp 2mm lik elekten geçirilmiştir. AAS ve NAA yöntemi kullanılmıştır. AAS ile Cd, Cu, Pb ve Zn analiz edilmiştir. Data analizleri için The Statistica (Ver.6.1), Auto Desk Map (ver.2008) ve surfer (ver.8) software kullanılmıştır. Sonuç olarak Cd miktarının humusta en fazla çıktığı gözlemlenmiştir [12].

T.Takamatsu, T.Murata ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada ise Japonya'nın farklı bölgelerinden toplanan kuru toprak örnekleri (50mg) termal nötron akısı $2,75 \times 10^3 \text{ n /cm}^2\text{s}$ olan bir reaktörde 50 dakika ışınlanmış bir kapsülde toplanmıştır. Sonra örnekler 7 gün soğutulmuş ve GeLi diyot dedektör ile ölçülmüştür. Bunların sonucunda As($11 \pm 1 \mu\text{g/g}$), Sb($2,4 \pm 0,1 \mu\text{g/g}$) olduğu gözlemlenmiştir [13].

1.2 Tezin Amacı

Teknolojik alandaki gelişmeler ve nüfus artışı ile paralel olarak üretim tekniklerinde de bir artış söz konusudur. Öte yandan teknoloji alanındaki hızlı gelişme ve üretimdeki hızlı artış çevre sorunlarını da artırmış ve bu sorunlar zamanla insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Günümüzde en önemli toplumsal sorunlardan birisi de çevre kirlenmesidir. Üretim tekniklerinden kaynaklanan kirlilik, üretim atığı yan ürünlerin kontrolsüzce çevreye atılması ve verim artışı için kullanılan katalizörler, kimyasal gübreler, bitki ve hayvan ilaçları ve hormonlar ile bunların atıkları sağlıklı yaşamı tehdit etmektedir.

Sanayileşmenin ve daha modern bir yaşam sağlama amacı ile sürdürülen çalışmaların doğal sonucu olarak ortaya çıkan, kimyasal çevre kirlenmelerinin neden olduğu sağlık sorunları ve ekonomik kayıplar, günümüzde de büyüyen bir tehlike olarak önemini korumakta ve çağımızda toplum sağlığını tehdit eden en önemli sorunlardan birini oluşturmaktadır.

Teknoloji ve çevre kirlenmesinin bozucu ve zararlı etkileri daha çok kimyasal etkinlikler sonucu sağlıklı yaşamı tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır. Hava, toprak, su ve gıda maddelerine bulaşan toksik kirleticiler içinde insan sağlığını en fazla tehdit eden ve zararlı olarak bilinenler ağır metallerdir. Bunlardan başka zehirli olarak organik çözücüler, hidrokarbonlar, pestisitler gibi pek çok zararlı kimyasal bileşiklerin olduğu bilinmektedir.

Ağır metaller, su kaynaklarına endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yer altı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfür, sülfat olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına

çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı da suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir.

Ağır metallerin ekolojik sistemde yayınımları dikkate alındığında doğal çevrimlerden daha çok insanın neden olduğu etkiler nedeniyle çevreye yayınımları söz konusu olduğu görülmektedir. Sürekli ve kullanıma bağlı kirlenmenin yanı sıra kazalar sonucu da ağır metallerin çevreye yayınımları önemli miktarlara ulaşabilmektedir. (1979 Lengrich'de çimento tesisinden talyum kaçağı). Yıllık olarak doğal çevrimler sonucu 7600 ton Kadmiyum (Cd), 18800 ton arsenik (As), 3600 ton civa (Hg), 332000 ton kurşun (Pb) atmosfere atılmakta iken insan faaliyetleri sonucu deşarj edilen miktarlar dikkate alındığında ise selenyum (19 kat), kadmiyum (8 kat), civa, kurşun, kalay (6 kat), arsenik, nikel ve krom (3 kat) daha fazladır.

Ağır metallerin çevreye yayınımlarının da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Havaya atılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunurlar.

Çizelge 1. 1 Temel Endüstrilerden Atılan Metal Türleri [12]

ENDÜSTRİ	Metal Türleri							
	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kağıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-Alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayii	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayii	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi(Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

1.3 Hipotez

Kentsel alanlarda ulaşım kaynaklı emisyonlar genel olarak insanların yoğun olarak bulunduğu bölgelerde meydana gelmekte ve konsantrasyonları insan hayatını riske atacak seviyelerde olmaktadır. İnsanlar tarafından solunmadan önce bu emisyonların havada seyreltilmesi için yeterli zaman yoktur. Düşük konsantrasyonlarda dahi taşıt

emisyollarına maruz kalmanın birçok sağlık rahatsızlıklarına sebep olabileceği veya bu rahatsızlıkları ilerletebileceği bilimsel araştırmalar sayesinde iyi bilinmektedir. Bu etkinin yanı sıra zamanla, artan nşfusa bağlı olarak, tarihsel gelişim sürecinde sanayi alanı olarak belirlenmiş Zeytinburnu, Topkapı, Merter gibi bölgeler artık konut ve yaşam alanlarına dönüşmüştür. Bu dönüşümün geride bıraktığı sanayi kaynaklı kalıntılar olabileceği ve bunların günlük hayatta solunabileceği gerçeği bilimsel olduğu kadar üniversitelerin sosyal sorumluluğu noktasında da ilgi çekicidir. Bizde bu çalışmada ağır metal örneklerini TRIGA MARK II reaktörün de nötron bombardımanına tutarak dedekte edilebilir minimum madde miktarını tayin etmiş olacağız. Bu bilgiyi kullanarak, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde toplanan hava örneklerinde bu kirleticilerin tespitine çalışacağız.

Tezin ilerleyen bölümlerinde radyasyon ve radyoaktivite, nükleer reaksiyonlar, bozunma reaksiyonları, reaksiyonun tesir kesitleri, nötronlar, TRIGA Mark II reaktörü, Nötron Aktivasyon Analizi ve ağır metal etkileri hakkında bilgiler (Bölüm 2) verilecektir. Bu temel bilgiler doğrultusunda hazırlanan deney sistemi Bölüm 3' te açıklanacaktır. Bu sistem ile alınan ölçümler ve sonuçlar Bölüm 4' te verilecektir.

BÖLÜM 2

TEMEL BİLGİ

2.1 Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyasyon, enerjinin bir yerden başka bir yere elektromanyetik dalgalarla taşınmasıdır. Atomik veya nükleer süreçler açısından değerlendirdiğimizde, radyasyon, dört genel tipte sınıflandırılabilir [14].

Bunlar;

Hızlı elektronlar	}	Yüklü parçacık radyasyonu
Ağır yüklü parçacıklar		
Elektromanyetik ışınım	}	Yüksüz radyasyon
Nötronlar		

Hızlı elektronlar nükleer bozunma sonucu ortaya çıkan pozitif veya negatif beta parçacıklarıdır ve her tür nükleer ve atomik süreçte oluşan yüksek enerjili elektronlardır. Ağır yüklü parçacıklar ise kütlesi 1 akb den büyük iyonlardır. Elektromanyetik ışınım, atomun elektron kabuklarının tekrar düzenlenmesi esnasında ortaya çıkan x ışınları ve çekirdeğin iç geçişlerinden kaynaklanan gama ışınlarıdır. Nötronlar ise, pek çok nükleer süreçle ortaya çıkan yavaş ve hızlı nötronlar olarak alt kategorilere ayrılan radyasyon türüdür [15].

Radyoaktivite

Eğer bir maddeyi meydana getiren atomların çekirdekleri dışarıdan hiçbir etki olmaksızın, kendiliğinden bozunuma uğruyorlar veya bir takım ışınlar yayınlayarak niteliklerini değiştiriyorlar, bir başka çekirdeğe dönüşüyorlarsa bu madde “radyoaktiftir” denir.

Radyoaktif çekirdekler alfa, beta, gama bozunumları yaparak kararlı hale gelmeye çalışırlar ve yaptıkları bozunumlarla bir enerji seviyesinden başka bir enerji seviyesine geçmiş olurlar. Bu tür kendiliğinden geçişler radyoaktif bozunma (parçalanma) olarak adlandırılır. Radyoaktif izotop, tabiatta mevcut ise veya tabiatta mevcut diğer radyoaktif izotopların bozunumundan meydana geliyorsa bu radyoaktifliğe “doğal radyoaktivite” denir. Bir radyoaktif izotop insan eliyle, yapay olarak meydana getirilen çekirdek reaksiyonları sonucunda ortaya çıkıyorsa bu durumda “yapay radyoaktiflik’ten bahsedilir.

Bütün radyoaktif çekirdeklerin meydana getirdikleri radyasyon zamanla azalır. Fakat tabiatta bulunan radyoaktif maddelerin çoğunda bu azalış o kadar yavaş olur ki doğrudan fark edilmesi olası değildir. Bu azalış ancak bazı dolaylı yollarla ortaya konulabilir. Bunun yanı sıra bazı tabii radyoaktif maddelerin radyoaktifliğinin azalışı doğrudan doğruya ölçüm yolu ile izlenebilir. Yapılan deneysel çalışmalar bütün radyoaktif maddelerin aktivitesindeki bu azalışın aynı temel yasaya bağlı olduğunu göstermiştir [15].

Radyoaktif Bozunma Yasası

Radyoaktifliğin keşfinden sonra, radyoaktif bozunma üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, radyoaktif bozunmanın exponansiyel yasaya uyduğunu göstermişlerdir. Buna radyoaktif bozunma yasası denir. Radyoaktif bozunma istatistiksel (rast gele) bir olaydır. Bu nedenle bir çekirdeğin ne zaman bozunacağı bilinemez. Çünkü çekirdek biyolojik sistemlerde olduğu gibi belirli bir yaşa sahip değildirler. Bir radyoaktif maddenin bozunması tümüyle maddeye ait değildir. Maddenin içindeki her bir çekirdeğin bozunması maddenin toplam bozunmasını etkiler. Belirli bir t anında N radyoaktif çekirdek varsa, Δt süresi içinde ΔN tane çekirdek bozunur. Bozunan çekirdek sayısı N ile orantılıdır. Rutherford ve Soddy buradan yola çıkarak λ bozunma veya

parçalanma sabitini tanımlamışlardır. Bir çekirdeğin birim zamanda bozunma olasılığına bozunma sabiti (λ) denir. Bozunma sabiti çekirdeğin kendine özgü bir parametresidir. Bir kararsız çekirdeğin küçük bir dt zaman aralığında gerçekleşmesi beklenen bozunma olaylarının sayısı ΔN mevcut çekirdek sayısı ile orantılıdır. N atomların sayısı ise bu durumda bozunan çekirdeklerin toplam çekirdek sayısına oranı ($\Delta N/N$) bu bozunmanın gerçekleşeceği zaman (Δt) ile orantılıdır. Limit teoremi kullanılarak bu orantı birinci mertebeden bir diferansiyel denklemle tanımlanır. Ve bu denklemdeki (-) işareti sürekli bir azalmayı temsil eder.

$$\left(-\frac{dN}{N}\right) = \lambda \cdot dt \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemin çözümü, N_0 başlangıçtaki radyoaktif çekirdek sayısını, N , t süre sonunda kalan çekirdek sayısı olmak üzere,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau} \quad (2.2)$$

şeklinde bulunur.

Bir radyoaktif maddenin başlangıçtaki çekirdek sayısının yarısının bozunması için geçen süreye ise yarı ömür denir. Eşitlik (2. 2)' de N yerine $N_0/2$ yazılarak yarı ömür,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2.3)$$

elde edilir. Bilinen radyoaktif çekirdeklerin yarı-ömürleri 10^{19} yıl (neredeyse kararlı çekirdekler) ile 10^{-23} saniye (oldukça kararsız çekirdekler) arasında değişmektedir.

Radyoaktif bir numunedeki bozunan çekirdeklerin sayısını belirlemek için t ile $t+\Delta t$ zaman aralığında çekirdek sayısındaki değişikliğe ΔN dersek

$$|\Delta N| = N(t) - N(t+\Delta t) = e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilir. Eğer $\Delta t \ll t_{1/2}$ ise denlem (2.4) denklemin (2.5)' e dönüşür.

$$|\Delta N| = \lambda N e^{-\lambda t} \Delta t \quad (2.5)$$

elde edilir. Radyoaktif bir maddenin aktivitesi birim zaman başına bozunma sayısı olarak tanımlanır. SI sisteminde aktifliğin birimi Becquerel' dir. Bir Becquerel saniyede

bir bozunmaya eşittir. Diğer bir aktivite birimi ise Curie' dir. Bir Curie saniyede 3.7×10^{10} bozunmaya karşılık gelir. Aktivite A ile gösterilirse;

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

t anındaki aktivite hesabı için bağıntı elde edilir. Burada

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (2.7)$$

t=0 anındaki aktiviteyi göstermektedir [16], [17].

Radyoaktivitenin Üretilmesi (Aktivasyon Analizi)

Genel olarak ışınlama, sonucu oluşan bir radyoaktif çekirdeğin kazandığı aktivite, radyoaktivite olayının matematiksel ifadesi yardımıyla belirlenebilir. Sabit bir Φ akısı ile ışınlanan kütlesi m olan d kalınlıklı malzeme içinde birim zaman ve birim yüzeyde meydana gelen tepkileşim (reaksiyon) sayısı,

$$R = \Phi [1 - \exp(-\sigma N d)] \quad (2.8)$$

olmak üzere, burada N, ışınlanan malzemenin birim hacmindeki hedef atomlarının sayısını, σ , E_p enerjisindeki tepkileşim kesitini (olasılığını) göstermektedir.

Genelde $(\sigma n d) \ll 1$ olduğundan, ışınlanan tüm malzeme için tepkileşim sayısı,

$$R = \Phi \sigma (N_A / A) h m = \Phi \cdot \sigma \cdot N \quad (2.9)$$

olarak ifade edilebilir. Burada birim hacimdeki hedef atom sayısı,

$$N = m N_A h / A \quad (2.10)$$

m: ışınlanan malzemenin ağırlığı (g)

N_A : Avagadro sayısı ($6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

A: Hedef çekirdeğin atom ağırlığı (g/mol)

h: Işınlanmış malzeme içinde tepkileşime giren izotopun doğal zenginliğidir.

Birim zamanda birim yüzeyde meydana gelen tepkileşim sayısının sabit olduğu durumda, t anındaki radyoaktif ürün çekirdeklerin sayısı N(t) ve λ bozunma sabitleri olmak üzere, dt süresi içinde bozunan dN(t) çekirdek sayısı, yani çekirdek sayısının birim zamandaki değişim hızı;

$$\frac{dN(t)}{dt} = R - \lambda N(t) \quad (2.11)$$

diferansiyel denklemi ile verilir. Bu denklemin çözümünden ürün çekirdek sayısı

$$N(t) = \frac{R}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.12)$$

ve aktivitesi

$$A(t) = \lambda N(t) = R[1 - e^{-\lambda t}] \quad (2.13)$$

olarak bulunur. Eğer ışınlama süresi hedef çekirdeklerin yarı ömürlerine kıyasla çok küçük ise üstel ifadeyi seriye açıp sadece lineer terimi seçilerek

$$A(t) = R\lambda t \quad t \ll t_{1/2} \quad (2.14)$$

elde edilir. Işınlanan örneğin sayımına başlamadan önce geçecek bekleme süresi t_b ve sayım süresi (t_s) içindeki bozunumu, ilgilenilen γ -ışını enerjisinin bolluğunu f_γ , bu enerjideki dedektör verimini ε_γ ve sayım geometrisi katı açı Ω göz önüne alınarak gözlenen Tüm Enerji Tepesi (TET) altında kalan alan (pik alanı)

$$Z = \frac{1}{\lambda} [(1 - e^{-\lambda t_i})e^{-\lambda t_b}(1 - e^{-\lambda t_s})] \quad (2.15)$$

$$P(E_\gamma) = N_0 \sigma \Phi \Omega \varepsilon(E_\gamma) f_\gamma Z \quad (2.16)$$

ifadesi ile bulunur.

2.2 Nükleer Reaksiyonlar

Reaktör veya hızlandırıcıdan (ya da radyoaktif bir kaynaktan) çıkan enerjik parçacıklar madde üzerine düşürülürse, nükleer bir reaksiyonun meydana gelmesi mümkündür. İlk nükleer reaksiyonlar, Rutherford'un laboratuvarında bir radyoaktif kaynaktan çıkan alfa parçacıkları kullanılarak gerçekleştirildi. Bu ilk deneylerin bazılarında alfa parçacıkları hedef çekirdekten elastik olarak geri saçılmaktaydı. Bu olay Rutherford saçılması olarak bilinir ve atom çekirdeğinin varlığı ile ilgili ilk delildir[16], [18].

$$\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{17}\text{O} + p \quad (2.17)$$

Genel bir nükleer reaksiyon,

$$a + X \rightarrow Y + b + Q \quad ,X(a,b)Y \quad (2.18)$$

biçiminde yazılır. Burada a mermi parçacık, X hedef ve Y ile b reaksiyon ürünleridir. Momentum korunumundan dolayı Y (ağır ürün) hareketsiz kaldığı ve b (hafif ürün) deneysel yöntemlerle tespit edilebilen parçacık olduğu kabul edilir. Burada Q reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerji olup, reaksiyona giren ve çıkan çekirdeklerin toplam enerji farkı olarak tanımlanır. Eğer $Q > 0$ ise reaksiyon ekzotermiktir. $Q < 0$ ise reaksiyon endotermiktir. Bazen Q için tek bir değer bulunamaz. Bu olay bize çekirdeğin uyarılmış halde olduğunu gösterir ve çekirdek normal hale gelebilmek için gama ışıını yapar. Bu da bize çeşitli Q' lar arasındaki farkı açıklar [16].

Reaksiyon türlerine bakıldığında, giren ve çıkan parçacıkların kimliğinin değişmediği reaksiyonlara saçılma reaksiyonu denir. Eğer saçılma esnek ise çıkan parçacıklar taban durumundadır. Esnek olmayan saçılmada ise ürünler uyarılmış durumdadır. Transfer reaksiyonları bir veya iki nükleonun, mermi ve hedef çekirdekler arasında değiş tokuş edildiği reaksiyonlardır. Direk reaksiyonlarda, yalnız birkaç nükleon sayısına katılır, hedefteki diğer nükleonlar pasif gözleyici olarak görev yaparlar. Böylece reaksiyonlarda, bir kabuk modeli durumuna bir tek nükleon ilave edilir veya koparılabilir. Ve bu nedenle çekirdeğin kabuk yapısını incelemede yardımcı olabilir. Y' nin birçok uyarılmış durumuna bu reaksiyonlarla ulaşılabilir. Diğer uç reaksiyon mekanizması, gelen ve hedef çekirdeklerin, giden nükleon yayınlamadan önce enerjinin tam olarak paylaşılması için, kısa süre birleştiği bileşik çekirdek mekanizmasıdır [16], [19].

Bozunma Reaksiyonları

Alfa Bozunumu

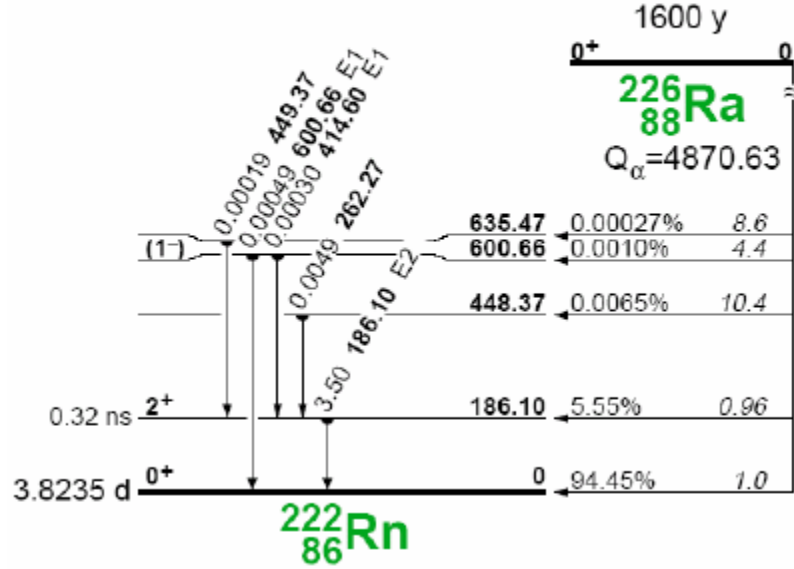
Alfa tanecikleri ilk olarak, Rutherford tarafından 1903'de Radyum'un bozunumundan çıkan parçacıkların yük/kütle oranlarının ölçülmesi ile bulunmuştur. Coulomb itme etkisi sonucu oluşan bu bozunum, ağır çekirdeklerde yıkıcı Coulomb etkisinin Z^2 ile artmasından dolayı özellikle önemli hale gelir. Bu süreci anlık olarak ifade etmek yerinde olur, çünkü açık bir neden olmaksızın bir miktar kinetik enerji anında ortaya çıkar ki bu enerjinin nedeni sistemin kütesindeki azalmadan kaynaklanır. Çıkan parçacıklar ${}^4_2\text{He}$ çekirdekleridir. Helyum çekirdeklerinin anlık emisyon süreci



şeklindedir.

Bir nükleer reaksiyonda çizgisel momentum ve enerjinin korunması gerekliliğinden, hareketle ayrışma enerjisi Q_α aşağıdaki gibi bulunur.

$$Q_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha V_\alpha^2 \left(\frac{m_\alpha}{m_y} - 1 \right) \quad (2.20)$$



Şekil 2. 1 Ra-226 α bozunum [18]

Bununla beraber, bu bozunma, her zaman ana çekirdeğin taban durumundan kız çekirdeğin taban durumuna olmaz, uyarılmış seviyede kalan kız çekirdek bir γ -ışını yayınlamaya taban durumuna geçer. Bu durum Şekil 2.1' de Ra-226 'nın α bozunum şemasında görülmektedir.

Beta Bozunumu

Negatif elektron emisyonu ile bozunum radyoaktif bozunma sürecinde ilk bulunan olgulardan biridir. Bu sürecin tersi, yani bir yörünge elektronunun yakalanması 1938 yılında Alvarez'in, yakalanan elektronun boş bıraktığı yörüngeye olan geçişlerden gelen karakteristik x-ışınlarını gözlemlemesi ile bulunmuştur. 1934 yılında Joiliot-Curies radyoaktif bozunmada pozitronu, yani pozitif yüklü elektronu gözlemlemişlerdir. Bu bozunma, bozunan kararsız çekirdeğin, A kütle numarası korunarak, kararlı izobarına doğru kaymasıdır. Temel bozunum süreçleri:

$$n \rightarrow p + e^- \quad \beta^- \text{ (negatif beta bozunumu)}$$

$$p \rightarrow n + e^+ \dots \dots \beta^+ \text{ (pozitif beta bozunumu)} \quad (2.21a)$$

$$p + e^- \rightarrow n \quad \epsilon \text{ (elektron yakalama)}$$

Alfa bozunumunun tersine beta bozunumunda tek bir enerjideki emisyon yerine bir enerji dağılımı söz konusudur. Bu enerji dağılımını açıklamak için 1932 yılında Pauli bozunma sürecinde ikinci bir parçacığında var olması gerektiğini ileri sürmüştü ve daha sonra Fermi, bu parçacığı nötrino olarak adlandırmıştır.

$${}^A_ZX_N \rightarrow {}^A_{Z+1}Y_{N-1} + e^- + \nu_e^- \quad \beta^-$$

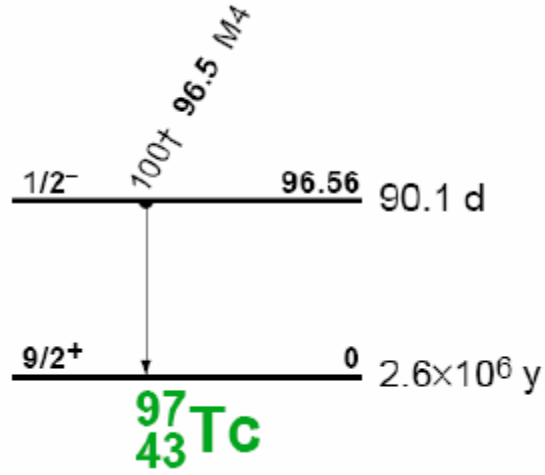
$${}^A_ZX_N \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + e^+ + \nu_e \quad \beta^+ \quad (2.21b)$$

$${}^A_ZX_N + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1}Y_{N+1} + \nu_e \quad \text{EC}$$

Gama Bozunumu

Alfa ve beta bozunumları ve pek çok nükleer reaksiyon, ürün çekirdeğin uyarılmış seviyede kalmasına neden olur. Bu uyarılmış durumdaki çekirdek yaklaşık 10^{-9} s gibi bir süre içinde bir veya daha fazla γ -ışını yayınlayarak temel duruma geçer. Bununla beraber, bazı çekirdekler bu uyarılmış seviyede daha uzun bir süre kalırlar. Bu uzun ömürlü uyarılmış durumdaki çekirdeklere izomer denir ve bu çekirdeklerin γ -ışınları yayınlayarak bozunmaları izomerik geçiş olarak isimlendirilir. γ -ışınları da x-ışınları veya görünür ışık gibi bir elektromanyetik radyasyondur. Böyle bir geçiş aşağıdaki reaksiyon ile gösterilir.

$${}^A_ZX_N^* \rightarrow {}^A_ZX_N + \gamma \quad (2.22)$$



Şekil 2. 2 γ bozunumu, izomerik geçiş [18].

Nükleer spektroskopi açısından sahip olduğumuz bilgi bu uyarılmış durumlarla ilgilidir. Dolayısıyla γ -ışını emisyonu nükleer spektroskopi açısından standart bir teknik haline gelmiştir. Bu seçimdeki diğer bir önemli faktör ise γ radyasyonunun α ve β radyasyonuna göre havada soğurulmasının ve saçılmasının ihmal edilebilir olmasıdır. [16], [18].

2.2.1 Reaksiyon Tesir kesitleri

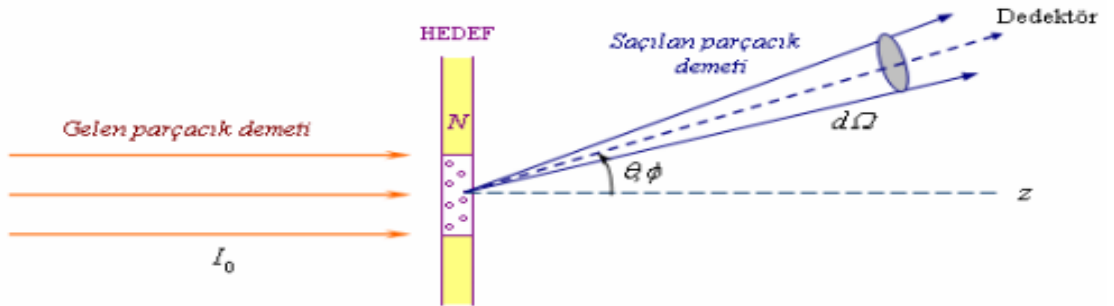
Nükleer etkileşmelerde, verilen bir reaksiyonun (veya saçılmanın) oluşabilme ihtimalini gösteren niceliksel bir olasılık ölçütüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bir reaksiyonun (veya saçılmanın) oluşma ihtimalini veren tesir kesiti kavramı nükleer fizikte önemli bir yere sahiptir ve ölçülen niceliklerin başında gelmektedir [16], [19]. Gelen parçacıklar etkileşme sonucu hedeften saçıldığında (reaksiyonlarda ise yayınlanan parçacıklar), uygun bir uzaklıkta konumlandırılan detektörler tarafından sayılır. $A(a,b)B$ genel formundaki bir nükleer reaksiyon için tesir kesiti şu şekilde açıklanabilir; N tane A tipi çekirdek içeren bir hedefe birim alan başına I_0 akısına sahip a tipi parçacık demetinin geldiği kabul edilirse, birim zamanda yayınlanan (ya da saçılan) b parçacıklarının sayısının (N_b nin) I_0 ve N niceliklerinin her ikisi ile de orantılı olacağı açıktır. Bu orantı sabiti tesir kesiti (σ) olarak bilinir ve alan boyutuna sahiptir. Bu tanımdan hareketle tesir kesiti,

$$\sigma = \frac{\text{yayınlanan}(b)\text{parçacıklarının sayısı}}{(\text{birim yüzeyden geçen } (a)\text{parçacıklarının sayısı})(\text{demet içindeki hedef çekirdek sayısı})}$$

$$\sigma = \frac{N_b}{I_0 N} \quad (2.23)$$

Şeklinde yazılabilir. Nükleer fizik için uygun alan birimi (tesir kesitinin birimi) “barn” dır ve $1\text{barn}=10^{-24} \text{ cm}^2=100\text{fm}^2$ dir.

Eğer gelen demete göre θ ve ϕ kutupsal açıları doğrultusundaki bir $d\Omega$ katı açı elemanı içerisine birim zamanda yayınlanan b parçacıklarının sayısını kaydetmek için bir detektör kullanıldığı düşünülürse, bu yayınlanan b parçacıklarının sayısı, I_0 ve N niceliklerinin yanı sıra $d\Omega$ katı açısına da bağlı olacaktır (Şekil 2. 3). Bu durumdaki orantı sabiti ise diferansiyel tesir kesiti, $d\sigma/ d\Omega$, olarak adlandırılır ve bu niceliğin ölçülmesi, reaksiyon ürünlerinin açısal dağılımı ile ilgili önemli bilgiler verir. Katı açı steradyan cinsinden ölçüldüğünden, diferansiyel tesir kesiti de alan boyutunda olup birimi barn/steradyan dır. Genel olarak, b nin yayınlanma olasılığı (dolayısıyla diferansiyel tesir kesiti), θ ve ϕ kutupsal açılarına bağlıdır. Açısal dağılımın izotropik (açıya bağımlı) olduğu özel durumlarda diferansiyel tesir kesiti $d\sigma(\theta,\phi)/ d\Omega$ şeklinde gösterilmektedir. Bununla birlikte, parçacık spinleri kutuplanmadıkça, saçılma işlemi gelen demet doğrultusunda oldukça simetriktir. Ve diferansiyel tesir kesiti ($d\sigma(\theta)/ d\Omega$), azimutal açısı ϕ den bağımsızdır [16].



Şekil 2. 3 Reaksiyon geometrisi

Yukarıda bahsedilen tesir kesiti ve diferansiyel tesir kesiti arasındaki ilişki;

$$\sigma = \int_0^{4\pi} (d\sigma/ d\Omega) d\Omega \quad (2.24)$$

Şeklinde dir. Bu denklemde $d\Omega=\sin\theta d\theta d\phi$ olmak üzere, her iki kutupsal açıya bağımlılık söz konusu ise;

$$\sigma(\theta, \phi) = \int_0^\pi \sin\theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi \left(\frac{d\sigma(\theta, \phi)}{d\Omega} \right) \quad (2.25)$$

Ve spin polarizasyonu yoksa, yani diferansiyel tesir kesiti ϕ den bağımsız ise

$$\sigma(\theta) = 2\pi \int_0^\pi (d\sigma(\theta)/d\Omega) \sin\theta d\theta \quad (2.26)$$

biçiminde verilmektedir. θ açısına göre bir “tesir kesiti” grafiği ile karşılaşıldığında, diferansiyel tesir kesitinin kastedildiği anlaşılmalıdır. Diferansiyel tesir kesiti, b parçacıklarının demet eksenine göre belirli bir açıda (θ, ϕ) gözlemlenmesi olasılığından elde edilmektedir. Diferansiyel tesir kesiti tüm açılar üzerinden integre edildiğinde, toplam tesir kesitini vermektedir. Toplam tesir kesiti belirli bir kalınlıktaki hedefin içinden geçen demetin şiddetindeki kayıp ölçülerek doğrudan elde edilebilmektedir. Bir nükleer etkileşmeye ait toplam tesir kesiti, σ_t , esnek saçılma tesir kesiti, σ_e ile reaksiyon tesir kesiti (esnek olmayan saçılmalar için soğurulma tesir kesiti) σ_r nin toplamından oluşmaktadır:

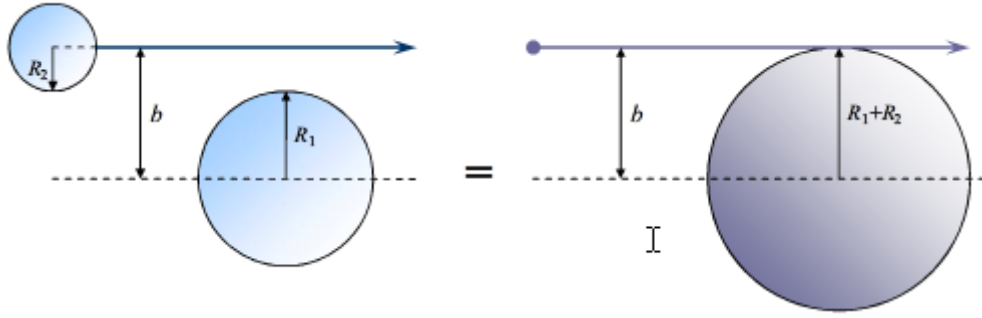
$$\sigma_t = \sigma_e + \sigma_r \quad (2.27)$$

Birden fazla reaksiyonun olduğu durumlarda her bir reaksiyon türüne ait tesir kesitleri farklı olacağından, toplam reaksiyon tesir kesiti

$$\sigma_r = \sigma_{r1} + \sigma_{r2} + \dots \quad (2.28)$$

Şeklinde, kısmi reaksiyon tesir kesitlerinin $(\sigma_{r1}, \sigma_{r2}, \dots)$ doğrultu ve yönlerine bakılmaksızın toplanmasıyla bulunur.

Tesir kesiti kavramını daha fiziksel bir hale getirebilmek için Şekil 2. 4’deki klasik olarak çarpışan iki kürenin durumu ele alınabilir. Burada yarıçapı R_2 olan 2 nolu küre, yarıçapı R_1 ve hareketsiz olan 1 nolu küre üzerine gönderilmektedir. Çarpma mesafesi b iki kürenin yarıçapları toplamından daha küçük veya eşit olmadıkça küreler çarpışmayacaktır. ($b \geq R_1 + R_2$). Noktasal bir parçacık ile $R_1 + R_2$ yarıçaplı bir diskin çarpışması için de durum aynıdır. Bu diskin alanı, $\pi(R_1 + R_2)^2$, çarpışmanın tesir kesitidir.



Şekil 2. 4 İki kürenin çarpışması

soldaki R_1 ve R_2 yarıçaplı iki kürenin çarpışması, sağdaki noktasal parçacığın R_1+R_2 yarıçaplı küre ile çarpışmasına ait tesir kesiti ile aynı değerdedir [19].

Şekil 2.4' ten tesir kesitinin yalnızca hedefe ait bir özellik olmadığı, aynı zamanda merminin özelliklerini de yansıttığı gibi çok önemli bir bilgi açıkça görülmektedir. Bir saçılma ölçümünün sonuçlarından hedef çekirdeğin yarıçapı bulunmak istendiğinde merminin etkisi mutlaka hesaba katılmalıdır [19].

2.2.2 Parçacıklar Ve Radyasyonun Çekirdek İle Etkileşmesi

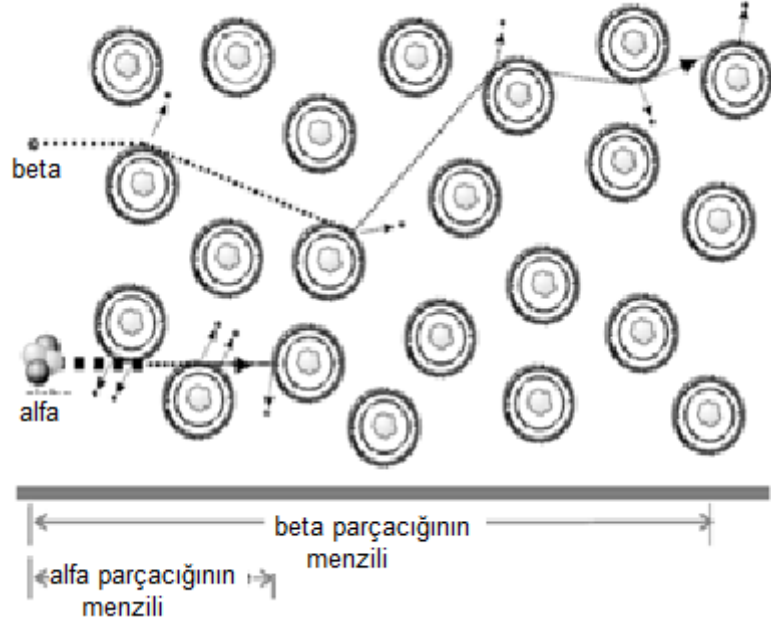
Atom altı dünyada, parçacıkların birbirinden saçılması bilginin ana kaynağını oluşturur. Nükleer ve parçacık çarpışmalarının, bozunmaların araştırılması, böyle etkileşme ürünlerinin ölçülmesi dedektörlere bağlıdır. Atom altı parçacıklar görsel araçlar kullanılarak ölçmek için çok küçük olmalarına rağmen, enerji depolanması için mekanizmalar kullanılarak böyle parçacıklar dedekte edilebilir. Dedektörler bu atom altı parçacıkları gözlemlememize olanak sağlar. Farklı tipte parçacıklar farklı şekilde algılanacaktır.

Radyasyon, onun çekirdek içinde etkileşimi ile algılanabilir. Bu sebeple radyasyonu algılamak için çekirdek ile etkileşimi iyi anlaşılmalıdır. Herhangi bir radyasyon detektörünün çalışması algılanacak radyasyonun çekirdek içerisinde etkileşme şekline bağlıdır. Tüm dedektör sistemleri hemen hemen aynı yapıya sahiptir. Radyasyonun dedektör maddesi ile etkileşimiyle başlar, bu etkileşimin sonucu elektrik yük veya parıldama (sintilasyon)nın sonucu oluşan parçacıkların elektriksel sinyale çevrilerek kaydedilmesiyle devam eder. Kullanılacak dedektör malzemesi parçacığın çeşidine ve enerjisine göre çok dikkatli seçilmelidir.

Radyasyonun çekirdek ile etkileşmesi bilgileri; radyasyonun algılanması, nükleer dedektörlerin geliştirilmesi ve tasarımı, radyasyondan korunma ilkelerinin belirlenmesi, yaşayan organizmalarda radyasyonun biyolojik etkilerinin incelenmesi gibi alanlarda kullanılmasına temel oluşturur. Etkileşme mekanizması parçacığın çeşidine ve enerjisine bağlı olduğu gibi girdiği ortamın atom numarasına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Bu nedenle, yüklü ve yüksüz parçacıkların çekirdek ile etkileşmesini ayrı ayrı düşünmemiz gerekmektedir.

Hafif Yüklü Parçacıklar

Elektron ve pozitron gibi hafif yüklü parçacıklar aynı enerjili ağır yüklü parçacıklarla karşılaştırıldıklarında kütleleri küçük olduğundan hızları yüksek olacaktır. Hızları yani enerjileri yüksek olan beta parçacıkları bir çekirdek alanından geçtiği zaman, radyasyon yolu ile bir enerji kaybına uğrar. Bu enerji Bremsstrahlung ya da frenleme radyasyonu denilen sürekli X ışını spektrumu şeklinde görülür. Bu radyasyon elektronun ivmelenmesinden dolayı ortaya çıkar, çekirdeğin elektriksel çekimi yüzünden izlediği düz yolda sapma meydana getirir. Enerjisi bir kaç MeV veya daha düşük ise bu radyasyona enerji kaybı düşük olacaktır. Bu nedenle, beta parçacıkları enerjilerinin büyük bir kısmını ortamın yörünge elektronları ile çarpışmaya ya da Moller ve Bhabha saçılmasına kaybedecektir. Moller saçılması elektronun ortamdaki atomun elektronları ile esnek olmayan saçılması, Bhabha saçılması ise pozitronların atomun elektronları ile esnek olmayan saçılmasıdır. Bunun sonucunda parçacığın izlediği yörünge zikzaklı olacaktır. Yani beta parçacıklarının yolları ağır yüklü parçacıkların yolları gibi düz olmayacaktır. Bu nedenle betaların yolları daha uzun olacaktır (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 Alfa ve Beta parçacıklarının menzilleri

Fakat, betaların enerjisi arttırılırsa, radyasyona enerji kaybı aniden yükselecektir. Bu şekilde parçacığın enerji kaybı çarpışma-iyonizasyona enerji kaybından büyük veya yakın olacaktır. Frenleme radyasyonuna enerji kaybının çarpışmayla enerji kaybına eşit olduğundaki parçacığın enerjisine kritik enerji denir. Kritik enerjinin üzerinde radyasyona enerji kaybı baskın olacaktır.

Düşük enerjilerde elektronlar atom çekirdekleri tarafından geriye saçılabilirler. Bu geriye saçılan elektronlar ortama tüm enerjilerini depolamazlar fakat gelen elektronun enerjisini ölçmek için tasarlanan dedektör sistemlerinin çalışmasını etkileyebilirler.

Yüksüz Parçacıklar

Foton, nötron ve nötrino gibi yüksüz parçacıklar madde ile farklı şekilde etkileşirler. Bu nedenle her birinin madde ile etkileşimi ayrı ayrı incelenecektir.

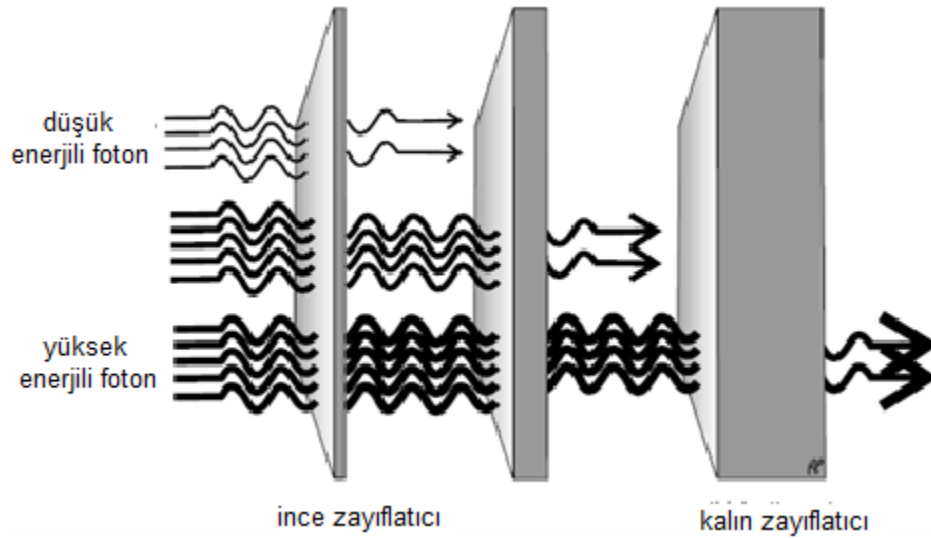
γ Işınının Madde Etkileşimi

Elektromanyetik radyasyon olarak X ışınları, gama ışınları ve Bremsstrahlung radyasyonları düşünülür. Gerçekte, fotonlar elektromanyetik kuvvet taşıyıcılarıdır ve madde ile iyonlaşmayla ve ortama enerji depolamayla etkileşme yaparlar. Özellikle gama ışınları atomun elektronları ile etkileşmelerinde enerjisinin büyük bir kısmını hatta tamamını bir tek olayda kaybedebilir.

X- ve gama ışınları madde içerisinde geçerken çoğunlukla aşağıdaki etkileşimleri yaparlar;

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılması (Thomson ve Rayleigh Saçılmasını içeriyor)
- Çift oluşum

Bu etkileşimler fotonların iki önemli özelliklerini açıklar. Bunlardan birincisi fotonların madde içerisinde yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında daha uzun mesafelere penetrasyonu, ikincisi ise belli bir kalınlıktaki malzemeyi geçince fotonların enerjilerinde bir azalma meydana gelmemesi, sadece şiddetinde azalmanın olmasıdır (Şekil 2.6).



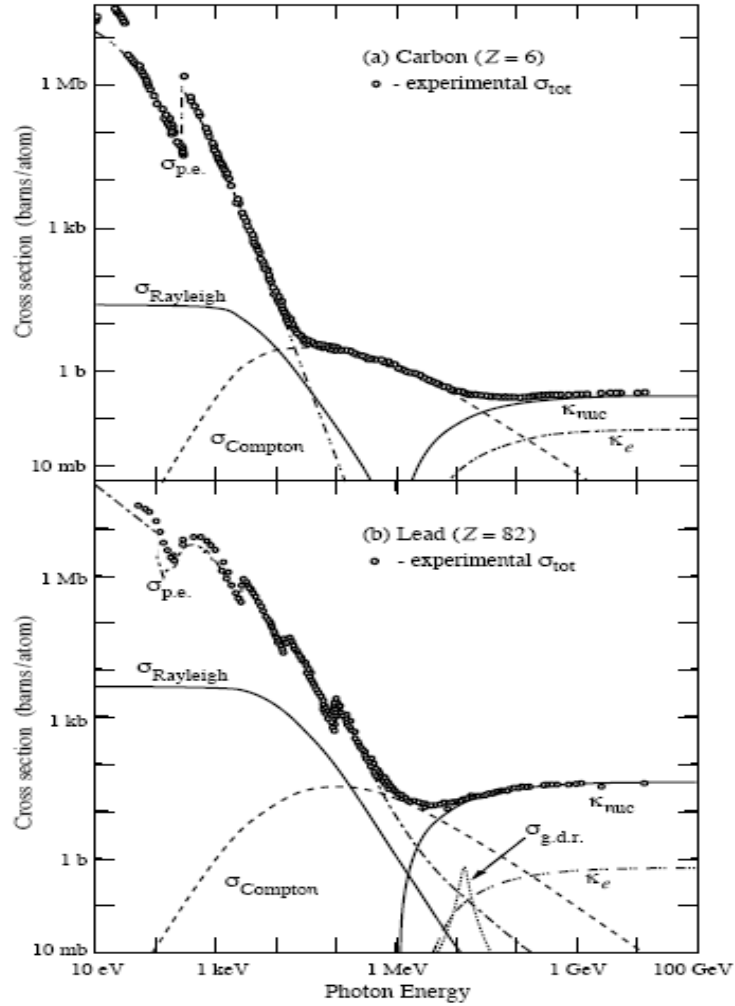
Şekil 2. 6 Fotonların şiddetinde soğurucu madde kalınlığına bağlı olarak değişme

Fotonların şiddetlerindeki bu azalma kalınlığın fonksiyonu olarak eksponansiyel olacaktır.

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad (2.29)$$

burada I_0 gelen fotonların şiddeti, x soğurucunun kalınlığı ve μ lineer soğurma katsayısı olup içerisinde geçtiği maddeye ve radyasyon enerjisine bağlıdır, etkileşimin toplam tesir kesitini yansıtır.

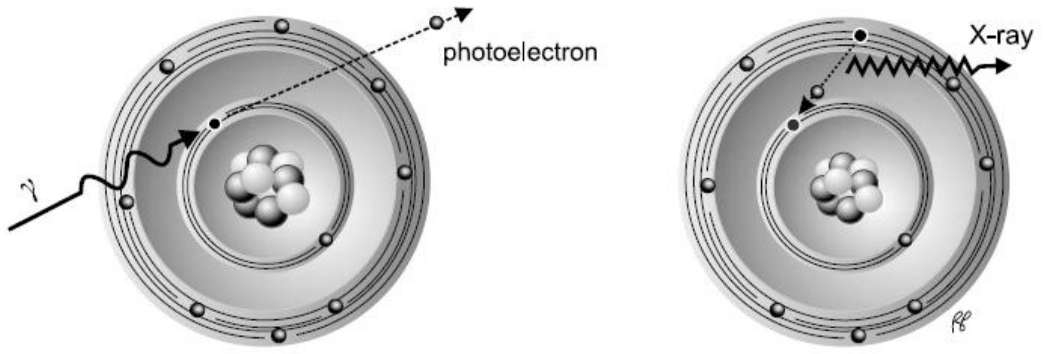
Fotonun karbon ve kurşun içinde etkileşme tesir kesitine katkılar fotoelektrik olay($\sigma_{p.e.}$), Rayleigh saçılması (σ_{Rayleigh}), Compton saçılması (σ_{Compton}), fotonükleer soğurma($\sigma_{g.d.r.}$), Çekirdek alanında çift oluşum(K_{nuc}) ve elektron alanında çift oluşum(K_e) dan gelecektir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 Toplam foton tesir kesitleri (Pb, C)

• Fotoelektrik olay

Düşük enerjili bir fotonun soğurucu ortamdaki bağlı elektron tarafından soğurularak K_e kinetik enerjisine sahip bir elektronun yayınlanmasıdır. Atomun iç tabakalarından elektron yayınlanırsa, dış tabakalardaki elektronlardan biri bu daha düşük boş seviyeyi doldurur ve bunun sonucunda elektronla birlikte X-ışını da yayınlanır (Şekil 2. 8).



Şekil 2. 8 Fotoelektrik olay

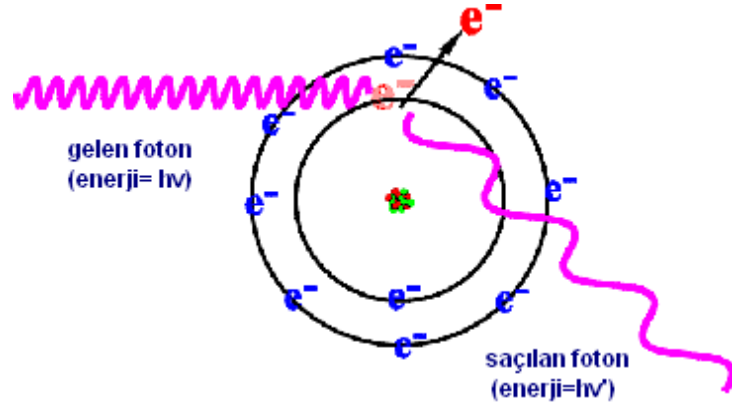
Bir atomik elektronun serbest hale gelebilmesi için gerekli enerji I_B ve gelen fotonun enerjisi $h\nu$ ise enerji korunumundan, fotoelektrik olayda aşağıdaki şekilde verilen Einstein bağıntısı geçerli olacaktır;

$$E_\gamma = h\nu = I_B + K_e \quad (2.30)$$

Elektron K_e ile ayrılır. Çok küçük miktarda bir enerji atoma verilir fakat bu ihmal edilecek düzeydedir. Kopan bu elektron çevresindeki malzemede yavaşlayacak ve enerjisini yitirecektir. Elektron kaybederek uyarılmış seviyede kalan atom X-ışını veya Auger elektronu yayınlamak için taban seviyesine geçmek isteyecektir. Eğer bu etkileşimler gerçekleşirse açığa çıkan enerji de katı malzeme tarafından soğurulur. Bu nedenle bu etkileşme sonucunda gelen fotonun tüm enerjisi etkileşme bölgesi civarında malzemeye transfer edilir [14].

• Compton Saçılması

Fotonun madde ile etkileşmesinde en iyi anlaşılan mekanizmalardan birisi Compton saçılmasıdır. Bu olay fotonun serbest bir elektronda esnek saçılmasıdır. Tabiki elektronlar madde içinde bağlı durumdadır. Fakat eğer fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülür. Gelen foton atomik bağlanma enerjisinin önemli olduğu enerjiye (100 keV altı) sahipse bu olay gerçekleşemez.

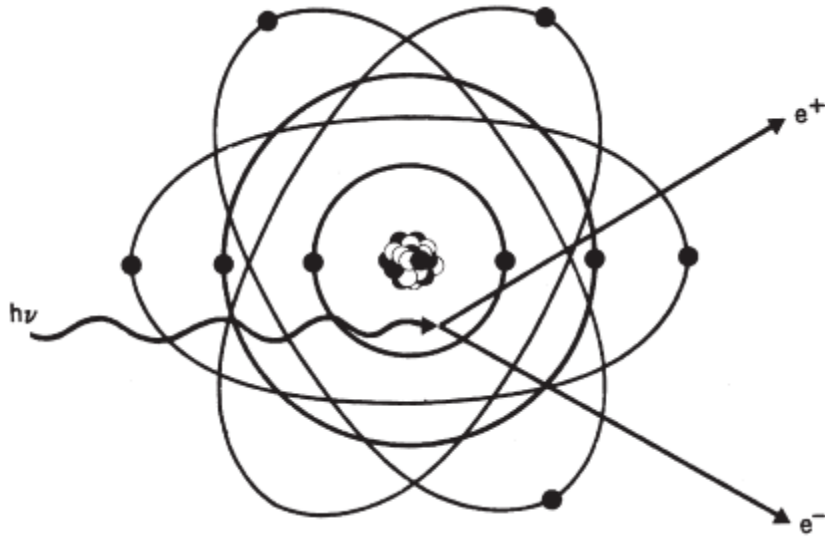


Şekil 2. 9 Compton Şaılması

Serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili, $\frac{h\nu}{c}$ momentumlu foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha düşük frekansta saçılmakta ve p momentumuna sahip elektron ϕ açısında ortamdan yayınlanmaktadır (Şekil 2.9). Fotonun saçılma açısı fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır. Foton enerjisinin 0,1 ile 10 MeV olduğu aralıkta ortamda enerji depolanmasında Compton saçılması baskın olur.

- **Çift Oluşumu**

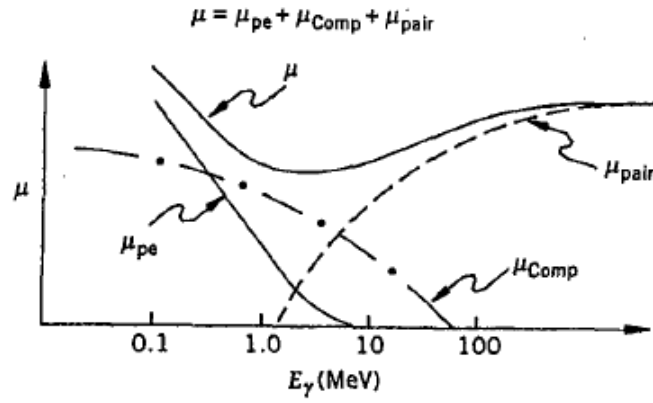
Foton yeterli enerjiye sahip olduğunda, madde tarafından soğurulur ve zıt elektrik yüklü parçacıklar meydana getirir. Kısaca, çift oluşum fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesidir. Bu olay, momentum korunumunu sağlamak için üçüncü bir cismin varlığında meydana gelir. Pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit olduğundan, elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi $h\nu \approx 2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$ olacaktır (Şekil 2.10).



Şekil 2. 10 Çift oluşum

Çift oluşum tesir kesiti Z^2 ile değişir, burada Z ortamın atom numarasıdır. Çift oluşum eşikten hızlıca yükselir ve foton enerjilerinin 10 MeV den büyük olduğu durumlarda enerji kaybı mekanizmalarında baskın olur. Çok yüksek enerjilerde (>100 MeV), elektron-pozitron çifti tesir kesiti azalır ve ortamın radyasyon uzunluğuna eşit olan sabit soğurma katsayısı ile ifade edilir. Bu oluşan pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşmaya ve radyasyona enerji kaybederler. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum diye adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsızdır ve 10^{-10} sn yarı-ömre sahiptir. Dolayısıyla, pozitronyum atomu bozunarak (anihilasyon) iki foton meydana getirir. Bu yok olma işlemi zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların herbiri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0.511 MeV lik enerjiye sahip olmalıdır.

Özetle, gama ışınlarının madde ile etkileşmesine fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşum katkı sağlar. Bu nedenle, toplam lineer soğurma katsayısı bu süreçlerin soğurma katsayılarının ayrı ayrı toplamıdır (Şekil 2.11).



Şekil 2. 11 Toplam lineer soğurma katsayısının gelen foton enerjisi ile değişimi

Eğer gama ışını bir bileşikten geçiyor ise, soğurma katsayısı;

$$\mu_c = \sum w_i \mu_i \quad (2.31)$$

ile verilir. Burada w_i bileşikteki i . elementin ağırlık kesri, μ_i i . elementin toplam soğurma katsayısıdır [19].

2.3 Nötronlar

Nötron elektrikçe yüksüz ve kütlesi, elektronun 1839 katı olan bir parçacıktır. Nötronlar kararsız halde bulunan çekirdeklerden 7–8 MeV' lik bağ enerjisinden daha yüksek olan enerjilere sahip oldukları zaman yayınlanır. Doğada kendiliğinden nötron yayınlayan bir radyonüklid yoktur. Chadwick 1932 yılında Berilyum' u Polonyum' un alfa ışınlarıyla bombardıman ederek nötronun varlığını saptamıştır.



Bu reaksiyonda oluşan nötronların 0,5 MeV – 10 MeV' lik geniş bir spektrumu vardır. Nötronlar fisyon olayı esnasında, nükleer reaksiyonlarla ve hızlandırıcılar aracılığıyla elde edilirler. Atom çekirdeğinin nötron ve protonlardan oluşması nedeniyle bazı nükleer reaksiyonlar, çekirdeğin parçalanması ve hızlandırıcılarla yüksek enerji uygulanması nötronların açığa çıkmasını sağlar. Nötron, enerjisini yüklü parçacıklar gibi doğrudan kaybetmez. Elastik ve inelastik çarpışmalarla dolaylı olarak iyonizasyon ve çekirdek reaksiyonları oluşturur. Nötron radyoaktif olup yaklaşık 13 dakikalık bir yarı ömrü vardır. Atom numarası sıfır olup serbest nötronlar kararsızdır. Nötron bir beta ışını yayınlarak protona dönüşür. Nötronlar gama ışınlarına benzer olarak dış radyasyon

tehlikeleri en fazla olan radyasyonlardır. Nötronlar yüksüz olduklarından vücut içersine kolayca nüfuz edebilir ve dolaylı olarak dokularda iyonizasyonla zararlar oluştururlar.

Nötron Kaynakları

Nötronlar istenilen nitelik ve nicelikte çeşitli enerji ve kaynak şiddetlerinde üç ana yolla elde edilir.

- **Radyonüklitler Kullanılarak (Küçük Kaynaklar Oluşturularak)**

Hafif elementlerin alfa parçacıklarıyla bombardıman edilmesidir. Bu kaynaklardan elde edilen nötronların enerjileri 0,5 MeV ile 10 MeV arasındadır. Bu alanda kullanılan alfa kaynakları genellikle Ra-226, Po-210, Pb-207 ve Pu-239 gibi kaynaklardır.

$\text{Li}^7(\alpha, n) \text{B}^{10}$, $\text{Be}^9(\alpha, n) \text{C}^{12}$ gibi reaksiyonlar örnek verilebilir.

- **Nükleer Reaktörler Kullanılarak**

En önemli nötron kaynağıdır. Reaktörlerde elde edilen nötronlar fisyon (n,f) esasına dayanır. Bu nötronlar değişik enerji ve yüksek akıya sahiptirler. Bu çalışmada kullanılan TRIGA MARK II reaktörü de Bölüm-2’de detaylı olarak verilmiştir.

- **Hızlandırıcıdan Elde Etme**

Bu yolla nötron elde etme için bir hedef maddesinin yeterli enerjiye sahip parçacıklarla bombardımanı esasına dayanır. Reaktörlerden elde edilen nötronların enerjilerine oranla çok daha küçük enerjilere sahiptirler.



reaksiyonu örnek verilebilir [20].

Nötronların Atom Çekirdeği ile Etkileşmesi

Nötronlar yüksüz parçacıklar oldukları için Coulomb alanı etkisine uğramadan çekirdeğe yaklaşabilirler ve nükleer kuvvetlerin ulaşma uzaklığına girince çekirdek tarafından yakalanırlar. Her enerjide çekirdek ile yakın etkileşime girebilecekleri için reaksiyon tesir kesitleri, yani etkileşmeye girme olasılıkları yüksektir. Nötronların kinetik enerjilerinin büyüklüğüne göre etkileşmeler farklı olabilir. Yani çekirdek reaksiyonlarında hemen hemen her enerjideki nötronları kullanmak mümkündür.

Nötronları enerjilerine göre sınıflandırırsak, oda sıcaklığında gaz molekülleri ile dengede bulunanlara termal (ısı) nötronlar adı verilir ve bunların kinetik enerjileri ortalama 0,025 eV kadardır, kinetik enerjileri 0,025 eV ile 1 keV arasında olanlar yavaş nötronlar, 1 keV ile 0,5 MeV arasında olanlar orta hızlı nötronlar, 0,5 ile 10 MeV arasında olanlar hızlı nötronlar ve kinetik enerjileri 10 MeV' dan büyük olanlar ise çok hızlı nötronlar olarak adlandırılır. Nötronların madde ile etkileşimi 6 şekilde gerçekleşebilir.

- **Esnek Saçılma (n,n)**

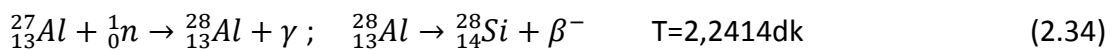
Nötron bir atom çekirdeğine çarparak kinetik enerjisinin bir kısmını ona ilettikten sonra çekirdeğin fiziksel yapısında bir değişikliğe sahip olamadan çarpışma tesiriyle kendi geliş doğrultusundan başka bir doğrultuya sapar. Nötronların atom çekirdeklerinden esnek saçılmaları mekanikte momentum ve enerji korunumuna uygun bir şekilde meydana gelir.

- **Esnek Olmayan Saçılma (n,n'), (n,n' γ), (n,2n)**

Nötron çarptığı çekirdeğin içine girerek çekirdeğin fiziksel yapısını değiştirir. Fakat çok kısa bir zaman içinde kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe iletmış olan çekirdeği, geliş açısında farklı bir açı ve başlangıçtaki sahip olduğu kinetik enerjisinden daha az bir enerjiyle terkeder. Nötronun çekirdeği terketmesinden bir süre sonra çekirdek meydana gelen iç enerji fazlalığından kurtulmak için bir γ fotonu yayar ve temel enerji seviyesine döner. Kinetik enerjisinin bir kısmı iç uyarılma enerjisine dönüştüğünden nötronlar ile hedef çekirdek arasında enerji korunmaz.

- **Nötronların Çekirdek Tarafından Tutulması (n,γ)**

Hedef çekirdeğin üzerine gelen nötron çekirdeğin içine girebilir ve onunla birleşerek bombardıman edilen atomun yeni bir izotopunu meydana getirebilir. Örneğin Alüminyum'un nötronlarla bombardıman edildiğini varsayalım.

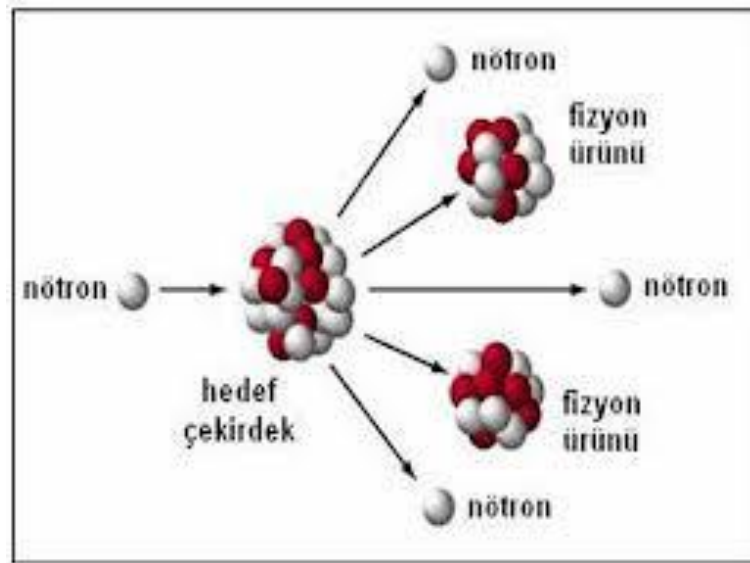


Bu etkileşimde γ ışınlarının meydana gelmesi çekirdeğin reaksiyon sonucunda eksite bir halde kaldığını ve enerjisinin fazlasını γ ışınları şeklinde yaydığını ifade eder.

Meydana gelen izotopun kütle numarası bir birim yüküdür. Meydana gelen izotop uyarılmış durumda ise ikinci bir bozunma sonucunda kararlı bir çekirdek haline gelir.

- **Fisyon Tepkileşimleri (n,f)**

$Z > 30$ olan bütün çekirdekler üzerlerine gönderilen belirli bir kinetik enerjiye sahip olan nötronlar bombardıman edildiğinde hemen hemen eşit atom numaralarına sahip iki parçaya bölünebilirler. Bu bölünme esnasında bir miktar $\bar{\nu}$, γ fotonu, nötrino ve nötronda açığa çıkar.



Şekil 2. 12 Fisyon tepkileşimleri [21]

- **Yüksek Enerjili Nötronlar ile Meydana Gelen Tepkileşimler ($E_n > 10$ MeV)**

Yüksek kinetik enerjili bir nötron hedef çekirdeğe çarparak esnek olmayan saçılma yapar ve çok kısa zaman içinde gerisinde uyarılmış bir çekirdek bırakarak çekirdeği terkeder. Eğer çekirdeğin uyarılma enerjisi yeterince büyükse, çekirdek bu fazla enerjiyle γ fotonu yerine bir nötronda yayabilir.

- **Yüklü Parçacık Yayımlanmasına Sebep Olan Nükleer Tepkileşimler (n,p), (n,d), (n,t), (n, α), (n, α p)**

Bunlar nötron enerjisine bağlı olarak meydana gelebilecek (n,p), (n,d), (n,t), (n, α), (n, α p) tepkileşimleridir. Bu tepkileşimler sonucu oluşan çekirdekte uyarılmış durumda olabileceğinden tekrar bozunarak (β^- , β^+ gibi) kararlı duruma geçer.

Yüklü parçacıkların, çekirdeği terk edebilmeleri için Coulomb potansiyel duvarını aşmaları gerektiğinden bu tepkileşimler en çok hafif çekirdekler ve hızlı nötronlar için meydana gelebilir. İstisna olarak bir kaç ekzotermik (n, α) reaksiyonu termik nötronlarla bile meydana gelebilir [20], [22].

2.4 TRIGA MARK II Reaktörü

İTÜ TRIGA Mark-II Reaktörü, 11 Mart 1979 tarihinde kritik yapılmış ve TRIGA reaktörlerinin 54'üncüsü olarak işletmeye açılmıştır.

TRIGA adı "Training Research Isotope Production General Atomic" kelimelerinin ilk harflerinden meydana gelmiştir. Mark-II ise, muhtelif TRIGA reaktör tipleri arasında yer seviyesi üstünde inşa edilen ve kalbi sabit bir tipin adıdır.

İTÜ Triga Mark-II eğitim ve araştırma reaktörü; hafif su soğutuculu, grafit yansıtıcılı ve zenginleştirilmiş uranyum yakıtın zirkonyum hidrat yavaşlatıcı ile homojen bir şekilde karıştırılması ile meydana gelen katı yakıt elemanları ile çalışan açık tank tipi bir reaktördür.

Reaktör, sürekli ve darbeli olarak tanımlanan iki farklı şekilde çalıştırılabilir. Sürekli çalışmada 250 kW ve darbeli çalışmada ise çok kısa bir zaman aralığında 1200 MW güç seviyelerine çıkabilmektedir.

TRIGA reaktörleri yakıt-yavaşlatıcı elemanları, zenginleştirilmiş uranyum yakıt ile zirkonyum hidrat yavaşlatıcısının homojen bir karışımı olup "ani negatif sıcaklık geri besleme katsayısına sahiptirler. Reaktörde meydana gelen herhangi bir ani güç artması, yakıt-yavaşlatıcısının sıcaklığının artmasına ve ani olarak reaktivitenin düşmesine neden olmaktadır. Bu özellik sadece TRIGA reaktörlerinde vardır, bu yüzden "kendiliğinden emniyetli reaktörler" olarak tanımlanmaktadır.

Reaktör kalbi; halka şeklinde silindirik grafit yansıtıcı ve delikli alt ve üst levhalar arasına yerleştirilen yakıt elemanları ile grafit yansıtıcı elemanlardan meydana gelir.

Reaktör kalbi içinde çekirdek parçalanmasından açığa çıkan ısı, doğal taşınılma, yani suyun kalbe alttan girip ısınarak yükselmesi ile su tarafından taşınmaktadır. Tankın üst kısmında bir pompa vasıtasıyla emilen su, ısı değiştiricisine gider ve soğuduktan sonra

tekrar tanka döner. İkinci soğutma devresindeki su, ısı değiştiricisinden aldığı ısıyı soğutma kulesi vasıtasıyla havaya atar.

Reaktörde üç adet kontrol çubuğu vardır. Bunlar, darbe çubuğu, emniyet çubuğu ve ayar çubuğudur. Emniyet ve ayar çubukları elektromekanik mekanizmalarla çalıştırılır. Darbe çubuğu sürekli çalışmada basınçlı hava ve elektromekanik mekanizmayla çalışmaktadır. Darbeli çalışmada darbe çubuğu, basınçlı hava ile kontrol edilmektedir.

Mevcut kontrol sistemi

TRIGA Mark-II Reaktörünün sürekli ve darbeli olmak üzere iki ayrı çalışma modu vardır. Otomatik modda reaktör kapalı çevrim kontrol sistemi içerisinde çalışır. Kontrolör olarak akı (flux) kontrolör kullanılmıştır.

“El-ile (manuel) çalışma modunda, kontrol panelindeki UP/DOWN butonlarıyla çubuk konumları operatör yardımıyla ayarlanarak güç değişimi sağlanır. Çubuk konumları, kontrol panelindeki göstergelerden okunur. İstendiğinde kontrol çubukları butonlarla tek tek düşürülebildiği gibi SCRAM çubuğu ile üçü birden aynı anda düşürülebilir.

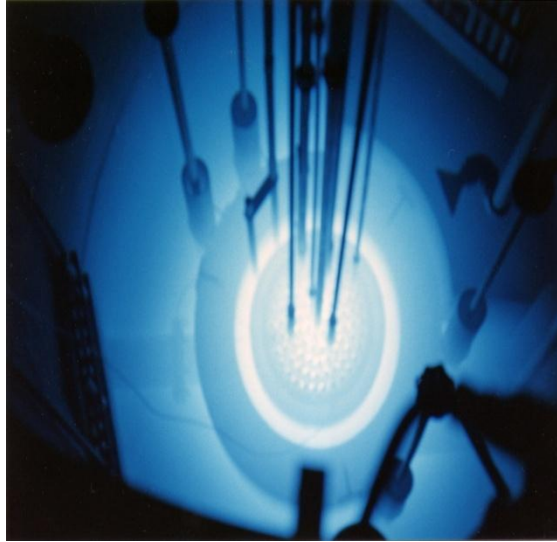
Reaktörde, bir adet soğutucu sıcaklık ve iki adet yakıt sıcaklık ve dört adet güç kanalı vardır. Geniş bantlı logaritmik güç kanalından gelen güç bilgisi, kontrol panelindeki yazıcıda görüntülenir. Peryod, yakıt sıcaklığı ve akışkan sıcaklığına ait bilgiler analog ölçü aletleri yardımıyla gösterilmektedir.

Otomatik mod çalışmada; reaktör, kapalı çevrim kontrol sistemi içerisinde çalışır. Kontrolör olarak analog kontrolör, elektromekanik kıyıcı kullanılmıştır. Analog kontrolör, kontrol çubuklarından ayar çubuğunu kullanarak reaktörü otomatik olarak kontrol eder.

Güç değişimleri, reaktör kalbine yerleştirilen detektörler yardımıyla algılanır. Detektörden gelen işaretlerin görüntülenmesinde logaritmik ve lineer kanallar kullanılır. Reaktör çıkışındaki mevcut güç bilgisi lineer güç kuvvetlendiricisinden elde edilir [23].



Şekil 2. 13 Triga Mark II reaktör



Şekil 2. 14 Reaktörün kalbi

2.5 Nötron Aktivasyon Analiz Yöntemi

Aktivasyon analizi, elementlerin nicel ve nitel analizinde kullanılan; sıhhatli ve incelikli sonuçlar veren; ekonomik, süratli ve gerektiği takdirde numunenin yapısını bozmadan uygulanabilen bir analiz metodudur. Bu metodun temel prensibi, kararlı bir izotopun nötronlar veya yüklü parçacıklarla bombardıman edilerek uyartılması sonucu yayınlanan ışınların dedeksiyonu ve bombardıman sonucu oluşan radyoaktif çekirdeğin parçalanma yarı ömrünün tayinine dayanır.

Aktivasyon analizi için en uygun şartlar aşağıdaki başlıklar altında toplanır.

- Nitel analizde, özellikle ışınlanarak aktif hale getirilmiş çekirdeklerden çıkan karakteristik gama ışınlarının enerjileri ve aktif çekirdeğin parçalanma yarı ömrü göz önüne alınır. İncelenen numunede başka maddeler yoksa bu kolay ve basit bir şekilde sonuç verir. Aksi durumda ya kimyasal ayırım ya da karışık bir gama ışınları spektrumunun çözünümü ve bileşenlerine ayrılması için uygulamalar gereklidir.
- Işınlama sonucu oluşan aktiflik üzerinde, analizi yapılan elementin bulunma miktarı fazlasıyla etkili olmaktadır. Bunun için en uygun çekirdek reaksiyonunun, tesir kesiti göz önünde tutularak seçilmesi ve ışınlama süresinin de kısa veya uzun alınması gerekmektedir.
- Aktivite üzerinde, ışınlamada kullanılan nötron veya yüklü parçacık akı değeri ve oluşan radyoaktif elementin yarı ömrü de etkili olmaktadır. İlgili elementin izotoplarına ait bolluk yüzdeleri de önemle göz önüne alınmalıdır.

Nitel ve nicel analiz için en uygun şartlar sağlanarak, ışınlama sonucu çıkan ışınlımların dedeksiyonundan;

- Numuneden yayınlanan ışınlımların cinsi,
- Bu ışınlımların enerjileri,
- Işınlama sonucu oluşan çeşitli radyoaktif çekirdeklerin parçalanma yarı ömürleri,
- Her aktif bileşene ait ışınlım miktarı (bu, gama ışınlarına ait spektrum alındığında, fotopik alanları hesaplanarak bulunmaktadır.),
- Numune ve standarda ait fotopik alanları yardımıyla, analizi yapılan elementin bilinmeyen miktarının tayini mümkün olmaktadır.

Nükleer reaktörler ve nötron jeneratörleri gibi yüksek akı nötron kaynaklarının geliştirilmesi, yarı iletken dedektörlerin yapımı ve nükleer elektronikteki gelişmeyle birlikte Nötron Aktivasyon Analizi (NAA) mümkün hale geldi. İlk zamanlar yarı iletkenler gibi yüksek saflıktaki malzemelerde, eser miktarda safsızlıkların tayininde kullanılan

NAA, biyolojik bilimler, jeokimya, kriminoloji, arkeoloji vb. alanlarda geniş olarak kullanılmaktadır.

Analitik problemlerin çözümü için NAA'nın seçilmesi; metodun hassas, süratli, ekonomik, kolay, güvenilir, numune tahrip edici olmayışı ve başka uygun analiz metodunun olmayışına bağlanabilir. NAA'nın en önemli özelliklerinden biri de aynı numunede aynı anda birden fazla elementin nitel ve nicel analizine imkan vermesidir. Diğer eser analiz teknikleriyle karşılaştırıldığında bu özelliklerin tamamını bünyesinde taşıyan tek analiz metodunun nötron aktivasyon analizi olduğu görülmektedir.

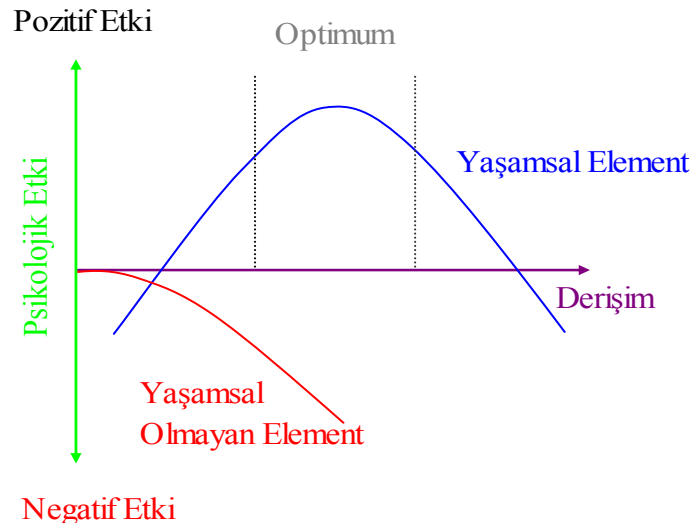
Nötron aktivasyon analizinde kullanılan nötron kaynaklarından nükleer reaktörler ve nötron jeneratörleri eser miktarda element analizi için uygun olup özellikle C,N,O gibi elementlerin mikro ve orta seviyeli analizlerinde kullanılırlar.

NAA hemen hemen her bilimsel ve teknik alanda numunelerde majör, minör ve eser elementlerin nitel ve nicel tayini için yararlı duyarlı bir analitik tekniktir. Birçok element ve uygulama için diğer metotlara kıyasla NAA daha iyi duyarlılıkta analiz imkanı sağlar. İlaveten, duyarlılığı ve güvenilirliği dolayısıyla NAA genel olarak yeni bir prosedür geliştirildiğinde ya da diğer metotlar birbiriyle uyumsuz sonuçlar ürettiğinde "hakem metot" olarak kullanılır. NAA'nın dünya ölçeğinde uygulanması o kadar fazladır ki her yıl yaklaşık olarak 100 000 numune bu metotla analiz edilmektedir. NAA 1936'da Hevesy ve Levi tarafından belli nadir toprak elementlerinin nötron kaynağına maruz bırakıldığında yüksek düzeyde radyoaktif olduklarını buldukları zaman keşfedilmiştir. Bu gözlemden sonra numunelerde bulunan elementlerin hem nitel hem de nicel analizinin, numuneleri nükleer tepkimeye soktuktan sonra oluşan radyoaktivitenin ölçümü ile yapılabilme potansiyelinin farkına varmışlardır. Eser madde tayininde NAA dışında çeşitli atomik absorpsiyon spektroskopisi, yöntemleride kullanılmaktadır [22], [24].

2.6 AĞIR METALLERİN ETKİLERİ

Ağır metaller biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu metaller biyolojik reaksiyonlara

katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Yerkürede doğal olarak bulunan 90 element içinde 60 tanesi insan ve hayvan vücudunda bulunmaktadır. Fizyolojik faaliyetlerin devamı için gerekli olan makro elementler kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, eser elementler ise demir, iyot, bakır, çinko, mangan, kobalt, molibden, selenyum, krom ve kalaydır. Arsenik, kurşun, kadmiyum, civa gibi elementlerde toksik etkili olarak bilinmekte, belirli miktarlardan fazla alındıklarında sağlık üzerinde olumsuz etki yapmakta ve vücutta birikim yaparak zehirlenmelere yol açmaktadır. Ayrıca yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedir. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan civadır.



Şekil 2. 15 Ağır Metal Etkilerinin Derişimle Değişimi [25].

Ağır metallerin insan metabolizmasında oluşturdukları etki ve etkin oldukları aşamaları ana sistemler açısından kısaca ele alırsak bunları

- Kimyasal reaksiyonlara etki edenler
- Fizyolojik ve taşıma sistemlerine etki edenler
- Kanserojen ve mutajen olarak yapı taşlarına etki edenler
- Alerjen olarak etki edenler
- Spesifik etki edenler olarak sıralamak mümkündür.

En yüksek yayınıma sahip olan kurşun, toksikolojik olarak en büyük hasara yol açan kadmiyum, yaşamsal özellik göstermesine rağmen aldığı değeriğe göre kanserojen özellik gösteren krom ve bazı ağır metaller ile ilgili kısaca bilgi verilecektir.

Kurşun: Kurşun, hava, su ve toprak yoluyla, solunumla ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren son derece zehirleyici özelliklere sahip bir metaldir. Atmosferden kurşun (büyük oranda metal oksitleri ve tuzları şeklinde) yağmurla tekrar yeryüzüne inerek çevremize her geçen gün daha fazla yayılmaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayi atık sularında da istenmeyen konsantrasyonlar da kurşun kirliliğine rastlanır. Pil fabrikası atık sularında 5,66 mg/l, asidik maden drenajlarında 0,02-2,5 mg/l, tetraetil kurşun üreten fabrika atık sularında 120-150 mg/l organik, 66-85 mg/l inorganik kurşun kirliliğine rastlanmıştır. İnsan vücudundaki kurşun miktarı tahmini ortalama olarak 125-200 mg civarındadır. Ve normal koşullarda insan vücudu normal fonksiyonlarla günde 1-2 mg kadar kurşunu atabilme yeteneğine sahiptir. Kurşunun absorpsiyonu %5 gibi bir oranda gerçekleşmektedir. Kandaki kurşun konsantrasyonunun 0,2 µg/ml limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenir. Kan kurşun konsantrasyonu; 0,2 µg/ml limitini aşması ile kan sentezinin inhibasyonu, 0,3-0,8 µg/ml limitlerinde duyu ve motor sinir iletişim hızında azalma, 1,2 µg/ml limitinin aşılmasından sonra ise yetişkinlerde geri dönüşü mümkün olmayan beyin hasarları meydana geldiği belirlenmiştir. Havadaki kurşun konsantrasyonu ile kandaki kurşun konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kurşunun havadaki 1 µg /m³ konsantrasyonunun kanda 0,01-0,02 µg/ml lik konsantrasyonu oluşturduğu tespit edilmiştir.

Kadmiyum: Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renginde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum oksite dönüşür. Havadaki kadmiyum fume konsantrasyonu 1 mg/m³ limitini aşması durumunda, solunumdaki akut etkileri gözlemek mümkündür. Normal olarak vücudumuzda 40 mg a kadar kadmiyum bulunabilmektedir. Ve günlük olarak ta 40 µg a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Kadmiyumun vücuttan atılımının az olması ve birikim yapması nedeni ile sağlık üzerine olumsuz etkileri zaman doğrultusunda gözlenir. Uzun süreli maruziyetten en fazla etkilenecek organ böbreklerdir. Böbrekte oluşan hasarın tekrar geriye dönüşü mümkün değildir. Akciğer ve prostat kanserlerinin oluşumunda kadmiyumun etkisi kesin olarak belirlenmiştir.

Krom: Günlük krom alımı ortalama 30-200 µg dır. Bu oranda alınan kromun toksikolojik bir etkisi yoktur. Ve yetişkin bir insanda günlük krom ihtiyacını karşılar. Günde 250 µg a kadar alınan kromun vücut sağlığına zararı yoktur. Günlük atılan krom 0,5-1,5 µg dır.

Nikel: Nikel gümüşümsü beyaz renkli sert bir metaldir. Nikel bileşikleri pratik olarak suda çözünmez. Suda çözünebilir tuzları; klorür, sülfat ve nitrattır. Nikel biyolojik sistemlerde adenosin trifosfat, aminoasit, peptit, protein ve deoksiribonükleik asitle kompleks oluştururlar. Havadaki nikel bileşiklerinin solunması sonucunda, solunum savunma sistemi ile ilgili olarak; solunum borusu irritasyonu, tahribatı, immunolojik değişim, alveoler makrofaj hücre sayısında artış, silia aktivitesi ve immünite baskısında azalma gibi anormal fonksiyonlar meydana gelir. Deri absorpsiyonu sonucunda allerjik deri hastalıkları ortaya çıkar. Havada bulunan nikel uzun süreli maruziyetin insan sağlığına etkileri hakkında güvenilir kanıtlar tespit edilememişse de; nikel işinde çalışanlarda astım gibi olumsuz sağlık etkilerinin yanı sıra, burun ve gırtlak kanserlerine neden olduğu kanıtlanmıştır.

Bakır: Kırmızımsı bir metal olan bakır, doğal ortamda, kayalarda, toprakta, suda ve havada bulunur. Bakır ayrıca doğada bitkilerde ve hayvanların vücudunda bulunur. Hayvan ve insanda özellikle karaciğerde depolanır (1,5 gram kadar). Tarımda çok fazla miktarda kullanılırsa bitkilerin büyümesini engeller, bunu demirin yerine geçerek yapar. Havada veya suda bulunan bakır veya bakır bileşikleri çoğunlukla toz parçacıklarına bağlı bulunur; dolayısı ile solunum yollarında veya sindirim sisteminde kolayca tutulurlar veya suda bulunduklarında filtrasyon işlemiyle kolayca sudan uzaklaştırılabilirler. Toz veya zerreciklere bağlı olmayan bakır ise suda çözünmeyen formdur ve asıl olarak sağlığı etkileyen bakır budur. Genel olarak doğada bulunan sulardaki bakır miktarı litrede 4 mikrogramı (4 µg/l) geçmez. Ancak bazı sularda daha yüksek oranlarda saptandığı da olmuştur. Normalde yetişkin bir insan günde 1.000 µg bakır alabilir. İçtiğimiz sularla günde yaklaşık 150 µg bakır alırız. Belirtilen miktarların üzerinde alındığında karaciğer ve böbrek hasarı, anemi (kansızlık) ortaya çıkabilir.

Civa: Civa zehirli bir maddedir; solunum, mide ve deri yoluyla emilir. Bedenden atılımı için çok az yol olduğundan, birikerek etkisi artan bir zehirdir. Civa uçucu bir elementtir. Bu yüzden havadaki bulunma miktarının tehlikeli olduğu sınırlara (havadaki civa buharı

miktarının aşmamasına dikkat edilmesi gereken miktar 0,1 mg/m³) ne yazık ki çoktan ulaşmıştır. Besinlerle günde 5-20 mikrogram civa alındığı tahmin edilmektedir.

Kalay: Kalay, periyodik cetvelde atom numarası 50 olan elementtir. Simgesi Sn olup Latince stannum dan gelir. Gümüşümsü gri renktedir. Havada kolaylıkla okside olmaz, korozyona karşı dirençlidir. Yerkabuğunda bulunma oranı 2 ppm olup, çinko (94 ppm), bakır (63 ppm), ve kurşun (12 ppm) ile karşılaştırıldığında oldukça nadirdir.

Çinko: Çinko, periyodik tablonun II B grubunda yer alan, mavimsi açık gri renkte, erime noktası düşük ve kırılkan olan bir metaldir. Geçiş elementleri grubunda yer alan çinko oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Çinkonun dünyada yıllık kullanım miktarına bakıldığında demir, alüminyum ve bakırdan sonra geldiği görülmektedir. Günlük çinko gereksinimine baktığımızda; yeni doğan ve ilk 6 ayda günde 3 mg, 1 ile 10 yaşları arasında günde 10 mg, ergenlik döneminde günde 15 mg ve hamile kadınlarda günde 20 mg olduğu görülmektedir. Avrupa Birliğince tavsiye edilen miktar ise günde 15 mg'dır.

Arsenik: Azot ailesinden metalloid özellik gösteren bir elementtir. Arsenik kimyada As sembolü ile gösterilir ve metal ile ametal arasında bir özelliğe sahiptir. Yazılı belgelere göre arseniği ilk kez serbest element halinde tanımlayan, 1649 da oksidini taş kömürü ile ısıtarak arsenik elde etmiş olan Alman Eczacı Johann Schroeder'dir. Yerkürenin kabuğunda çok az bulunan ve geniş olarak dağılmış bir elementtir. Arsenik akut toksisitesi kimyasal formuna bağlıdır. Elemental, gaz (arsin), organik ve inorganik formlarda bulunur. Gaz formu en toksik formudur. Doğada en çok bulunan formu inorganik arseniklerden arsenik trioksittir. İnsanlar günlük 300 µg alabilirler. Arsenik çevrede çok yaygındır. Değişen konsantrasyonlarda toprakta, suda ve canlı organizmalarda bulunur. Toprakta 0,1-40 ppm miktarı arasında rastlamak olasıdır. Doğal su kaynakları ve denizlerde değişen oranlarda arsenik bulunmaktadır.

Antimon: Kurşun alaşımlarında, ilaç sanayinde, pil endüstrisinde ve elektronik sanayinde yoğun kullanılan antimon insan vücudu için gerekli bir metal değildir. Vücutta bıraktığı temel hasarlar; bağışıklık sisteminde çökme, sinir sisteminde, solunum ve sindirim sistemlerinde ve vücudun diğer sistemlerindeki negatif etkileri olarak tanımlanabilir. Canlı bünyesine soluma, yeme, içme ve deri teması ile geçer. Birçok

farklı sağlık kuruluşunun deneysel çalışmalar sonucunda elde ettiği verilerden yola çıkarak çalışma ortamlarında antimon oranının 0,5 mg/m³ üzerine çıkmasına izin verilmemektedir [25].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmanın deneysel aşaması, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'nün 2012-01-01-YL02 numaralı YULAP projesiyle desteklenmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü binasında bulunan, çalışmanın amacına uygun niteliklere sahip TRIGA MARK-II reaktörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada Davutpaşa Bölgesinde toplanan hava numunelerinde bulunması beklenen ağır metaller incelenecektir. Bu inceleme bölgede toplanan örneklerle Atomik Absorbsiyon standartlarındaki referans örnekler karşılaştırılarak yapılacaktır. Bu bölümün içinde; örneklerin hazırlanması, ışınlama/sayım süreci ve elde edilen spektrumların analizi detaylı olarak açıklanacaktır.

3.1 Örneklerin Hazırlanması

YULAP projesi kapsamında temin edilen Merck marka 1002 ± 5 mg/l konsantrasyonlu ağır metal (Cd, Sb, Pb, Te, Sn, Hg, Bi, As) referans çözeltiler mikro pipetler kullanılarak MILLIPORE marka teflon filtre ve WHATMAN 42 (7cm çapında ve $2,5\mu\text{m}$ gözenekli) selüloz filtrelerle emdirildi.

Hava örneklerinde bulunması muhtemel düşük kütle (μg veya ng) miktarlarındaki örneklerle kıyaslayabilmek için temin edilen çözeltilerin derişimleri saf su kullanılarak ml de 0,5mg, 100 μg , 50 μg , 10 μg , 1 μg , 100ng, 10ng ve 1ng miktarında madde içerecek şekilde değıştirildi. NAA yöntemine uygun daha az gürültü seviyesine sahip filtre teflon filtredir. Çünkü yapısında flor ve karbon atomları vardır. Karbon atomları nötronlardan etkilenmez. Flor atomları ise kısa ömürlü olduğu için NAA' da reaksiyonu etkilemez. Bu nedenle teflon filtre kullanmayı tercih ettik. Fakat teflon filtrenin emiciliğinin zayıf

olması nedeniyle mg/ml mertebesindeki örnekler için selüloz filtre kullanıldı. Filtrelerden kaynaklanabilecek diğer gama seviyelerini en aza indirebilmek için filtreler dört parçaya bölünüp tartılarak kullanıldı. Filtrelerden kaynaklanabilecek etkiyi normalize etmekte yararlı olan bu tartım yöntemi, derişimi ng veya µg mertebesindeki örnekleri belirlemekte tartının hassasiyet sınırları dışında kalınacağından uygun değildir. Bu nedenle filtrelere madde damlatıldıktan sonra tartımları alınmamıştır. Bu normalizasyon için gama spektroskopisi yönteminden yararlanılmıştır. Farklı derişimlerde hazırlanan çözeltiler mikro pipetler kullanılarak filtrelere damlatılmış ve 250 W kızıl ötesi lamba altında çeker ocak içinde bekletilerek kurutulmuştur. Her bir örnek gerek taşıma esnasında birbirlerinde gereksede temas nedeniyle oluşabilecek kirlilikten korunmak için parafilm ile mühürlenmiştir.

Çizelge 3.1' de Merckten temin edilen örneklerin özellikleri, Çizelge 3.2' de ise yukarıda düşük derişimlerdeki numunelerin hazırlanmasında kullanılan yöntemin testi için seçilen Arsenik ve Antimon' a ait gama-ışını seviyeleri ve bollukları listelenmiştir.

Çalışmada Kullanılan Cihazlar:

Analitik Terazî	: Precisa SCS 205 A
Pipet	: Transferpette Brand Single-Channel Pipette
Filtre	: MILLIPORE teflon ve WHATMAN 42 selüloz filtre(7cm çapında ve 2,5µm gözenekli)
Lamba	: Infrared 250 W
Parafilm	: Balmumcu Kimya

Çizelge 3. 1 Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler

Element	Arsenik(As)	Antimon(Sb)	
İzotop	As-75	Sb-121	Sb-123
Bolluk	100	57,21(5)	42,79(5)
Termal nötron tesir kesiti(barn)	4,520	5,797	3,892
Epitermal nötron tesir kesiti (barn)	0,713	1,204	0,639
%Derişim(mg/l)	1002±5	1000±5	
Molekül kütlesi(g/mol)	74,9216(17)	121,760(1)	

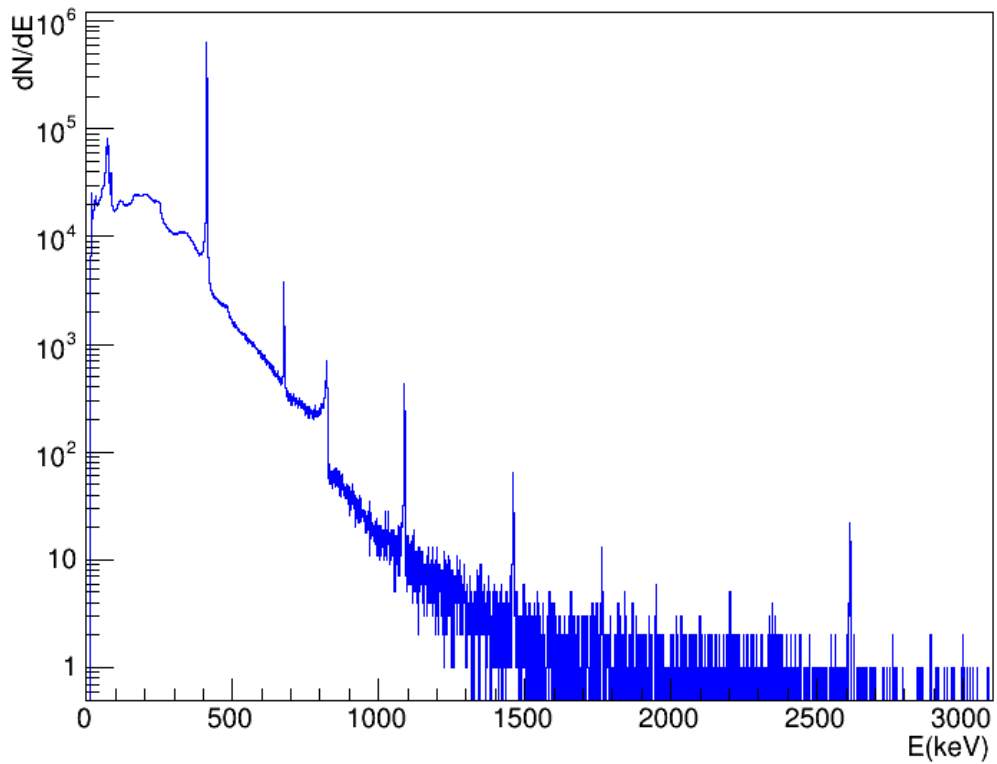
Çizelge 3. 2 Gama-ışını seviyeleri ve bollukları

Element	Enerji (keV)	f _v (%)	Yarı Ömür
Arsenik (As-75)	559,10 (5)	45	26,24 h (9)
	657,05 (5)	6,2 (4)	
	1212,92 (5)	1,44 (11)	
	1216,08 (5)	3,42 (24)	
	1228,52 (5)	1,22(10)	
Antimon (Sb-121)	564,24 (4)	70,67	2,72 d (12)
	692,65 (4)	3,85 (13)	
Antimon (Sb-123)	602,726 (23)	97,8 (3)	60,20 d (3)
	645,852 (19)	7,42 (3)	
	722,782 (3)	10,76 (5)	
	1690,971 (4)	47,57 (18)	
	2090,930 (7)	5,49 (3)	

3.2 Işınlama/Sayım Süreci

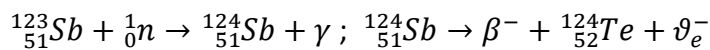
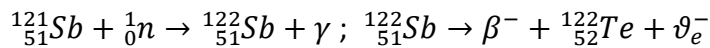
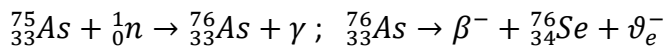
Işınlama için Bölüm 2’ de anlatılan TRIGA MARK II kullanılmıştır. Reaktör 250 kW güce çıkarıldı ve hazırlanan ışınlama tüpü reaktörün kalbine gönderilerek $2,4 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ akıyla 1 saat boyunca ışınladı. Işınlama için parafilmelenen arsenik numuneleri öncelikle birbirine yapışmasın diye ayrı ayrı streçlendi. Daha sonra streçlenmiş numuneler kıvrılarak ışınlama tüpüne yerleştirildi. Reaktörün akısı $m=5,64 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ kütleli altın monitör ile takip edildi.

Au Monitor



Şekil 3. 1 Altın monitör spektrumu

Işınlama sırasında gerçekleşen ve ölçüm esnasında takip edilen reaksiyonlar;

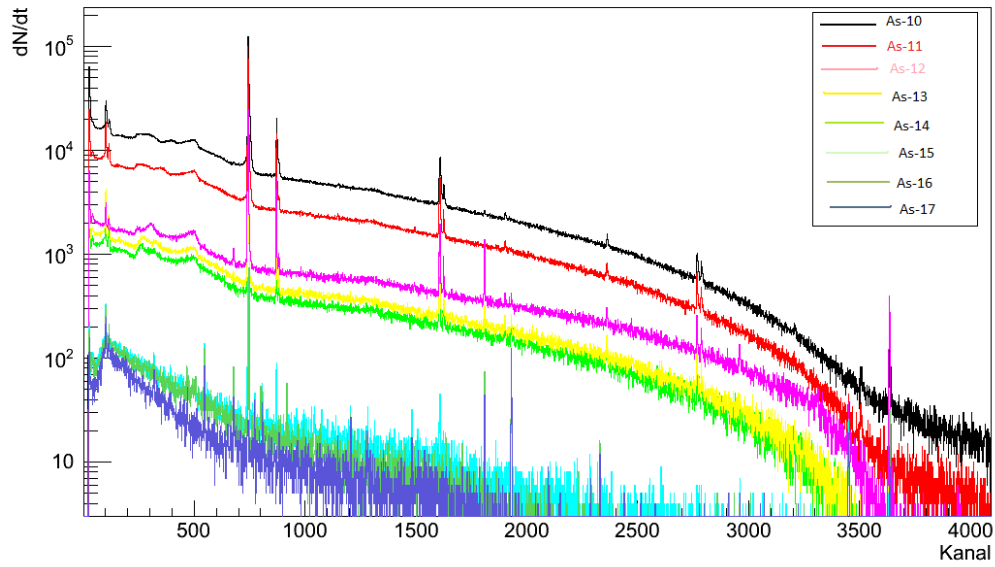


Işınlama işlemi hazırlanan bütün numuneler için aynı şekilde ve süreçte gerçekleştirildi.

Işınlama süresi bittikten sonra aktif gelen numuneler soğutulmak için kurşun ve beton

bloklarla çevrilmiş bölgeye alınarak farklı sürelerde bekletildi. Daha sonra numuneler Canberra GR4021 model saf Germanyum (Ge) n-tipi koaksiyel dedektör kullanılarak real time 1000 s süre ile dedektöre belli mesafelerde teker teker sayıldı. Bu sayımda Genie 2000 programı ile veriler toplandı. Çizelge 3.3’ de bütün örneklerin bekleme süreleri ve ölçüm sırasında dedektöre olan uzaklıkları verilmiştir.

Bu yöntemle elde edilen As’ e ait tüm ölçümler Şekil 3.2’ de verilmiştir.



Şekil 3. 2 Farklı derişimlerdeki As ölçümleri

Çizelge 3. 3 Numuneye bağlı sayım parametreleri

Örnek	Kütle	Bekleme Süresi (s)	Mesafe (cm)
Arsenik-10	1 mg	265783	20
Arsenik-11	0,5 mg	260155	20
Arsenik-12	100 µg	190310	20
Arsenik-13	50 µg	181623	20
Arsenik-14	10 µg	182823	20
Arsenik-15	1 µg	185261	20
Arsenik-16	100 ng	187544	20
Arsenik-17	10 ng	189157	20
Arsenik-18	1 ng	190310	20
Antimon-54	1 mg	965611	20
Antimon-55	0,5 mg	613844	2
Antimon-56	100 µg	614572	2
Antimon-57	50 µg	616402	2
Antimon-58	10 µg	617538	2
Antimon-59	1 µg	618643	2
Antimon-60	100 ng	619724	2
Antimon-61	10 ng	620828	2
Antimon-62	1 ng	621944	2



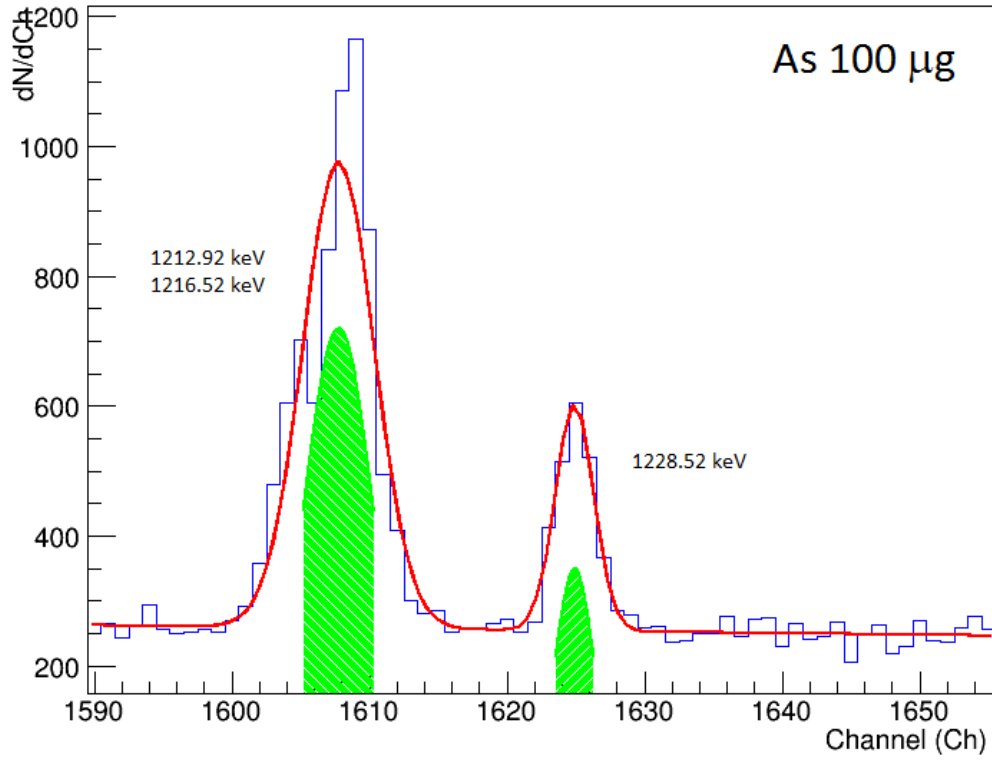
Şekil 3. 3 Ölçüm sistemi

Ölçüm Sisteminin Özellikleri:

- Canberra saf Germanyum (Ge) n-tipi koaksiyel dedektör (Ek A' da detaylı bilgisi verilmektedir.)
- Yüzde verim: % 40
- 1,33 MeV de yarı yükseklikteki genişlik 2,1 keV
- Çapı 61 mm
- Boyu 68 mm
- Dedektörün pencereden mesafesi 5 mm
- Canberra Eagle dijital spektrometre
- Genie 2000 spektrum analiz programı

3.3 Spektrumların Analizi

Elde ettiğimiz spektrumlar Y.T.Ü Nükleer Fizik Laboratuvarı için hazırlanan ROOT [27], [28] tabanlı Theia [29] grafiksel arayüzlü analiz programı ile incelendi. Bu program kullanılarak farklı gama seviyelerindeki TET altında kalan alanlar ve hataları sistematik olarak incelendi. Kütleye bağlı yapılan hesaplamalar aşağıda belirtilen yöntemle ölçü zaman, ışınlama, bekleme ve sayım süresi, gama bolluğu parametreleri dikkate alınarak düzeltildi. Gerek katı açısı nedeniyle oluşacak belirsizliklerden gerekse de dedektöre ait verim kalibrasyonu bulunmadığı için kütle değerleri 0,5mg ölçüm referans alınarak oranlandı. Bu yöntemle sonuçların katı açısı ve dedektör veriminden bağımsız olarak değerlendirilmesi mümkün oldu.



Şekil 3. 4 Analiz programının sonuç çıktısı

Çizelge 3. 4 Arsenik için okunan alan değerleri ve hataları

Enerji→ Kütle↓	559,10 keV	657,05 keV	1212,92+1216,08 keV	1228,52 keV
As-10	620318 (1877,81)	54770,5 (808,75)	42933,8 (581,81)	12243,3 (618,3)
As-11	354807 (1149,67)	43789,1 (472,96)	23190,3 (414,8)	5508,32 (255,465)
As-12	65165 (416,637)	8158,94 (166,954)	3732,86 (153,52)	1005,01 (82,894)
As-13	78771,3 (474,139)	9836,02 (187,893)	4733,33 (161,929)	1205,3 (87,25)
As-14	78672,1 (479,745)	9836,02 (187,893)	4733,33 (161,929)	
As-15	367,419 (37,4457)	192,44 (28,3041)	90,55 (23,22)	
As-16	223,495 (28,9693)			
As-17	58,56 (17,7828)			
As-18	37,2575 (35,538)			

Arsenik Hesaplamaları

Arsenik 1 mg için hesaplama;

Öncelikle denklem (2.10)' dan yararlanarak çekirdek sayımız bulundu.

$$N = m \frac{N_A}{A} h = 10^{-3} \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{74,9216} 1 = 8,035 \cdot 10^{18} \text{ çekirdek}$$

Daha sonra denklem (2.16)' dan kütle ifadesi çekildi.

$$P(E) = N \sigma \Phi Z f_v \Omega \varepsilon(E_v)$$

$$K = m \Omega \varepsilon(E) = \frac{P(E) A d}{Z N_A h \sigma \Phi f_v}$$

Burada P(E) pik altında kalan alan, A atom ağırlığı, Z ise zaman faktörü, N_A Avagadro sayısı, h doğal bolluk, σ tesir kesiti, Φ akı, f_v gama-ışını seviye bolluğu ve d ölü zamandır. Zaman faktörünün içerisinde ışınlama, bekleme ve sayım süreleri bulunmaktadır. Denklem (2.15)' te zaman faktörünün formülü verilmiştir.

$$Z = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_b} (1 - e^{-\lambda t_s})$$

1 mg lık Arsenik numunemiz reaktörde 1 saat boyunca ışınladı, 265783 s bekletildi ve 1000s boyunca da sayıldı. Bu parametreler kullanılarak zaman faktörü aşağıdaki gibi hesaplandı;

$$Z = \frac{1}{7,34 \cdot 10^{-6}} (1 - e^{-7,34 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}) e^{-7,34 \cdot 10^{-6} \cdot 265783} (1 - e^{-7,34 \cdot 10^{-6} \cdot 1000})$$

Z=3,698 bulunur.

Arseniğin bütün kütle değerleri için TET altındaki alan, ölü zaman ve bekleme süreleri değişmekle birlikte, diğer tüm parametreler sabittir. Enerjiye bağlı değişen pik altındaki alanlar Theia analiz programı ile hesaplandı. Daha sonra okunan bu alana ölü zaman düzeltilmesi uygulandı. Bekleme süresi ve f_v değerleride işleme katılarak 1mg arsenik örneğinin 559,10 keV de;

K= 4,912E-09 olarak hesaplandı. Bu işlemler bütün kütle örnekleri ve takip edilen enerjiler için aynı şekilde yapılarak Çizelge 3.5' te verildi.

Hata Hesabı

1mg' lık Arsenik örneğinin 559,10 keV enerjideki hata hesabı;

$$(\sigma_{\tau})^2 = \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{1/2}}{T_{1/2}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t_b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t_s}\right)^2 + \left(\frac{Hata}{Net Alan}\right)^2 + (\Phi)^2$$

$$(\sigma_{\tau})^2 = \left(\frac{0,0017}{74,9216}\right)^2 + \left(\frac{0,09}{26,24}\right)^2 + \left(\frac{1}{3600}\right)^2 + \left(\frac{1}{190310}\right)^2 + \left(\frac{1}{1000}\right)^2 + \left(\frac{1877,81}{620318}\right)^2 + (0,03)^2$$

$$\sigma_T = 0,0627$$

$$\sigma_T = \%6,27$$

Çizelge 3. 5 Arsenik için hesaplanan K değerleri

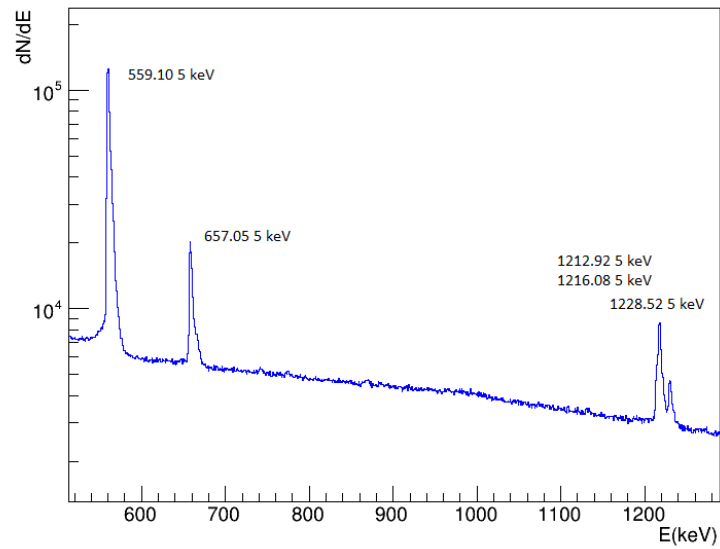
Kütle→ Enerji↓	1mg	0,5mg	50µg	1µg	100ng
559,10(5)	4,91E-09 (%6,27)	2,53E-09 (%3,01)	2,62E-10 (%3,06)	1,41E-12 (%10,62)	8,72E-13 (%13,30)
657,05(5)	3,14E-09 (%3,34)	2,26E-09 (%3,18)	2,38E-10 (%3,63)	5,36E-12 (%14,86)	
1212,92(5) 1216,08(5)	3,14E-09 (%3,29)	1,53E-09 (%3,49)	1,39E-10 (%5,09)	3,21E-12 (%25,81)	
1228,52(5)	3,57E-09 (%5,87)	1,45E-09 (%5,52)	1,49E-10 (%8,77)		

Çizelge 3.5' te verilen dedektör ve geometriye bağlı sonuçlar 0,5mg lık örneğe göre normalize edildiğinde gerek sayım sisteminin etkisi gerekse de reaktör akısına bağlı oluşabilecek belirsizlikler yok edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen kütle oranları Çizelge 3.6' te verilmiştir.

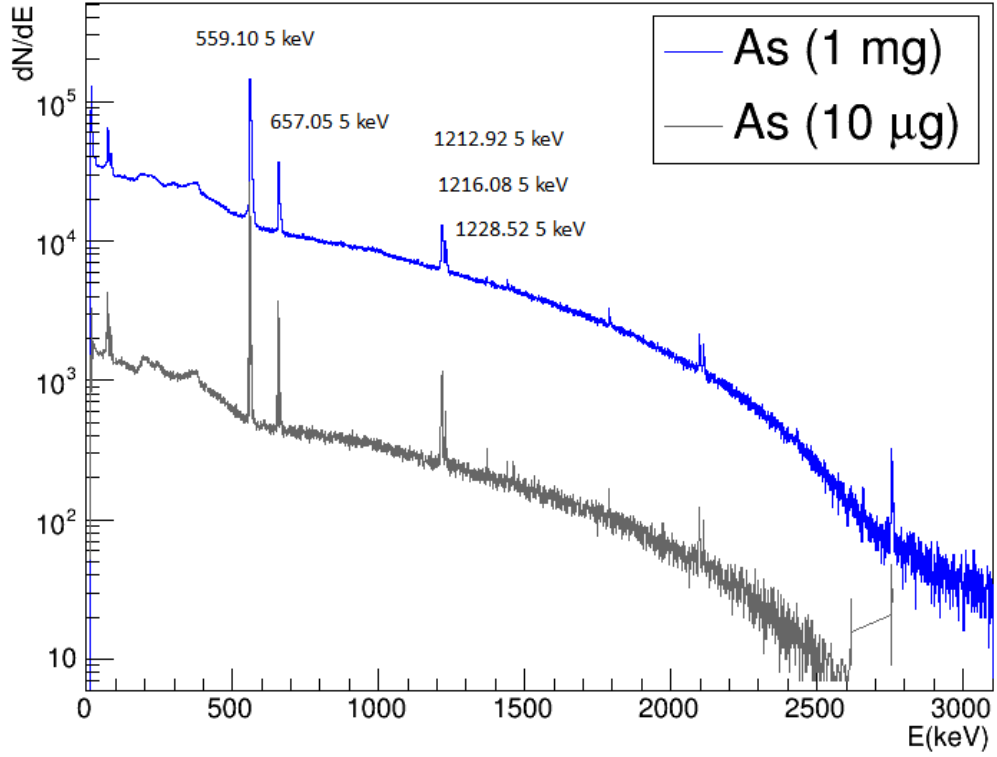
Çizelge 3. 6 As normalizasyon çizelgesi

$m_i/m_r \rightarrow$ Enerji↓	1mg	0,5mg	50μg	1μg	100ng
559,10(5)	0,52	1	9,66	1796,21	2903,74
657,05(5)	0,72	1	9,52	423,25	
1212,92(5) 1216,08(5)	0,48	1	11,02	476,37	
1228,52(5)	0,41	1	9,72		

As (1 mg)



Şekil 3. 5 Arseniğe ait incelenen tüm gama seviyeleri



Şekil 3. 6 Arsenik kütle kıyaslaması

Antimon Hesaplamaları

Antimon içinde yukarıdaki açıklanan teknik kullanılmakla beraber iki farklı izotopu bulunan antimon için bu hesaplamalar her bir çekirdek için ayrı ayrı yapılmış ve doğal bollukları, reaksiyon tesir kesitleri ve yarılanma ömürleri dikkate alınarak düzeltilmiştir. Sb-121 için okunan alan değerleri ve hataları Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3. 7 Sb için okunan alan ve hata değerleri

Enerji→ Kütle↓	564,24 keV	692,65 keV
Sb-54	202481 (715,302)	9402,36 (184,253)
Sb-55	322317 (907,105)	14136,2 (233,555)
Sb-56	146976 (589,502)	6486,43 (153,688)
Sb-57	143361 (586,157)	6220,97 (153,455)
Sb-58	34629,4 (284,607)	1532,65 (79,5185)
Sb-59	8089,89 (141,677)	384,114 (55,3134)
Sb-60	989,098 (63,8093)	
Sb-61	240,156 (27,1521)	
Sb-62	869,862 (59,4869)	

Hesaplamalar sonucunda Sb-121 için bulunan K değerleri Çizelge 3.8' de verilmiştir.

Çizelge 3. 8 Sb-121 için hesaplanan K değerleri

Kütle→ Enerji↓	1mg	0,5mg	50µg	10µg	1µg	100ng
564,24(4)	1,21E-05 (%3,02)	6,87E-06 (%3,01)	3,09E-06 (%3,03)	7,30E-07 (%3,11)	1,70E-07 (%3,47)	2,09E-08 (%7,11)
692,65(4)	1,03E-05 (%3,58)	5,53E-06 (%3,42)	2,51E-06 (%3,82)	5,93E-07 (%5,99)	1,48E-07 (%14,70)	

Sb-121 için Çizelge 3.8’ de verilen dedektör ve geometriye bağlı sonuçlar 0,5mg lık örneğe göre normalize edildiğinde gerek sayım sisteminin etkisi gerekse de reaktör akısına bağlı oluşabilecek belirsizlikler yok edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen kütle oranları Çizelge 3.9’ da verilmiştir.

Çizelge 3. 9 Sb-121 normalizasyon çizelgesi

m_i/m_r → Enerji↓	1mg	0,5mg	50µg	10µg	1µg	100ng
564,24(4)	0,56	1	2,21	9,41	40,24	328,29
692,65(4)	0,54	1	2,20	9,33	37,17	

Aynı işlemler Sb-123 içinde yapılarak okunan alan değerleri Çizelge 3.10’ da, hesaplanan K değerleri Çizelge 3.11’ de ve 0,5mg lık örneğe göre kütle normalizasyonları da Çizelge 3.12’ de verilmiştir.

Çizelge 3. 10 Sb-123 için okunan alan ve hata değerleri

Enerji→ Kütle↓	602,72 keV	645,85 keV	722,78 keV	1690,97 keV	2090,93 keV
Sb-54	84834,8 (469,509)	6035,56 (163,125)	7961,75 (174,952)	19376,6 (216,419)	1864,77 (66,0996)
Sb-55	48138,1 (380,023)	3138,65 (154,603)	3942,31 (160,344)	10569,9 (165,194)	983,751 (49,233)
Sb-56	22259 (249,432)	1428,8 (102,075)	1917,57 (109,086)	4641,74 (105,445)	447,445 (31,6153)
Sb-57	21713,6 (250,768)	1471,05 (104,861)	1858,85 (107,096)	4567,12 (105,044)	435,395 (34,7511)
Sb-58	5164,63 (122,816)	372,388 (56,6351)	462,626 (60,5946)	1151,47 (52,2938)	85,7371 (17,7293)
Sb-59	1209,55 (70,9397)	75,725 (45,2368)	126,83 (45,2203)	251,345 (24,1195)	22,9134 (8,4175)
Sb-60				27,5045 (9,106)	
Sb-61	Yeterli veri toplanamamıştır.				
Sb-62					

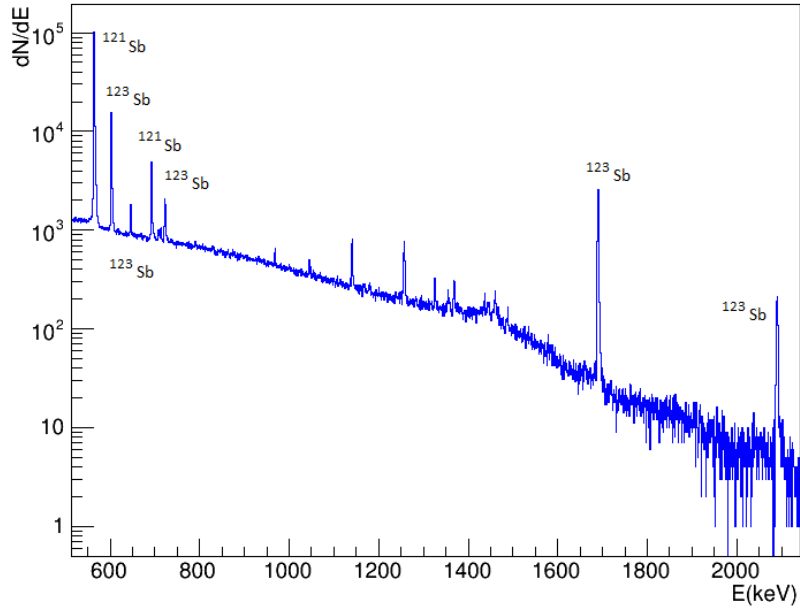
Çizelge 3. 11 Sb-123 hesaplanan K değerleri

Kütle→ Enerji↓	1mg	0,5mg	50µg	10µg	1µg	100ng
602,726(23)	1,080E-05 (%3,05)	5,867E-06 (%3,10)	2,676E-06 (%3,20)	6,160E-07 (%3,82)	1,440E-07 (%6,58)	
645,852(19)	1,013E-05 (%4,04)	5,042E-06 (%5,76)	2,264E-06 (%7,74)	5,854E-07 (%15,50)	1,188E-07 (%32,14)	
722,782(3)	9,215E-06 (%3,72)	4,367E-06 (%5,05)	2,095E-06 (%6,43)	5,015E-07 (%13,43)	1,372E-07 (%35,78)	
1690,971(4)	5,073E-06 (%3,20)	2,648E-06 (%3,38)	1,147E-06 (%3,76)	2,823E-07 (%5,44)	6,152E-08 (%10,05)	6,730E-09 (%33,24)
2090,93(7)	4,23E-06 (%4,64)	2,13E-06 (%5,83)	9,58E-07 (%7,67)	1,82E-07 (%20,89)	4,86E-08 (%36,85)	

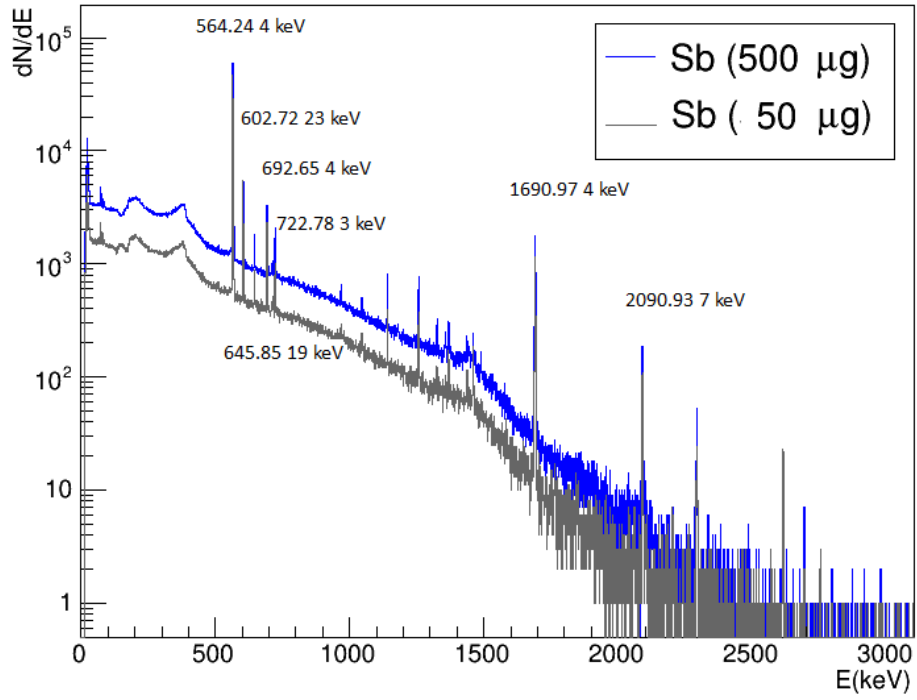
Çizelge 3. 12 Sb-123 normalizasyon çizelgesi

m_i/m_r → Enerji↓	1mg	0,5mg	50µg	10µg	1µg	100ng
602,726(23)	0,543	1	2,192	9,525	40,744	
645,852(19)	0,497	1	2,226	8,613	42,432	
722,782(3)	0,474	1	2,084	8,708	31,822	
1690,971(4)	0,522	1	2,308	9,380	43,052	393,582
2090,93 (7)	0,505	1	2,228	11,725	43,953	

Sb (500 μ g)



Şekil 3. 7 Antimona ait incelenen tüm gama seviyeleri



Şekil 3. 8 Antimon kütle kıyaslaması

Yukarıda iki ağır metal için detaylı şekilde açıklanan süreç proje kapsamında ilgilenilen diğer ağır metaller içinde gerçekleştirilmiştir. Bunlara ait grafik ve tablolar Ek-B' de verilmiştir.

Teze konu olan hava örnekleri aktivite ölçümleri ve bunlarla ilgili genel değerlendirme sonuç ve tartışmalarda sunulacaktır.

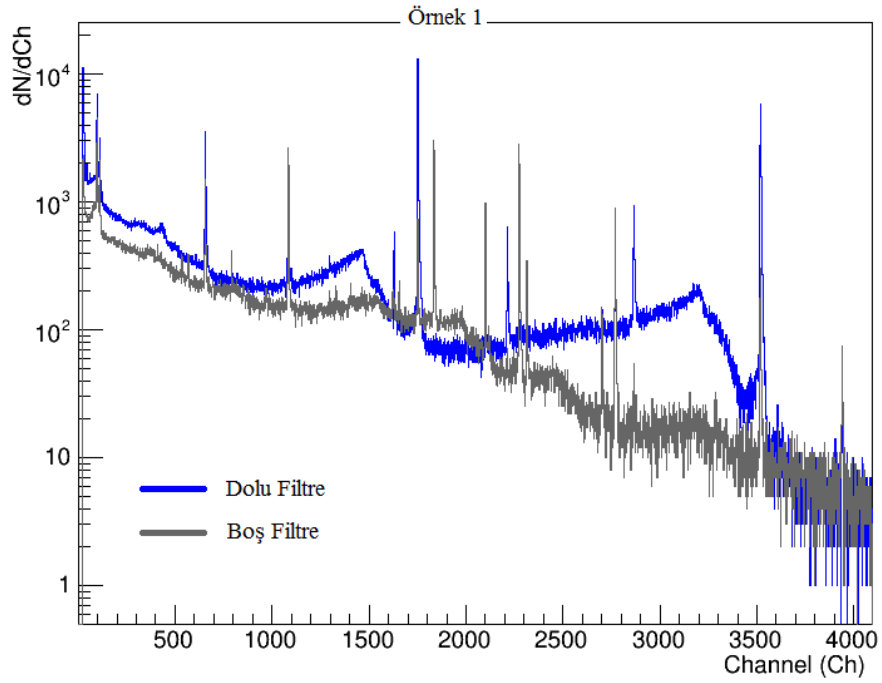
BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

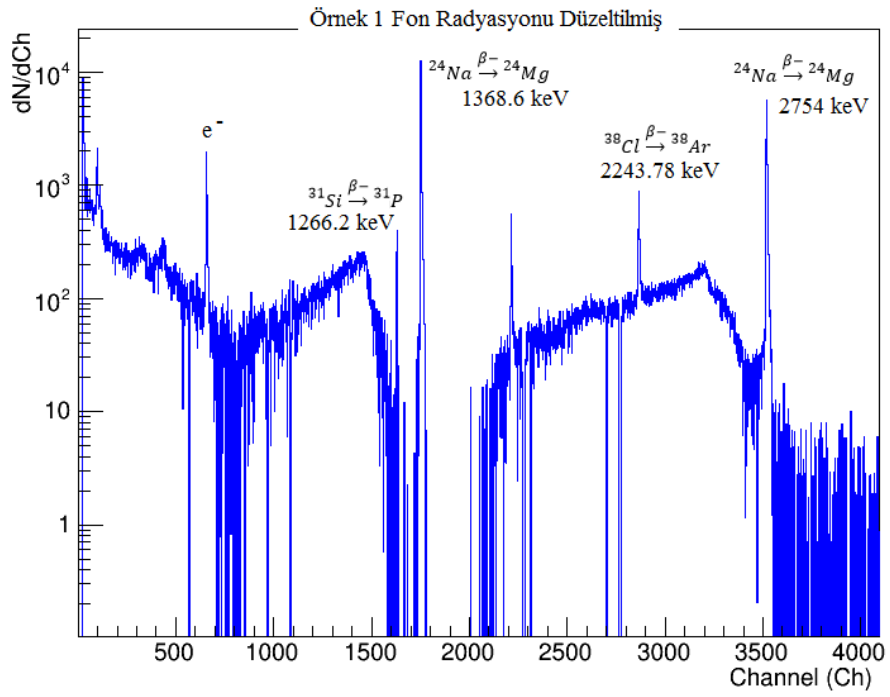
Bu çalışmada Y.T.Ü Davutpaşa yerleşkesinde İnşaat Fakültesinin çatısında kurulu bulunan ve Çevre Mühendisliği bölümü öğretim üyelerince kullanılan hava örnekleri toplama istasyonundan temin edilen örneklerle analizler yapılmıştır. Analizlerde öncelikle selülozik filtreler kullanılmıştır. Boş(kullanılmamış) ve dolu (hava filtre edilmiş) filtreler Bölüm 3' te açıklanan koşullarda ısıtılmış ve sayılmıştır. Mayıs ayında toplanan bu örneklerde m^3 'te $50,2\mu g$ katı madde bulunmaktadır. Şekil 4.1' de 1 numaralı örneğe ait ölçümlerde ölü zaman düzeltmesi yapılarak elde edilen spektrumlar ve Şekil 4.2' de spektrumlar arasındaki fark, yani toplanan hava kirliliği kalıntılarının net spektrumu elde edilmiştir. Aynı işlem 2 numaralı örneğede uygulanmıştır (Şekil 4.3). Şekil 4.2 ve Şekil 4.4' de gösterilen fark spektrumu öncelikle görsel olarak, Bölüm 3' te ve Ek B' de verilen ağır metal spektrumlarıyla karşılaştırıldı. Bu noktada bu metallerden kaynaklı herhangi bir TET' e rastlanmadı. Spektral analiz yapıldığında ise aktivitenin çoğunlukla Na, K, Si, Ca, Cl gibi tozu oluşturan maddelerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Bu tezde izlenen yöntem değerlendirildiğinde TRIGA MARK II reaktörü kullanılarak yapılacak düşük(μg , ng) örnek ağırlıklı ölçümlerin tüm ağır metaller için tek bir ısıtılma yerine her bir ağır metal için tek tek ısıtılarak güvenilir sonuçlara ulaşılabileceği değerlendirilmektedir. AAS standartlarındaki referans çözeltiler kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemleri için saf su ile derişim değiştirmek yerine her bir derişim için ayrı bir referans teminin uygun olduğu görülmüştür. Özellikle ng mertebesindeki sapmalar derişim azaltmanın sistematik olarak işe yaramadığını göstermektedir. Bu

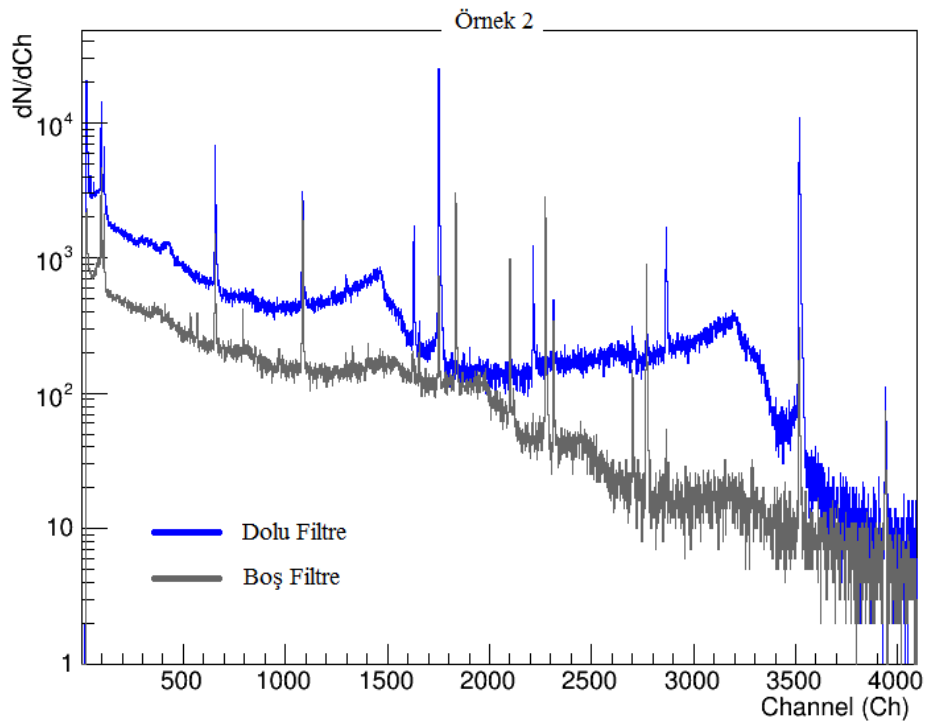
reaksiyonların tesir kesiti ve reaktör akısına bağımlılığı göz önüne alındığında yöntem düşük kütlelerde reaktörü çok yüksek akıda çalıştırarak analizler yapmaya imkan vermektedir.



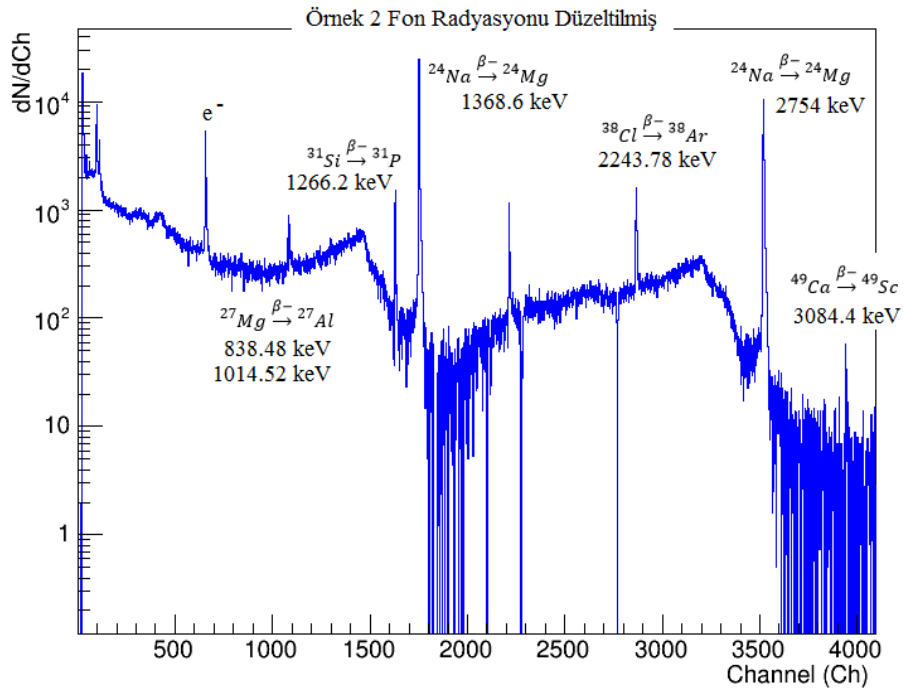
Şekil 4. 1 Davutpaşa yerleşkesi örnek 1



Şekil 4. 2 Fon radyasyonu düzeltilmiş örnek 1



Şekil 4. 3 Davutpaşa yerleşkesi örnek 2



Şekil 4. 4 Fon radyasyonu düzeltilmiş örnek 2

KAYNAKLAR

- [1] Tebbens, B. D., (1971). İstanbul Hava Kalitesi Araştırması, Tüberküloz ve Toraks Dergisi, 19: 54, Ankara.
- [2] İnel, Y.S., (1975). İstanbul Kentinde Hava ile Taşınan Kurşun Kirliliği, B. Ü. Dergisi, 111: 49-65, İstanbul.
- [3] Akçetin, S., (1977). Haliç ve Civarının Hava Kirliliği, Boğaziçi Üniversitesi Haliç Sorunları ve Çözüm Yolları Sempozyumu, İstanbul.
- [4] Atagündüz, G. ve Müezzinoğlu, A., (1979). İzmir Hava Kirliliği, İnsan ve Çevre Semineri, İzmir.
- [5] Kırımhan, S., (1979). Erzurum'da Hava Kirlenmesi, Atatürk Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma Enstitüsü, Erzurum.
- [6] Yay, O. D., Alagha, O. ve Tuncel, G., (2008). "Multivariate Statistics to Investigate Metal Contamination in Surface Soil", Journal of Environmental Management, 86 (4): 581-594, Antalya.
- [7] Schutz L. ve Rahn K. A., (1982). "Trace – Element Concentrations In erodible Soils", Atmospheric Environment, 16 (1): 171-176.
- [8] Barfoot, K. M., (1984). "Multi-Elemental Measurements of Air Particulate Pollution at a site in Mexico City", Atmospheric Environmental, 18 (2): 467-471.
- [9] Sohrabpour, M., Mirzaee, H., Rostami, S. ve Athari M., (1996). "Elemental Concentration of the Suspended Particulate Matter in the air of Tehran", Environmental International, 25 (1): 75-81.
- [10] Rizzio, E., Giaveri, G. ve Arginelli, D., (1999). Trace Elements Total Concentration and Particle Sizes Distribution in the Air Particulate Matter of a Rural-Residential Area in North Italy Investigated by NAA.
- [11] Merešová, J., Sykora, I. ve Holy, K., (2008). "Evaluation of Elemental Content in Air Borne Particulate Matter in Low Level Atmosphere of Bratislava", Atmospheric Environment, 42 (34): 8079-8085.

- [12] Stafilov, T., Sajn, R. ve Boev, B., (2009). "Heavy Metal Contamination of Topsoils Around a Lead and Zinc Smelter in the Republic of Macedonia", Journal of Hazardous Materials, 175: 896-914.
- [13] Takamatsu, T., Watanabe, M. ve Tomoyoshi, M., (2010). "Pollution of Montane Soil with Cu, Zn, As, Sb, Pb and Nitrate in Kanto, Japan", Science of The Total Environment, 408 (8): 1932-1942.
- [14] Knoll, G.F., (2000). Radiation Detection and Measurement, Wiley, Newyork.
- [15] Elmalı, A., (2001). Kısa Yarı ömürlü Çekirdeklerin Yarı ömürlerinin Belirlenmesi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [16] Krane, K.S., (2002). Nükleer Fizik, Ankara.
- [17] Şirin, M., Y.T.Ü., Fizik Bölümü, Çekirdek Fiziği Ders Notları.
- [18] Akçalı, Ö., (2006). Toryum'un Hızlı Nötronlarla Etkileşiminin İncelenmesi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [19] Satchler, G.R., (1983). Introduction to Nuclear Reaction, The Macmillon Press, Oxford.
- [20] Tekin, S., (2008). Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [21] Fisyon Tepkileşimleri, <http://geoinfo.nmt.edu/resources/uranium/basics.html>, 10 Ekim 2014.
- [22] Yılmaz, D., (2003). Bir D-T Nötron Kaynağında Nötron Akısının Belirlenmesi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [23] Bayülken, A., Aybers, N., (1990). Nükleer Reaktör Mühendisliği-1 Ders Kitabı, İstanbul.
- [24] Karadağ, M., (2004). "²⁴¹Am-Be İzotopik Nötron Kaynağı Kullanılarak Nötron Aktivasyon Analizi ile Altın için Dedekte Edilebilir Minimum Miktarın Belirlenmesi", Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı1 115-124.
- [25] Gündüz, T., (2008). Çevre Kimyası, Ankara.
- [26] Yarıiletken dedektörleri, nucleus.istanbul.edu.tr/~nukfiz/ders1detektorler.ppt, 17 Ekim 2014.
- [27] Brun, R., (2009). "A C++ Framework for Petabyte Data Storage, Statistical Analysis and Visualization", Computer Physics Communications, 180 (12): 2499-2512.
- [28] Brun, R., (2006). "The Graphics Editor in ROOT", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 559 (1): 17-21.
- [29] Akçalı, Ö., Durusoy, A. ve Tamkaş, M., (2014). "Isomeric and Ground State Energy Level Measurements of Natural Tellurium Isotopes Via (γ,n) Reaction", Journal of Physics : Conference Series (submitted)

YARI İLETKEN DEDEKTÖRLER

Gerek elektromanyetik ışınlam gerekse alfa, beta gibi yüklü parçacıkların ölçümünde kullanılırlar. Katı hal iyonizasyon odaları olarak düşünülebilirler. Gelen radyasyon kristal ile etkileşerek enerjisini kaybeder. Bu etkileşmeler sonucunda Kristal atomlarından kopartılan yüksek enerjili elektronlar diğer elektronlarla etkileşerek elektron-boşluk yani iyon çiftleri meydana getirirler ve yaklaşık 10^{-12} s gibi çok kısa bir sürede olay kararlı hale gelir. Biriken yük dışarıdan uygulanan elektrik alan ile kristal boyunca sürüklenir ve bir voltaj (elektrik) sinyali elde edilir.

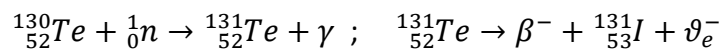
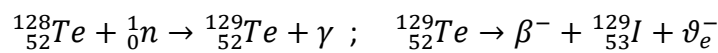
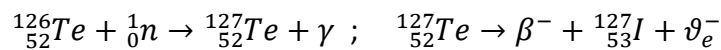
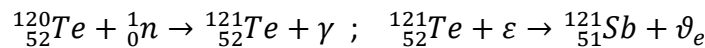
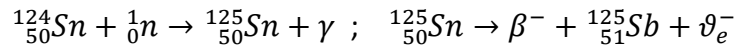
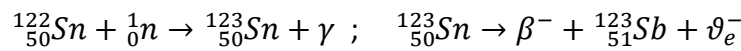
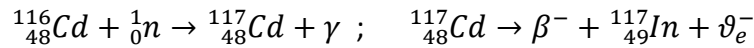
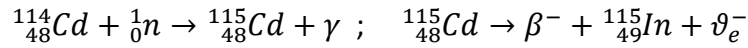
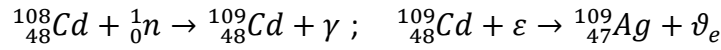
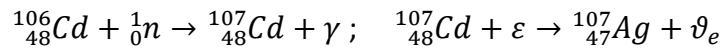
Kristal içinde meydana gelen ve temas yüzeylerinde toplanan yük miktarı, radyasyon cinsinden bağımsız olarak yalnızca soğurulan enerji ile orantılıdır. Si ve Ge kristalleri yarı iletkenler ve iletim bantları boştur. Bantlar arası enerji farkı 1 eV' dan küçüktür. Oda sıcaklığında bile uyarılabilirler. Ayrılan e- yerinde bir boşluk oluşur, bu boşluk pozitif iyon olarak tanımlanır. Başka bir komşu e- bu boşluğa düşer. Bu durum böylece devam eder. Sanki pozitif boşluk (hol) hareket ediyormuş gibi düşünebiliriz.

Hp-Ge (çok saf germanyum) dedektör; safsızlık az, direnç yüksek dolayısıyla çözme gücü çok yüksektir. Diğer bir avantajı da saf germanyum dedektörlerin besleme gerilimi uygulanmadığı zaman oda sıcaklığında tutulabilir olmasıdır. Dezavantajları ise çalışırken sıvı azot sıcaklığında tutma gereği ve düşük verim göstermesidir. Bu tiplerde ortalama verim %7, en iyilerinde %18 olup fiyatları da oldukça yüksektir. Bu dedektörlerin ayırma gücü $3 \text{ keV} < E < 1 \text{ MeV}$ arasında çok yüksektir [26].

AĞIR METAL SPEKTRUMLARI

Arsenik ve antimon dışında proje kapsamında yer alan diğer ağır metallerinde mili, mikro ve nano mertebesinde aktiviteleri hesaplandı ve bu hesaplar Çizelge Ek B.1' de verildi. Aynı zamanda ağır metallere ait tesir kesiti değerleri Çizelge Ek B.2' de verildi. Daha sonra Kadmiyuma ait gama seviyeleri Şekil Ek B. 1' de, aynı şekilde Civa ve Kalay' a ait gama seviyeleri de Şekil Ek B. 2 ve Şekil Ek B. 3' de verildi.

Ağır Metaller ve Reaksiyonları



$${}^{202}_{80}\text{Hg} + {}^1_0n \rightarrow {}^{203}_{80}\text{Hg} + \gamma ; \quad {}^{203}_{80}\text{Hg} \rightarrow \beta^- + {}^{203}_{81}\text{Tl} + \vartheta_e^-$$

$${}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^1_0n \rightarrow {}^{210}_{83}\text{Bi} + \gamma ; \quad {}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow \beta^- + {}^{210}_{84}\text{Po} + \vartheta_e^-$$

$${}^{204}_{82}\text{Pb} + {}^1_0n \rightarrow {}^{205}_{82}\text{Pb} + \gamma ; \quad {}^{205}_{82}\text{Pb} + \varepsilon \rightarrow {}^{205}_{81}\text{Tl} + \vartheta_e$$

$${}^{208}_{82}\text{Pb} + {}^1_0n \rightarrow {}^{209}_{82}\text{Pb} + \gamma ; \quad {}^{209}_{82}\text{Pb} \rightarrow \beta^- + {}^{209}_{83}\text{Bi} + \vartheta_e^-$$

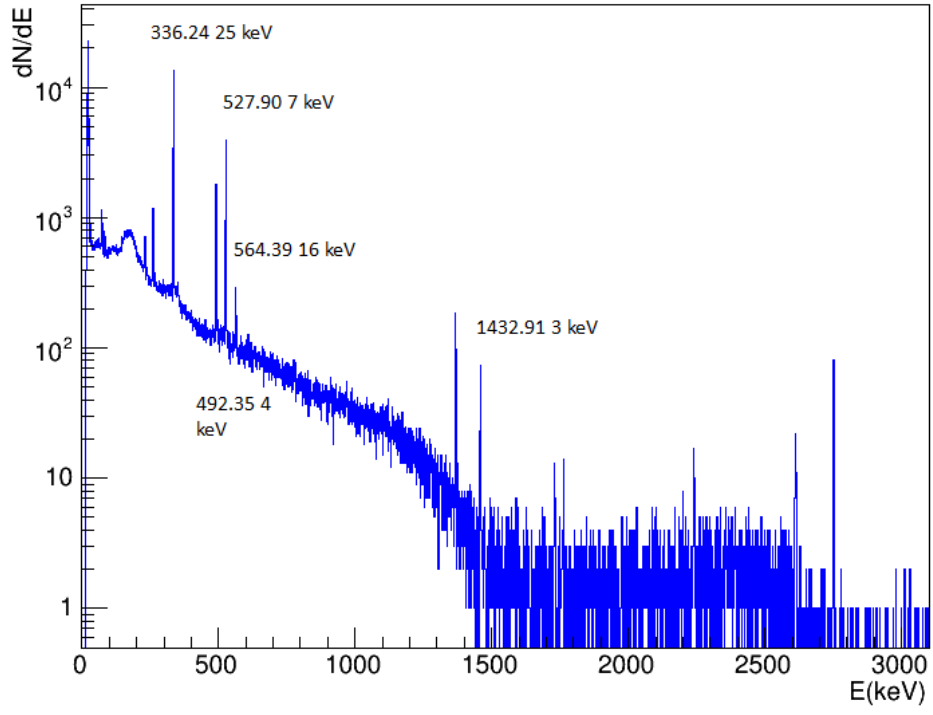
Çizelge Ek B. 1 Ağır metaller ve aktivite değerleri

Nüklid	A	1mg	1µg	1ng
Cd	106	575.2 kBq	575.2 Bq	575.2 mBq
	108	250.0 Bq	250.0 mBq	250.0 µBq
	114	23.14 kBq	23.14 Bq	23.14 mBq
	116	94.43 kBq	94.43 Bq	94.43 mBq
Hg	202	8.168 kBq	8.168 Bq	8.168 mBq
Te	120	19.60 kBq	19.60 Bq	19.60 mBq
	126	355.1 kBq	355.1 Bq	355.1 mBq
	128	452.9 kBq	452.9 Bq	452.9 mBq
	130	1.074 MBq	1.074 kBq	1.074 Bq
Sn	122	153.4 Bq	153.4 mBq	153.4 µBq
	124	1.947 kBq	1.947 Bq	1.947 mBq
Bi	209	559.8 Bq	559.8 mBq	559.8 µBq
Pb	204	10.79 µBq	10.79 nBq	0 Bq
	208	127.6 Bq	127.6 mBq	127.6 µBq

Çizelge Ek B. 2 Ağır metaller ve tesir kesiti değerleri

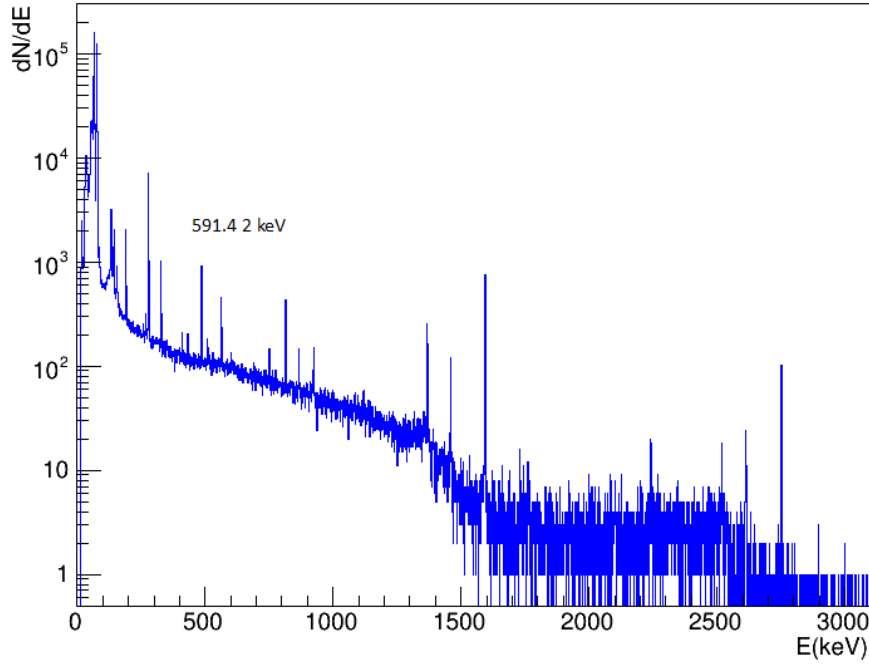
Element	Termal Nötron Tesir Kesiti (barn)	Epitermal Nötron Tesir Kesiti (barn)
Cd-106	1,010	0,157
Cd-108	0,802	0,112
Cd-114	0,338	0,053
Cd-116	0,075	0,012
Hg-202	4,985	0,783
Te-120	2,355	0,372
Te-126	0,445	0,069
Te-128	0,201	0,031
Te-130	0,196	0,030
Sn-122	0,146	0,023
Sn-124	0,135	0,022
Bi-209	0,034	0,005
Pb-204	0,665	0,105
Pb-208	2,334e-4	3,695e-5

Cd



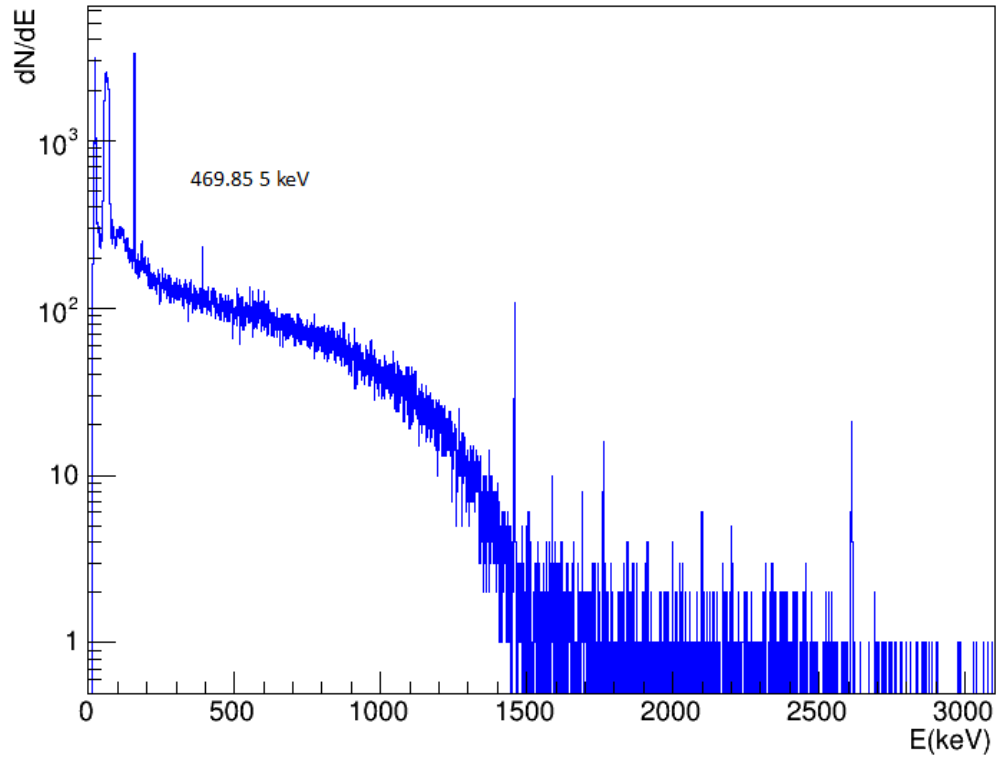
Şekil Ek B. 1 Cd 0-3000 keV arası enerji spektrumları

Hg



Şekil Ek B. 2 Hg 0-3000 keV arası enerji spektrumları

Sn



Şekil Ek B. 3 Sn 0-3000 keV arası spektrumları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Derya SOYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.06.1985/ İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : derya.soya@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fizik	Y.T.Ü	2014
Lisans	Fizik	Dumlupınar Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Atılım Lisesi (YDA)	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	Dersane'm Eğitim Bilimleri	Fen Ve Teknoloji Öğretmeni
2012	Hava Harp Okulu	Svl. Öğretim Elemanı

YAYINLARI

Bildiri

1. Ra-Be Nötron Kaynağının Particle Swarm Optimization Yöntemi İle Termal Nötron Akısını Belirleme, TFD 28.Uluslararası Fizik Kongresi 2011

Proje

- 1.Y.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü, YULAP 2012-01-01-YL02

ÖDÜLLERİ

- 1.İstanbul Üniversitesi Pedagojik Formasyon Eğitimi Yüksek Onur Öğrencisi (2014)