

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**SAMSUN-ARTVİN ARASI FARKLI NOKTALARDAN ALINAN SEDİMENT
ÖRNEKLERİNDE ELEMENT VE RADYOAKTİVİTE ANALİZLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aylin APAYDIN

**OCAK 2015
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**SAMSUN-ARTVİN ARASI FARKLI NOKTALARDAN ALINAN SEDİMENT
ÖRNEKLERİNDE ELEMENT VE RADYOAKTİVİTE ANALİZLERİ**

Aylin APAYDIN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“YÜKSEK LİSANS (FİZİK)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :26.12.2014

Tezin Savunma Tarih :27.01.2015

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU

Trabzon 2015

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalında
Aylin APAYDIN Tarafından Hazırlanan

SAMSUN-ARTVİN ARASI FARKLI NOKTALARDAN ALINAN SEDİMENT
ÖRNEKLERİNDE ELEMENT VE RADYOAKTİVİTE ANALİZLERİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 06/01/2015 ve 1584 sayılı kararıyla
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU
Üye : Doç. Dr. Erhan CENGİZ
Üye : Doç. Dr. Hasan BALTAŞ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu akademik çalışmanın ortaya çıkmasında değerli görüş ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU'na en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın örnekleme aşamasında her türlü yardımı sağlayan Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve Biyolog Bayram ZENGİN'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında gerekli yardımı ve ilgiyi esirgemeyen hocalarım Sayın Doç. Dr. Hasan BALTAŞ'a, Doç. Dr. Erhan CENGİZ'e, Arş. Gör. Oğuz Kağan KÖKSAL'a Arş. Gör. Erkan KIRIŞ'a, Arş. Gör. Muhammet DOĞAN'a, Uzm. Murat ŞİRİN'e ve Fizikçi Mustafa YAYLI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca desteğini hiç esirgemeyen eşim Doç. Dr. Gökhan APAYDIN'a en içten teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Aylin APAYDIN
Trabzon 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Samsun-Artvin Arası Farklı Noktalardan Alınan Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/12/2014

Aylin APAYDIN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. X-Işınları	6
1.2.1. X-Işınlarının Oluşumu	7
1.2.1.1. Doğal X-Işınları	8
1.2.1.2. Yapay X-Işınları	8
1.2.1.3. Karakteristik X-Işınları	8
1.2.1.4. Sürekli X-Işınları	9
1.3. X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi	9
1.3.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğrulması	10
1.3.1.1. Fotoelektrik Olay	11
1.3.1.2. Çift Oluşumu	12
1.3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması	13
1.3.2.1. Koherent Saçılma	13
1.3.2.1.1. Rayleigh Saçılması	13
1.3.2.1.2. Delbrück Saçılması	14
1.3.2.1.3. Nükleer Rezonans Saçılması	14
1.3.2.1.4. Nükleer Thomson Saçılması	15
1.3.2.2. İnkohherent Saçılma	15
1.3.2.2.1. Compton Saçılması	15
1.3.2.2.2. Raman Saçılması	16
1.3.2.2.3. Nükleer Saçılma	17

1.4.	Radioaktivite.....	17
1.4.1.	Doğal Radioaktivite.....	18
1.4.2.	Yapay Radioaktivite.....	19
1.5.	Radyasyon.....	20
1.6.	Radioaktif Bozunma Çeşitleri.....	22
1.6.1.	Alfa Işınması.....	22
1.6.2.	Beta Işınması.....	22
1.6.3.	Gama Işınması.....	23
1.6.4.	Elektron Yakalaması.....	24
1.6.5.	Pozitron Bozunması.....	24
1.6.6.	Nötron Fırlatılması.....	25
1.7.	Doğal Radioaktif Seriler.....	25
1.8.	İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar.....	26
1.9.	Aktivite ve Radyasyon Birimleri.....	27
1.9.1.	Aktivite Birimleri.....	27
1.9.2.	Işınlama Birimi.....	27
1.9.3.	Soğurulmuş Doz.....	27
1.9.4.	Eşdeğer Doz.....	28
1.10.	Yarıiletken Dedektörler.....	28
1.11.	XRF Sistemi.....	29
1.12.	XRF Uygulama Alanları.....	31
1.12.1.	Biyolojik Bilimlerde.....	31
1.12.2.	Kriminoloji.....	31
1.12.3.	Malzeme Bilimlerinde.....	31
1.12.4.	Kirlilik Analizlerinde.....	32
1.12.5.	Arkeolojik Numunelerde.....	32
1.12.6.	Numunelerin Kimyasal Analizinde.....	33
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1.	ED-XRF Spektrometresi Ölçümleri.....	34
2.2.	Gama Spektrometresi Ölçümleri.....	36
2.3.	Numunelerin Toplanması.....	38
2.4.	Numunelerin Hazırlanması.....	41
2.5.	Element ve Radioaktivite Analizleri.....	41
2.6.	Aktivite Hesabı.....	45

2.7.	Sediment Örneklerinin Jeo Birikim İndeksinin Belirlenmesi	45
2.8.	Sediment Örneklerinin Zenginleştirme Faktörünün Belirlenmesi.....	46
2.9.	İstatistiksel Analiz	47
3.	BULGULAR	48
3.1.	Element Analizleri.....	48
3.2.	Radyoaktivite Analizleri.....	55
3.3.	Jeo-birikim ve Zenginleştirme Faktörü	57
4.	SONUÇLAR	59
5.	ÖNERİLER	60
6.	KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Samsun-Artvin Arası Farklı Noktalardan Alınan Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri

Aylin APAYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU

2015, 66 Sayfa

Yapılan bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nde denizden 16 farklı noktadan alınan sediment örnekleri için ağır metal ve radyoaktivite analizleri yapılmıştır. Analizler Epsilon5, PANalytical EDXRF cihazı ve Ortec, HPGe yarıiletken Gama dedektörü ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analiz çalışmaları sonucunda sediment numunelerinden % miktarda Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti ve Fe ile ppm miktarda V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb elementleri tespit edilmiştir. Element konsantrasyon değerleri yardımıyla zenginleştirme faktörü ve jeobirikim indeksi hesaplanmıştır. Yinebu değerler arasındaki Pearson Correlation ilişkileri SPSS programı ile yapılmıştır. Ayrıca radyoaktivite analizleri sonucunda numunelerden yayımlanan ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K radyoaktif izotoplarına rastlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sediment, EDXRF, Gama Spektroskopisi, korelasyon.

Master Thesis

SUMMARY

Element and Radioactivity Analysis of the sediment sample taken from different region in Samsun -Artvin area

Aylin APAYDIN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU
2015, 66 Pages

In this study, sea sediment samples taken from 16 different locations in the Eastern Black Sea Region were investigated for heavy metals and radioactivity analysis. This analysis has been performed using EDXRF (Epsilon5, PANalytical) system and a HPGe semiconductor detector (Ortec).

As a result of the analysis, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti ve Fe (% by weight) and V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb (ppm by weight) elements were founded. The Enrichment Factors (EF) and Geo-Accumulated index (I_{geo}) values were calculated from the element concentration results. Besides, the Pearson Correlation relations with SPSS have been calculated from the concentration values. The results of radioactivity analysis, ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs and ^{40}K radioactive isotopes released from the samples were also found.

Key Words: Sediment, EDXRF, Gamma Spectroscopy, correlation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. X-ışını flüoresans olayı	7
Şekil 1.2. Elektromanyetik radyasyonun azalması	9
Şekil 1.3. Fotoelektrik, Compton ve Çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler	10
Şekil 1.4. Fotoelektrik olay	11
Şekil 1.5. Çift oluşumu	13
Şekil 1.6. Rayleigh saçılması	14
Şekil 1.7. Compton saçılması	16
Şekil 1.8. Radyasyon kaynakları	18
Şekil 1.9. Alfa bozunumu	22
Şekil 1.10. Beta bozunumu	23
Şekil 1.11. Gama bozunumu	24
Şekil 1.12. Elektron yakalama	25
Şekil 1.13. Pozitron bozunması şeması	26
Şekil 1.14. ED-XRF ve WD-XRF spektrometrelerinin temel tasarımları	32
Şekil 2.1. ED-XRF sistemi taslağı	34
Şekil 2.2. Epsilon5, PANalytical sisteminin genel görünümü	35
Şekil 2.3. Epsilon5, PANalytical cihazının numune haznesi	35
Şekil 2.4. Ortec marka HPGe Gama Spektrometresi	37
Şekil 2.5. (a),(b),(c) ve (d) Örneklerin toplandığı noktaların haritada gösterimi	40
Şekil 2.6. Enerji-verim eğrisi	44
Şekil 3.1. Sediment numunesine ait x-ışını spektrum örneği	48
Şekil 3.2. İstasyonlara göre Al-Si konsantrasyon karşılaştırma	51
Şekil 3.3. İstasyonlara göre Mg-S-Cl-K-Ca-Ti-Fe konsantrasyon karşılaştırma	51
Şekil 3.4. Sediment numunesine ait gama spektrum örneği	55

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Doğada bilinen dört radyoaktif seri.....	19
Tablo 1.2. Yapay radyoaktif çekirdekler	21
Tablo 1.3. Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri	29
Tablo 2.1. İkincil kaynaklar ve özellikleri	36
Tablo 2.2. Numunelerin alındığı koordinat, derinlik ve kıyıya uzaklıkları.....	38
Tablo 2.3. ¹⁵² Eu standart kaynağın özellikleri.....	42
Tablo 2.4. Dedektöre ait verim değerleri.....	43
Tablo 2.5. Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları.....	45
Tablo 2.6. <i>I_{geo}</i> sınıflandırma	46
Tablo 2.7. Zenginleştirme Faktörü (<i>EF</i>)	47
Tablo 3.1. Sediment numunelerinin element konsantrasyonları (%)	49
Tablo 3.2. Sediment numunelerinin element konsantrasyonları (ppm).....	50
Tablo 3.3. Sedimentlerin element konsantrasyonları için korelasyon ilişkisi (Mg-Ni arası)	52
Tablo 3.4. Sedimentlerin element konsantrasyonları için korelasyon ilişkisi (Cu-Pb arası)	54
Tablo 3.5. Toprak örneklerindeki ²³² Th, ²²⁶ Ra, ¹³⁷ Cs ve ⁴⁰ K aktiflik).....	56
Tablo 3.6. Sedimentlerdeki Jeobirikim indeksi (<i>I_{geo}</i>)	57
Tablo 3.7. Sedimentlerdeki bazı metaller için zenginleştirme faktörü (<i>EF</i>)	58

SEMBOLLER DİZİNİ

AAS	: Atomik Absorbsiyon spektrometresi
ADC	: Analog dijital dönüştürücü
E	: Gelen fotonun enerjisi
E_b	: K tabakasının bağlanma enerjisi
E_c	: K tabakasından sökülen elektronun enerjisi
E_γ	: Gelen fotonun enerjisi
E'	: Çıkan fotonun enerjisi
EDXRF	: Enerji ayrımlı X-ışını floresans
FTP	: Temel parametre yöntemi
FWHM	: Bir pulsun yarı maksimumdaki tam genişliği
HPGe	: Yüksek saflıklı germanyum
I	: Geçen ışının şiddeti
I_0	: Gelen ışının şiddeti
ICP-MS	: İndüktif eşleşmiş plazma- kütle spektrometresi
ICP- OES	: İndüktif eşleşmiş plazma- optik emisyon spektrometresi
WDXRF	: Dalgaboyu ayrımlı X-ışını floresans
$\varepsilon(E)$: E enerjili bir foton için dedektör verim

1. GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Su ortamına giren ya da bu ortamlarda bulunan ağır metaller hem doğal hem de yapay orjinlidirler. İnsan sağlığına zarar verebilen inorganik maddelerden sayılan ağır metaller çeşitli süreç ve çevrimler sonucu su dibine çökmekte ve sedimente bağlanmaktadır. Sedimentte biriken ağır metallerin konsantrasyonu dipte bulunan sediment parçacıklarının oranına, parçacıkların boyutuna ve sedimentte organik maddelerin bulunup bulunmamasına göre değişiklik gösterir. Sediment, ağır metaller için önemli bir birikim yeridir. Bu nedenle sucul ortamların metal kirliliğinin belirlenmesinde kullanılır (Salomans vd., 1987).

Kirletilmiş sedimentler birkaç sebepten dolayı önemli bir çevresel ilgi temsil ederler. İlk olarak kirletilmiş sedimentler, sedimentlerde yaşayan organizmalar ve balıklar için toksik özellik gösterebilir. Böylece kirletilmiş sedimentlere maruz kalma bentik omurgasızlarda ve balıklarda hayatta kalmada azalma, kısıtlı büyüme veya bozulmuş üreme ile sonuçlanabilir. Daha büyük hayvanlar bu kirlenmiş av türleri ile beslendiği zaman kirleticiler onların vücutlarına ve oradan da yiyecek zincirindeki diğer hayvanlara geçer. Toksik ve biyoakümülatif maddelerin etkisi sonucu olarak bentik organizmalar, balıklar, kuşlar ve memeliler kirlenmiş sedimentler tarafından olumsuz olarak etkilenebilir. Ayrıca kirletilmiş sedimentler sucul sistemlerin insan kullanımını ve insan sağlığını da olumsuz olarak etkileyebilir. İnsan sağlığı, etkilenmiş su kaynaklarında yüzme veya dalma sırasında kirletilmiş sedimentlere direk maruz kalmadan dolayı veya kirletilmiş balık veya kabuklu ürünlerin tüketilmesinden dolayı bir risk altında olabilir. Ayrıca kirletilmiş sedimentlerin varlığı yiyecek veya balık türlerindeki bolluğu azaltmasından dolayı sucul sistemlerin insan tarafından kullanılmasını azaltabilir (URL-1).

Sedimentlerde makro, mikro ve iz elementlerin tayininde, analitik laboratuvarlarında pek çok modern tek veya çoklu element analiz teknikleri kullanılır. Ayrıca sediment örneklerinde çeşitli nükleer dedektörler kullanılarak geçmişten gelen (Ra-226, Pb-210, C-14 vb.) ve insan kaynaklı (antropojenik) (Cs-137, Pu-239, Sr-90) radyonükleitlerinin radyokimyasal dağılımları gözlenebilir. Laboratuvarlarda tahribatsız analitik metotlardan nötron aktivasyon analizleri (INAA), parçacık etkili x-ışını emisyon (PIXE), x-ışını floresans analizleri (XRF) metotları ön plana çıkmaktadır. Bunların yanı sıra nükleer

reaksiyon analizleri (NRA), Rutherford saçılma spektroskopisi (RBS) ve Gama spektroskopisi de numune tahribatı içermeyen analizler arasında yer almaktadır. Yine günümüzde yaygın olarak kullanılan ICP-OES, ICP-MS ile tek element tayini amaçlı AAS metodları aktif olarak kullanılmakta yalnız ölçüm hazırlığı esnasında numune kaybı ile karşılaşılabilir.

Karakteristik x-ışınları elementlerin parmak izi gibidirler. Temeli x-ışınlarına dayanan XRF tekniği, enerjili fotonların numune üzerine düşürülmesi ve numuneden üretilen karakteristik x-ışınlarının, element konsantrasyonunu belirlemek için ölçülmesi esasına dayanır. Multi- element analiz imkanı olan bu teknik için hassasiyet ~100 µg civarındadır. Numune miktarı birkaç miligramdan 1 grama kadar analiz edilebilmektedir. XRF cihazları ya dalga ayırmalı (WDXRF) yada enerji ayırmalı (EDXRF) olarak sınıflandırılmaktadır. Enerji ve dalga boyu ayırmalı x-ışını floresans analiz tekniği, yüksek hassasiyet, ucuz maliyet, otomasyonda kolaylık tahribatsız ve kısa sürede analiz gibi birçok bakımdan diğer yöntemlerden avantajlı olduğundan bilim ve teknoloji de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bugün XRF tekniği, atom ve molekül fiziği araştırmaları, çekirdek fiziği araştırmaları, çevre kirliliği, tıp, madencilik, eczacılık, astronomi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu teknik kullanılarak biyolojik, jeolojik ve kimyasal çeşitli materyallerdeki ağır metal konsantrasyonu ölçülebilir. Bu yöntemin belirleyici olarak kullanıldığı su (Stewart ve ark., 1982), kırmızı çamur (Koby vd., 1996), sediment (Akyüz vd., 2001; Çevik vd., 1995), çeşitli madenler (Obiajunwa, 2001; Karabulut vd., 2002), çeşitli bitkiler (Çevik vd., 2003; Aslan vd., 2004; Tıraşoğlu vd., 2005,2006), liken ve karayosun örnekleri (Aslan vd., 2010; Özdemir vd., 2013), balık örnekleri (Verp vd., 2007; Apaydın vd., 2010), anne sütü ve inek sütü (Ekinci vd., 2005; Söğüt vd., 2013), resim çalışmaları (Ferrore vd., 2002) gibi çok farklı alanlarda yapılan çalışmalara örnek gösterilebilir.

Denizel kirliliğinin araştırılmasında, bu ortamda yaşayan organizmalar ve sediment örnekleri üzerinde pek çok çalışma sedimentteki kirliliğin takibi ile ilgilidir. Bu alanda özellikle ülkemizde yapılan çalışmaların özeti kısaca şöyledir; Balkıs vd. (2007), Karadeniz de Sakarya, Yeşilirmak ve Kızılırmak nehirleri için sediment örneklerindeki ağır metal seviyelerini belirlemişlerdir. Co, Cr, Zn, Fe ve Mn'nin en yüksek konsantrasyonlarını Sakarya ve Yeşilirmak nehir ağzının dışında bulmuşlardır. Kızılırmak dışındaki bölgelerde

bütün metallerin daha düşük konsantrasyonunu tespit etmişlerdir. Sakarya nehrinin doğu kıyısal bölgesinde bulunan kompleks çelik vedemir endüstrisi ve Yeşilirmak nehrine yakın yerde konumlanmış bakır eritme fabrikası, gübre fabrikasının kirlilik kaynağı olduğuna dikkat çekmişlerdir.

43 tane olan sediment örnekleri, 1978 de Karadenizin güney kısmının kıtasal eğime sahip 20 istasyonundan, yerin 70 ile 150 cm derinliklerinden toplanmıştır. Örnekler fundamental parametre yöntemi (FTP) kullanılarak radyoizotop kaynakla uyarılıp enerji ayırımı X- ışını floresans spektrometresinde (EDXRF) analiz edildi. İncelenen sediment örnekleri metal yönünden zengin olarak bilinen çekirdek numunelerinin organik zengin-çamur bileşenleri vardır. Metal konsantrasyonu aşağıdaki gibi değişmektedir: Ca (3.1–12.9%), Ti (1000–2000 µg/g), V (40–150 µg/g), Cr (30–200 µg/g), Mn (200–1500 µg/g), Ni (25–100 µg/g), Cu (20–70 µg/g), Zn (20–50 µg/g), Br (15–670 µg/g), Rb (5–90 µg/g), Sr (80–700 µg/g), Y (10–20 µg/g), Mo (10–111 µg/g), Zr (20–190 µg/g), Cd (<1–5 µg/g), Sb (<1–5 µg/g), I (10–430 µg/g), Ba (100–1650 µg/g), La (5–18 µg/g), Ce (12–38 µg/g) ve Nd (6–17 µg/g). 1978 de Türkiye Maden Arama ve Geliştirme (MTA) tarafından sistemli bir şekilde toplanan çekirdek sedimentleri Türkiyenin kuzeyi Karadenizden alınan mevcut bir eski sediment örnekleri olduğu bildirilmiştir (Akyüz vd., 2001).

1998 de Karadenizin kuzey kesimlerinde belirlenen 10 istasyondan toplanan bazı yüzey sediment örnekleri radyoizotop enerji ayırımı X ışını floresans (EDXRF) ve enstrümental nötron aktivasyon analiz (INAA) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Sediment numunelerinde ki U, Th, Sc ve bazı nadir toprak elementleri (REEs) ve önemli ağır metal konsantrasyonları aşağıdaki gibidir: U (1.5-5.7 mg/kg), Th (1.9-11mg7kg), Sc (1.7-13 mg7kg), La (7.8-8.3 mg7kg), Ce (12-68 mg/kg), Nd (9-20 mg/kg), Sm (1.5-5.3 mg/kg), Tb (0.18-0.82 mg/kg) Lu (0.06-0.44 mg/kg), Cd (0.10-0.26 mg/kg), Sb (0.036-2.30 mg/kg), Hg (0.02-0.08 mg/kg) ve Pb (0.02-0.08 mg/kg). İncelenen sonuçlar, sediment örneklerinde bazı element konsantrasyonları arasındaki korelasyonu varlığını göstermektedir. Üstelik sonuçlar diğer su altı sedimentleri ile karşılaştırılmıştır (Akyüz vd., 2003).

Somogyi vd. (1998) Macaristan'daki torf bataklıklarından toplanan sediment numunelerindeki elementleri araştırmak için radyoizotop uyarmalı ED-XRF ve ICP-AES kullanıldı. Göl ve bataklık sedimentleri allogenic (aynı türün genetik bakımından farklı

bireyleri) ile authigenic (yerinde oluşan minerallerin) karışımıdır. Authigenic kısım ıslak yakma yolu ile ortadan kaldırıldıktan sonra çözünmeyen asit tortusundaki element konsantrasyonları XRF ile authigenic kısım da ICP-AES ile belirlenmiştir. Kimyasal bileşim temelli sediment silsilesi, sediment birikimi esnasında farklı çevre rejimlerini yansıtan üç alana ayrıldı. Elementlerin allojenic authigenic türleri önceki postglacial (buz devrini takip eden) zamanlarda Kuzeydoğu Macaristan'da değişen toprak ve bitki örtüsü çevresel süreçlerindeki ile ilgili bilgileri sağlar. Birinci alanda allojenic kısımda Fe, Mn, Zn ve Pb bulunmuştur. Fe, Mn ve Zn authigenic kısımda minimum olarak belirlenmiştir. İkinci alanda allojenic kısımda Cu, Sr, Rb, Y, Zr, Nb ve Mo bulunurken authigenic kısımda Sr ve Rb maksimumdur. Üçüncü alanda authigenic kısımda Fe, Mn ve Zn baskınken allojenic kısımdaki çoğu element minimum olarak belirlenmiştir.

Baranowski vd. (2001) yaptığı çalışmada dip tortularının tür analizinin sonuçlarını irdeler. Çalışmalarında beş adımlı çıkarma işlemi uygulanmıştır. Çıkarılanların ve tortuların direkt analizi dalga boyu dağılımlı X-ışını flüoresans spektrometresi ile gerçekleştirildi. CRM' nin referans verileri ile karşılaştırıldı.

Suez körfezi boyunca 18 tane istasyondan alınan yüzey sedimentlerine dayanarak körfezdeki metallerin birikiminden dolayı deniz kirliliği artmıştır. Numuneler kurutulmuş ve asit ile dağıtılmıştır. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, ve Zn metal bileşenleri döteryum background düzeltmesini içeren atomik soğurma spektroskopisi ile belirlendi. Körfezin ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi zenginleştirme faktörleri ve jeobirikim indeksine dayanarak yapıldı. Üstelik sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonu Effect Range-Low (ERL) ve Effect Range-Median (ERM) kullanılarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlar Sperman düzeltmesi ve faktörünü işin içine katarak yorumlandı. Kirliliğin ana sebebi yetersiz malzeme kullanımından ve yasal olmayan boşaltımdan kaynaklanan endüstriyel çöpler ve yağ atıklarından kaynaklandığı bildirilmiştir (Khaled vd., 2006).

Topçuoğlu vd. (2003), Doğu Karadeniz'in Türkiye kıyısı boyunca Pazar ve Rize olmak üzere iki istasyondantopladıkları makro yosun, midye, balık ve sediment örneklerinde radyoaktif çekirdekler (radyonüklidler) (^{137}Cs , ^{238}U , ^{232}Th ve ^{40}K) ve ağır metal konsantrasyonlarını (Cd, Pb, Cu, Zn ve Mn) belirlemişlerdir. Ölçülen radyonüklid konsantrasyonları Karadeniz kıyısı boyunca yapılan çalışmalarla aynı seviyede bulunmuştur. Ağır metal seviyelerini genellikle Rize ilinde daha fazla tespit edilmiş ve

aynı tane boyutundaki Rize ve Pazar sedimetleri karşılaştırıldığında, Rize sedimentinde Pb, Cu, Zn ve Mn konsantrasyonları daha fazla bulunmuştur. Ağır metal sonuçlarını önceki çalışmalarla kıyaslandığında yüksek bulunmamıştır. Araştırma süresince Karadeniz bölgesinde sediment ve biyotadaki Pb ve Cu seviyelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Topçuoğlu vd. (2010), 2001-2009 yılları arasında Türkiye çevresindeki denizlerden topladıkları deniz yosunu, midye ve sediment örneklerinde insan kökenli ve doğal kaynaklı radyoaktif çekirdek konsantrasyonlarını araştırmışlardır. ¹³⁷Cs'nin buldukları aktivite konsantrasyonunu önceki sonuçlarla karşılaştırdıklarında, test edilen tüm örneklerde gitgide azaldığını tespit etmişlerdir. Öte yandan bu zaman zarfında doğal radyoaktif çekirdeklerin konsantrasyonunun yavaşça arttığını belirlemişlerdir.

Çevik vd. (2009) tarafından Seyhan Barajından alınan yüzey sedimentlerinde metal kirliliği araştırılmıştır. Analizler için AAS ve ICP-OES methodları kullanılmıştır. Her iki çalışmada da sonuçlardan yola çıkarak, zenginleştirme faktörü, jeobirikim indeksi, metal kirlilik indeksi gibi farklı parametreler elde edilmiş ve istatistik analizler yapılmıştır. Abraham vd. (2008) Yeni Zelanda'nın Tamaki Estuary bölgesinden toplanan sekiz sediment örnekleri AAS ve GFAAS spektrometreleri ile Cu, Pb, Zn ve Cd elementleri için analiz edilmiştir.

Singhal vd. (2012) Hindistan'ın Mumbai limanında yaptığı çalışmada dip sedimentlerinde kronolojik metal birikimini, kirlenme şiddetini EDXRF ve ICP-OES metotları ile belirlemiştir. Ayrıca bir NaI (Tl) gama dedektörü yardımıyla numunelerde ¹³⁷Cs radionükleinin varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Hasan vd. (2013) Banlades'te gemi inşaatı sahasından toplanan sedimet örneklerinde iz element tayini yapılmıştır. Sonuçlardan yola çıkarak zenginleştirme faktörü ve jeobirikim indeksi belirlenmiştir. Sonuçlara göre kirlenme potansiyeli Cd da sınır civarlarında elde edilirken Cr, Zn, As ve Pb elementlerin yüksek oranda kirlenici potansiyel sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışmada Samsun-Artvin arasında 16 farklı istasyondan ve denizden Van Veen Grab örnekleyici yardımıyla alınan sediment örneklerinde element ve radyoaktivite analizleri yapılmıştır. Analizler için bir EDXRF ve Gama spektrometresi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak zenginleştirme faktörü ve jeobirikim indeksi belirlenmiştir. Ayrıca ANOVA istatistik analizleri tüm sonuçlar için yapılmıştır.

1.2.X-Işınları

X-ışınları Alman Fizikçi Wilhem Conrad Röntgen (1845-1923) tarafından, siyah bir kağıtla tamamen kaplı bir boşaltma tüpünün yakınında bulunan bazı baryum-platinocyanide kristallerinin boşalıp ışın yayınladığının tespit etmesiyle 1895'te keşfetmiş ve bu çalışma ona 1901'de Nobel Ödülü kazandırmıştır.

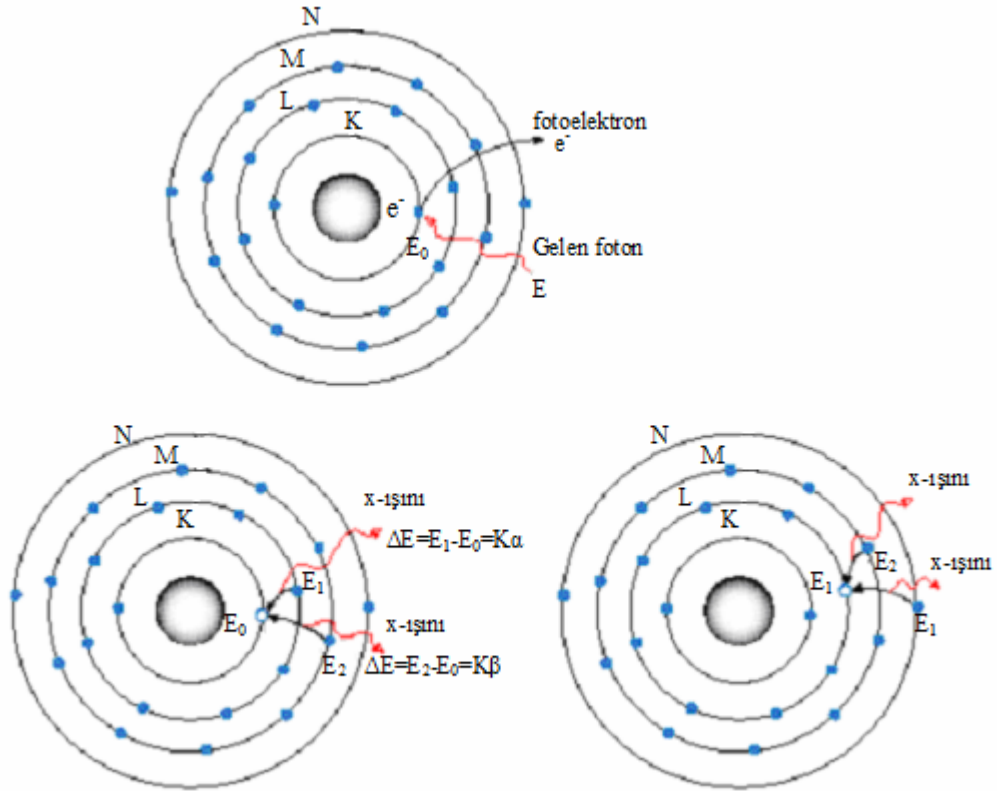
Röntgen ve diğer bilim adamları, ışıkla benzerlik göstermesinden dolayı, bu ışınlarla polarizasyon, yansıma, kırılma ve kırınım deneyleri yapmaya başladı. Ama çalışmalar sonucunda bu özelliklerin hiçbirisinin bir delili bulunamadı. Bu sebeple, bu ışınları x (bilinmeyen) ışınları olarak isimlendirildi. 1897'de Thomson, katot ışınlarının anotta durdurulmasıyla meydana gelen ışınların elektronlar olduğunu söyledi. 1906'da Barkla yaptığı saçılma deneylerinde X-ışınlarının polarize olduğunu gösteren deliller buldu ve bu ışınların dalga olması gerektiğini söyledi. Ancak Bragg'ın iyonizasyon için yapmış olduğu çalışmalar bunların parçacık nitelikli olduğunu da gösterdi. Esas itibariyle X-ışınlarının dalga olduğu görüşü Laue, Friedrich ve Knipping tarafında tespit edildi. Bunlar X-ışınlarının bir bakır-sülfat-pentahidrat kristalinde kırınımına uğradığını gösterdiler. Baba oğul Bragg'lar X-ışınlarının yansıma kanunlarını buldular. 1908'de Barkla ve Sadler saçılma deneyleri ile bir hedef maddesinin karakteristiklerini ihtiva eden X-ışınlarının varlığını tespit ettiler ve bunlara K ve L radyasyonları dediler. Öyle ki bu radyasyonlar, 1913'de Bragg'ın kırınım deneyleri ile gösterdiği keskin tanımlanmış dalga boylarına sahiplerdi. Bu deneyler, sürekli (beyaz) bir spektrum üzerine binmiş bir çizgi spektrumunun varlığını açıkça gösteriyordu. Moseley, çizgilerin dalga boylarının, hedef maddesinin karakteristikleri olduğunu ve atom numarası bakımından aynı zincire sahip olduklarını gösterdi. Böylece ilk defa atom numaralarının anlamı tayin edilmiş oldu. Karakteristik K soğurması ilk olarak De Broglie tarafında gözlemlendi, Bragg ve Siegbahn tarafında açıklandı. X-ışınlarının teorisi Sommerfeld ve arkadaşları tarafından çalışıldı. 1932 başlarında Coster ve diğer araştırmacılar X-ışını floresans spektroskopisinin özelliklerini ayrıntılı bir şekilde araştırdılar (Ekinci, 2000).

X-ışınları bölgesi, kısa dalga boylu gama ışınları ve uzun dalga boylu ultraviyole bölge arasında uzanan ve $0.1 - 100 \text{ \AA}$ 'luk elektromanyetik spektrumun bir parçası olarak düşünülür. Gerçekte X-ışınları ve ultraviyole arasındaki bağı bölge oldukça belirli değildi

ve yıllardır da 50-500 Å'lık orta bölge pratik spektroskopistler tarafından büyük ölçüde dikkate alınmıyordu. Ancak son birkaç yıldır bu dalga uzunluğu mesafesi, hem X-ışınları spektroskopistleri tarafından kısa dalga uzunluğunun sonundan hem de astrofizik ve plazma alanında çalışanlar tarafından uzun dalga uzunluğunun sonundan araştırıldı (Jenkins, 1969).

1.2.1. X-ışınlarının Oluşumu

X-ışınları bir atomun yüksek enerjili elektronlar veya fotonlarla veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0.1-100 Å arasında değişen elektromanyetik dalgalar. X-ışınları doğal, yapay, karakteristik ve sürekli x-ışınları olmak üzere dört başlık altında incelenebilir.



Şekil 1.1. X-ışını flüoresans olayı

1.2.1.1. Doğal X-Işınları

Doğal X-ışınları, atom çekirdeği tarafından K seviyesinden elektron yakalanması, bozunumu, iç dönüşüm ve β^- bozunumu olaylarıyla meydana gelir. Elektron yakalamada, elektron yörüngede dolarken, eğer çekirdeğe çok yaklaşırsa Coulomb yasası gereği çekirdek tarafından yakalanabilir. Bu olay genelde atom numarası yüksek olan atomların, K kabuğundaki elektronların yakalanması şeklindedir. Bu olay sonrası atom, numarası (Z-1) olan yeni elemente dönüşürken, atom ağırlığında hiçbir değişiklik olmaz. Elektron yakalaması olayı, yüklü parçacık yayımlanması olmadığı için, (Z-1) atom numaralı elementin karakteristik X-ışını yayımlanması ile gözlemlenir. β bozunması olayında, çekirdek tarafından yayımlanan β radyasyonu, atom yörüngelerinden bir elektrona çarpar ve yerinden sökerek dışarı fırlatır. Bu olay sonrası X-ışını oluşur. Bu durumda Z elementi (Z+1) elementine dönüşürken, atom ağırlığı değişmez. İç dönüşümde ise, kararsız haldeki çekirdek, enerjisini, doğrudan, yörüngede dolanan elektrona verip, onun atomdan ayrılmasına sebep olur. Böylelikle X-ışınları yayımlanır. Bu olayda atom numarası (Z) ve atom ağırlığı (A) değişmemektedir.

1.2.1.2. Yapay X-Işınları

Maddenin; elektron, proton, α -parçacıkları veya iyonlar gibi hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden ya da X-ışını tüpünden veya bir başka uygun radyoaktif kaynaktan çıkan fotonlarla etkileşmesinden meydana gelir. Maddenin, fotonlarla etkileşmesinden karakteristik (kesikli) X-ışınları, yüklü parçacıklarla etkileşmesinden hem karakteristik hem de sürekli X-ışınları elde edilir.

1.2.1.3. Karakteristik X-Işınları

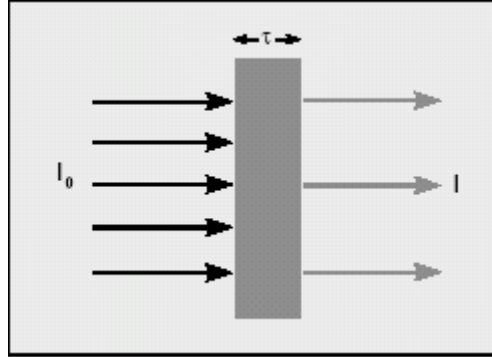
Bir elementin karakteristik spektrumu, atomun iç yörüngelerinden elektronların koparılmasıyla, buralarda oluşan boşluklara üst seviyedeki yörüngelerden boşluğu doldurmak amacıyla elektron geçişleri olduğunda oluşur. Üst yörüngeden alt yörüngeye olan geçişlerin her birinde iki yörünge arasındaki enerji farkı kadar enerjili bir X-ışını fotonu yayınlanır. Bu fotonlara karakteristik X-ışını flüoresans fotonu denir.

1.2.1.4. Sürekli X-Işınları

Yüksek hızlı yüklü parçacıklar bir elektrik alan içinde ivmeli olarak hareket ederlerken ani olarak yavaşlatılmaları veya durdurulmaları sonucu ışımaya yaparlar. Burada ilk ve son hızları arasındaki enerji farkına eşit enerjide X-ışınları yayarlar. Bu ışımaya frenleme ışınması anlamına gelen “Bremsstrahlung” denir. Aynı zamanda bu ışınlar, X-ışını spektrumunda sürekli bölge oluştururlar, dolayısıyla sürekli X-ışınları olarak adlandırılırlar.

1.3.X-Işınlarının Madde ile Etkileşmesi

Monokromatik bir X-ışını demeti, sonsuz kalınlığa sahip olmayan bir maddeyle etkileştiğinde, çıkan ışının şiddetinde bir azalma meydana gelir. Şekil 1.2’de elektromanyetik radyasyonun şiddetinin azalmasının şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik radyasyonun azalması

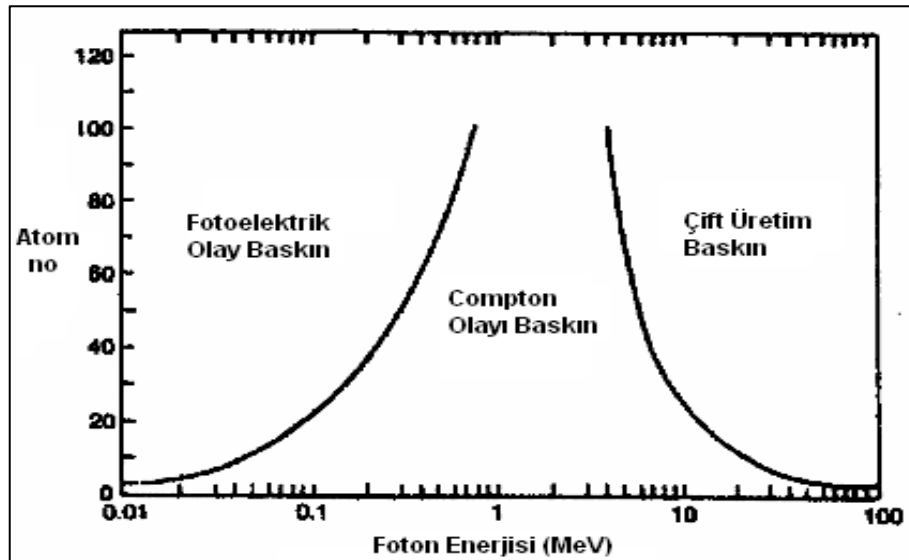
Maddeyi geçen demetin şiddeti, maddeye gelen demetin şiddetine, maddenin kalınlığına ve cinsine bağlı olarak;

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1.1)$$

bağıntısı ile verilmektedir ve bu bağıntı Lambert-Beer kanunu olarak bilinir. Bu kanun bize birim kalınlıktaki maddeyi geçen elektromanyetik radyasyon demetinin şiddetindeki azalmanın soğurucu materyalin kalınlığıyla üstel olarak azalacağını gösterir. Burada, I_0 gelen ışının şiddeti, I geçen ışının şiddeti, μ lineer soğurma katsayısı ve t ise maddenin kalınlığıdır. Maddenin içerisine gelen radyasyon, maddenin atomlarının; bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşir. Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşmesi genel olarak, soğurma ve saçılma olarak iki gurup altında toplanabilir.

1.3.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması

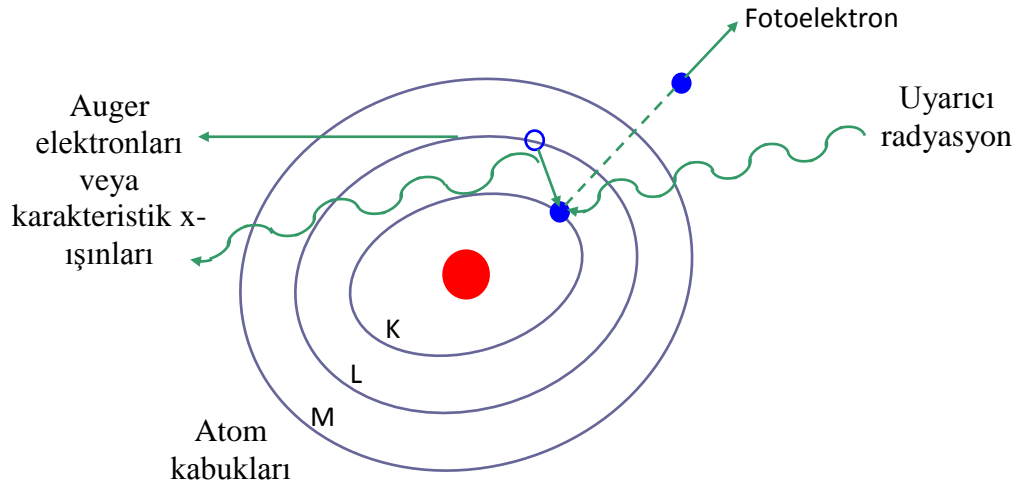
Madde içerisine giren bir foton, madde atomunun bağlı elektronları, serbest elektronları ve çekirdeği ile etkileşirler. Elektromanyetik radyasyonun soğurulması çeşitli olaylar sonucu gözlenmekle beraber bu olayların en baskın olanları fotoelektrik olay, saçılma (Compton ve Koherent) olayı ve çift oluşumdur. Bu olayların meydana gelme ihtimaliyeti foton enerjisi ile değişmektedir. Şekil 1.3.'te görüldüğü gibi, fotoelektrik olay 0,001 MeV ile 0,5 MeV arasında etkin iken, saçılma olayı 0,1 MeV ve 0,5 MeV arasında daha etkin davranır. Çift oluşum olayı ise 1,02 MeV'den başlar ve artan foton enerjisi ile artar.



Şekil 1.3.Fotoelektrik, Compton ve Çift oluşumu olaylarının baskın olduğu bölgeler

1.3.1.1.Fotoelektrik Olay

Madde üzerine düşen fotonun madde atomunun bağlı elektronlarından bir tanesine tüm enerjisini verip bu elektronun yörüngesinden ayrılp serbest hale gelmesi olayına fotoelektrik olay, serbest hale gelen elektrona da fotoelektron denilmektedir. Serbest bir elektron foton soğuramaz ve fotoelektron haline gelemez. Çünkü bu durumda momentum ve enerji korunamaz. Ancak bağlı bir elektron bir foton soğurabilir ve fotoelektron haline gelebilir. Çünkü bu durumda atom geri tepir ve momentum korunur. Bu işlem sırasında foton tamamen soğurulur. K kabuğu elektronlarından birinin sökülmesi ile oluşan bir fotoelektrik olay şekil 1.4.'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Fotoelektrik olay

$$E_{fe} = h\nu - E_b$$

(1.2)

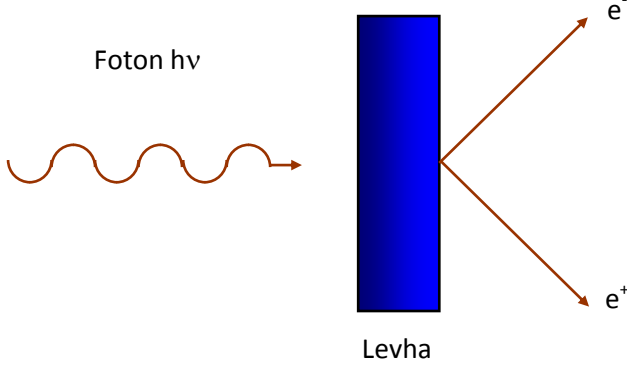
ile verilir. Burada E_b , K kabuğunun bağlanma enerjisi, $h\nu$ gelen fotonun enerjisidir. Fotonun $h\nu$ enerjisi elektronun bağlanma enerjisine yaklaştıkça fotonun soğurulma ihtimali

artar. Fotonun $h\nu$ enerjisi E_b bağlanma enerjisinden uzaklaştıkça fotoelektrik olayın meydana gelme ihtimali azalır. K kabuğunda oluşturulan boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bu işlem sonucu, iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır. Oluşan karakteristik X-ışını her zaman atomu terk etmez, bazen bu foton atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir. Böylece, meydana getirilen bir boşluk için her zaman bir karakteristik X-ışını yayımlanmaz. Meydana getirilen boşluk basına X-ışını yayımlanma ihtimali flüoresans verim (ω) olarak tanımlanır. Flüoresans verim 0 ile 1 arasında değerler alır. Küçük atom numaralı elementler için Auger elektronu yayımlanma ihtimali, büyük atom numaralı elementlerinkine oranla daha büyüktür. Büyük atom numaralı elementler için karakteristik X-ışını yayımlama ihtimali ise küçük atom numaralı elementlere göre daha büyüktür. Bunun sebebi, küçük atom numaralı atomlarda iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır (Baltaş, 2006).

1.3.1.2. Çift Oluşumu

Çift oluşumu, çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Çift oluşumun meydana gelebilmesi için eşik enerjisi $2m_0c^2$ (1,02 MeV) olmalıdır. 1,02 MeV'den daha büyük enerjili bir foton, yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçerken yok olur ve elektron-pozitron çifti meydana gelir. Bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Sonuçta bu olay meydana gelirken yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur. Çift oluşumu, hole teorisi ile izah edilebilir. Dirac'a göre, bir serbest elektronun enerjisi $+m_0c^2$ 'den daha büyük veya $-m_0c^2$ 'den daha küçüktür. Bu iki limit arasında elektronların mümkün durumları yoktur. Dirac teorisine göre, $2m_0c^2$ 'den daha büyük bir enerjiye sahip olan bir foton, bir elektronu negatif enerjili bir durumdan pozitif enerjili bir duruma yükseltebilir. Bu, pozitif enerji durumunda gözlenebilir bir elektron ile negatif enerji durumunda Dirac deliği denilen ve pozitif yüklü bir parçacık gibi hareket eden bir boşluk

(hole) meydana getirir. Bu boşluk bir pozitrona karşılık gelmektedir. Böylece bir elektron-pozitron çifti meydana gelmiş olur. X-ışını flüoresans tekniğinde uyarma için genellikle 1,02 MeV'den daha küçük enerjili fotonlar kullanıldığından çift oluşum olayı çalışmalarımızda söz konusu değildir (Apaydın, 2006).



Şekil 1.5.Çift oluşumu

1.3.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması

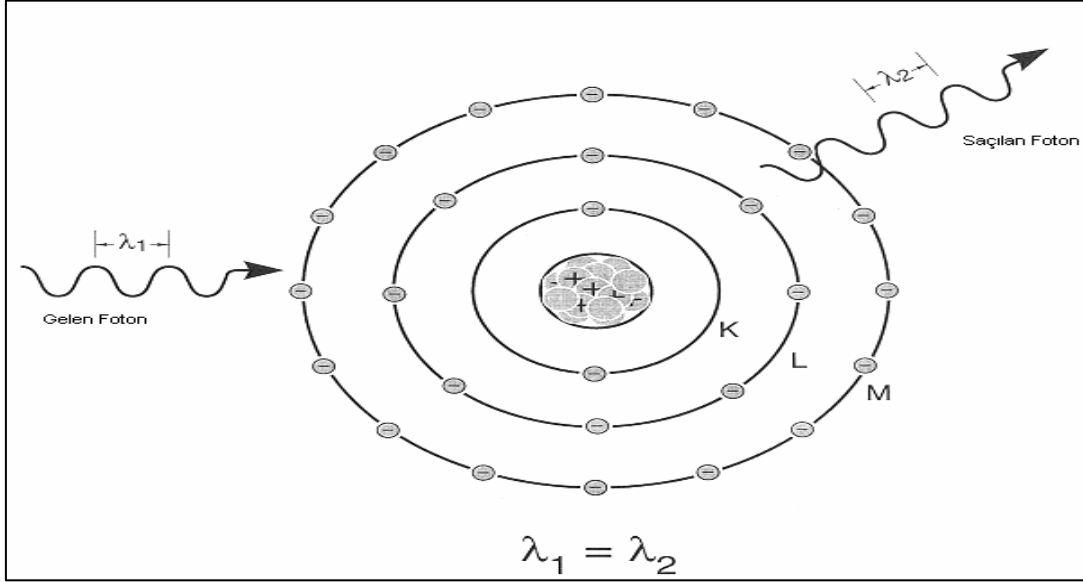
Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi olaylarından biri olan saçılmayı, saçılan ışının enerjisine göre koherent ve inkoherent saçılma olmak üzere iki grupta toplayabiliriz (Şirin, 2012).

1.3.2.1. Koherent Saçılma

Bir atom üzerine gelen fotonların enerji kaybı olmaksızın saçılmalarına koherent saçılma denir. Bu saçılma olayında gelen ve saçılan fotonların fazları arasında bir ilişki vardır. Atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamından faydalanılarak bulunur. Koherent saçılma olarak adlandırılan dört tip saçılma vardır. Bunlar Rayleigh saçılması, Delbrück saçılması, nükleer rezonans saçılma ve nükleer Thomson saçılmasıdır.

1.3.2.1.1. Rayleigh Saçılması

Bir koherent saçılma olayı olan Rayleigh saçılması, 0,1 MeV ve daha aşağı enerjilerde, fotonların atoma sıkı bağlı elektronlar tarafından saçılmasıdır. Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra başlangıç konumuna döndüğü saçılma olarak da tanımlanır. Bununla birlikte bu saçılma, Şekil 1.6.'deki gibi gelen foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde elektronun atomdan sökülecek kadar enerji almadığı hallerde meydana geldiği için düşük foton enerjilerinde ve büyük Z 'li ağır elementlerde meydana gelme ihtimaliyeti daha fazladır. Rayleigh saçılma tesir kesiti Z^2 ile orantılı olup koherent saçılmanın en çok görülen çeşidi olduğu için genellikle koherent saçılma tesir kesitiyle eşdeğer anlamda kullanılır.



Şekil 1.6. Rayleigh saçılması

1.3.2.1.2. Delbrück Saçılması

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma adı da verilmekte olup fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Delbrück saçılma, çekirdeğin Coulomb alanında yaratılan gerçek olmayan elektron-pozitron çiftlerinden fotonların saçılmasından dolayı elastik foton atom saçılma genliğine yapılan katkıdır.

1.3.2.1.3. Nükleer Rezonans Saçılması

Nükleer rezonans saçılma, fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu gözlenir. Bu olayda çekirdek iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonun soğurulmasıyla uyarılır. Bunu çekirdeğin uyarılmaktan kurtulması takip eder (Çevik, 1994).

1.3.2.1.4. Nükleer Thomson Saçılması

Bu saçılma olayı tamamen gelen fotonla çekirdek arasında meydana gelir. Klasik olarak, bir tek yük sistemi olarak düşünülebilen çekirdek gelen dalga tarafından salındırılır. Çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür

1.3.2.2. İnkoherent Saçılma

Gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı meydana geliyorsa bu tür saçılmaya inkoherent saçılma denir. Yani gelen ve saçılan fotonların dalga boyları ve fazları birbirinden farklıdır. İnkoherent saçılma, Compton saçılması, Raman saçılması ve Nükleer saçılma olmak üzere üç gruba ayrılır. Bunların arasında en etkin olanı Compton saçılmasıdır (Baltaş, 2006)

1.3.2.2.1. Compton Saçılması

Gelen fotonun atoma zayıf bağlı elektronla esnek olarak çarpışması sonucunda meydana gelen saçılma Compton saçılmasıdır. Foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktararak hareket yönünü değiştirir. Bu sırada gelen fotonla etkileşen elektron yörüngesinden koparak belli bir açıyla saçılır. Saçılan elektrona geri tepen elektron veya Compton elektronu denir. Compton saçılması, fotoelektrik olayın aksine dış tabaka elektronlarında daha baskındır ve Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda etkili olarak gözlenir. Compton elektronuna verilen enerji

$$T_c = E_\gamma - E'_\gamma \quad (1.3)$$

bağıntısından elde edilir.

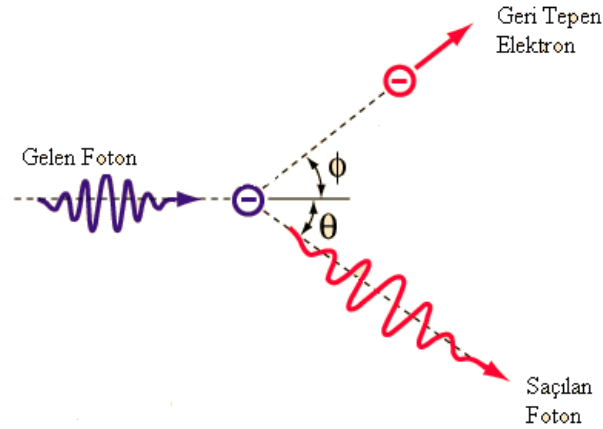
Burada E_γ gelen fotonun enerjisi, E_γ saçılan fotonun enerjisidir. Bu denklemde momentum ve enerjinin korunumu ile ilgili eşitlikler kullanılarak saçılma açısı θ ' nın fonksiyonu olarak saçılan fotonun enerjisi hesaplanır.

$$E_{\gamma'} = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2} \quad (1.4)$$

Burada m_0c^2 elektronun durgun kütle enerjisidir (511 keV). T_c ve $E_{\gamma'}$ denklemlerini kullanarak elektronun kinetik enerjisi elde edilir:

$$T = \frac{(1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2}{1 + (1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2} E_\gamma \quad (1.5)$$

Çarpışmadan sonra elektronun ve fotonun, maksimum ve minimum enerjisi radyasyon ölçümleri için önemlidir. $\theta = \pi$ olduğu zaman saçılan foton minimum enerjiye, elektron maksimum enerjiye sahip olur. $\theta = 0$ olduğu zaman ise saçılan foton maksimum enerjiye, elektron minimum enerjiye sahip olur ve bu saçılmanın olmadığını gösterir. Buradan saçılan fotonun minimum enerjisinin sıfırdan büyük olduğu sonucuna varılır. Dolayısıyla, Compton saçılmasında gelen fotonun bütün enerjisini elektrona vermesi imkânsızdır (Tsoulfanidis, 1995). Şekil 1.7.'de Compton olayı gösterilmektedir.



Şekil 1.7.Compton saçılması

1.3.2.2.2. Raman Saçılması

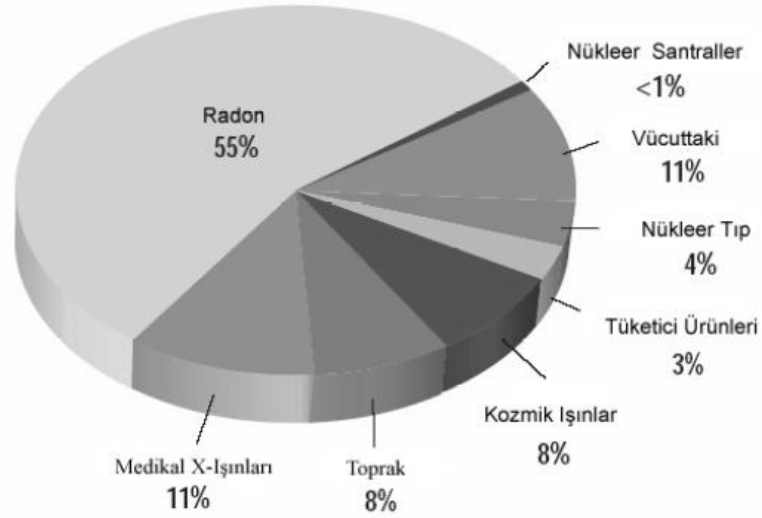
Raman saçılması ikinci mertebeden bir olay olarak da düşünölmektedir. Birinci adımda E enerjili bir foton soğurölür ve atom bir a durumundan n durumuna uyarılır. İkinci adımda, atom E' enerjili bir foton yayımlar ve uyarılmış durumundan son b durumuna döner. Atomun son durumu başlangıçtaki durumundan farklı ise saçılma koherent değildir ve bu olay Raman saçılması olarak bilinir (Baltaş, 2006)

1.3.2.2.3. Nökleer Saçılma

İnkoherent saçılma olarak da gözlenen nökleer saçılma, fotonun atomun çekirdeğı ile etkileşmesi sonucu oluşur. Bu saçılmanın inkoherent katkısı oldukça küçüktür (Şirin, 2012).

1.4. Radyoaktivite

Doğada kararsız halde bulunan bazı elementler kararlı hale geçmek isterler. Bu elementler, kararlı hale geçmek için enerji çeşitlerini kendiliklerinden salmaktadırlar. X ışınları gibi, enerjili parçacıkların kararsız atomların bozunumlarından salınmalarına Radyoaktivite denir. Kararsız halde bulunan elementlere de radyoaktif madde denir. Başka bir tanımla, bir atom çekirdeğinin, tanecik veya elektromanyetik ışımaya yayarak parçalanmasına Radyoaktivite denir. Söz konusu parçalanma kendiliğinden olabildiğı (Doğal Radyoaktivite) gibi uyarılma yoluyla da oluşturulabilir (yapay radyoaktivite); bu durumda ya kinetik ya da elektromanyetik biçimde enerji açığa çıkar. Doğal ve yapay olmak üzere iki tip radyoaktivite mevcuttur.



Şekil 1.8. Radyasyon kaynakları

1.4.1. Doğal Radyoaktivite

Bozunuma uğrayan çekirdek (izotop) doğada bulunan diğer radyoizotopların bozunumu sonrası ortaya çıkıyorsa buna doğal radyoaktivite denir. Çekirdek yapısının açıklanmasında, yaş hesaplarında, sediment oluşum oranlarının tespiti gibi farklı alanlarda doğal radyoaktivite kullanılır. Çevrenin doğal radyoaktivite seviyesinin bilinmesi, nükleer kaza esnasında o bölgenin hangi oranlarda kirlendiğinin tespiti açısından önemlidir. Doğada bilinen radyoaktif çekirdek sayısı 340 civarındadır. Doğal radyoaktif özellikler taşıyan elementler, periyodik cetvelin atom numaraları $Z=81-92$ arasında kalan bölgesini kaplarlar. Doğal radyoaktif elementler genel olarak kara ve uzay kökenli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar (Damla, 2009).

Kara kökenli radyoaktif çekirdekler; Uranyum serisi (^{238}U), Toryum serisi (^{232}Th), Aktinyum serisi (^{235}U), Tek izotoplu radyoaktif çekirdekler (^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm v.s.) ve Neptünyum serisi (^{241}Pu). Bu serinin halen bilinen tek izotopu ^{209}Bi 'dir. Tablo 1'de dört seriye ait bazı temel özellikler verilmektedir. Tarihsel sıralama söz konusu olduğunda en son keşfedilen seri Neptünyum serisidir. Bozunma zinciri sonucunda yukarıdaki kararsız çekirdeklerden Uranyum, Toryum ve Aktinyum sırasıyla kurşunun kararlı olan $^{206}_{82}\text{Pb}$,

$^{208}_{82}\text{Pb}$, ve $^{207}_{82}\text{Pb}$ çekirdeklerine ulaşırken Neptünyum kararlı en ağır çekirdek olan $^{209}_{83}\text{Bi}$ bizmuta dönüşür. Neptünyum serisinin en uzun ömürlü üyesinin yarı ömrü diğerlerinininkine nazaran Dünya'nın oluşumundan bu yana geçen süreye göre çok kısa olduğundan bu seri doğal maddelerde gözlenmez(Krane, 2001) .

Tablo1.1.Doğada bilinen dört radyoaktif seri

Seri Adı	Türü	Son	Ana	Yarı
Toryum	4n	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41.10^{10}$
Neptünyum	4n+1	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$2,14.10^6$
Uranyum	4n+2	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47.10^9$
Aktinyum	4n+3	$^{207}_{82}\text{Pb}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04.10^8$

Uzay kökenli radyoaktif çekirdekler; kozmik ışınlar ve yüklü parçacıklardır. Kozmik ışınlar veya yüklü parçacıklar, dünya atmosferine girdiklerinde ortamda bulunan (azot, oksijen, argon, v.b.) gazlarla nükleer reaksiyonlara girerek nötron, proton, muon ve kaonların yanı sıra dozimetrik açıdan önemli olan kozmojenik ^{14}C , ^3He , ^7Be , ^{22}Na gibi radyoaktif çekirdekleri üretirler. Güneş ve yıldızlardan kaynaklanan yüksek enerjili kozmik ışınlar, daha çok (% 93) hızlı protonlardan ve daha az da (% 6,3) alfalardan ve bir miktar da trityum ve karbon-14 çekirdeklerinden oluşuyor. Uzaydan gelen kozmik ışınlar birincil kozmik ışınlar, atmosferdeki reaksiyonlar sonucu üretilen ışınlar (nötron, proton, pion, kaon, mezon) *ikincil kozmik ışınlar*, reaksiyon ürünü olan, ^{14}C , ^3He , ^7Be ve ^{22}Na gibi radyoaktif çekirdeklere de kozmojenik radyoaktif çekirdekler denilir. Güneşten dünyaya sürekli olarak 1 keV'lik enerjilerde partiküller gelmektedir. Bu parçacıkların çok az bir kısmı yer seviyesine kadar ulaşabilirler (Damla, 2009).

1.4.2. Yapay Radyoaktivite

Nükleer reaktör veya hızlandırıcılarda üretilen bir radyoizotopun bozunuma uğraması olayıdır. Gelişmiş endüstriyel ekonomilerin ve yüksek yaşam standartlarının, doğada mevcut olmayan bazı radyasyon kaynakları kullanılmadan süreklilik gösterebileceğini düşünmek şimdilik pek mümkün gözükmemektedir. İşte bu yüzden insanoğlu, teknolojik gelişiminin gereği olarak, bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla

üretim ihtiyacı duymuştur. Bu kaynaklar, birçok işin daha iyi, daha kolay, daha çabuk, daha ucuz ve basit yapılmasına olanak sağlar.

Son yüzyılda tıbbi, zirai ve endüstriyel amaçla kullanılan X-ışınları ve yapay radyoaktif maddeler, nükleer silah denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpinçler, çok az da olsa nükleergüç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ile bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler vasıtasıyla doğal radyasyon düzeylerinde artışlar olmuştur.

Başlıca yapay radyoaktif çekirdekler Tablo 1.2.'de verilmiştir. Doğal radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyondan alınan doz, yapay radyoaktif çekirdeklerden alınan radyasyon dozuna oranla insanlar tarafından daha yüksek olmasına rağmen, insan yapımı radyoaktif çekirdeklerden yayınlanan radyasyon, yaydıkları radyasyon türü gereği daha fazla endişeye yol açarlar (Damla, 2009)

Tablo1.2.Yapay radyoaktif çekirdekler

Çekirdek	Yarı Ömür	Yayılan
⁶⁰ Co	5,3 (yıl)	β,γ
⁶⁵ Zn	244 (gün)	γ
⁹⁰ Sr	29 (yıl)	β
⁹⁰ Y	64 (saat)	β
¹²⁵ I	60 (gün)	X
¹³¹ I	8 (gün)	β,γ
¹³⁴ Cs	2,1 (yıl)	β,γ
¹³⁷ Cs	30 (yıl)	β,γ
¹⁵⁵ Eu	4,96 (yıl)	β,γ
²³⁸ Pu	87,7 (yıl)	α
²³⁹ Pu	2,4.10 ² (yıl)	α,γ
²⁴⁰ Pu	6,5x10 ³ (yıl)	α
²⁴¹ Pu	14,4 (yıl)	β

1.5.Radyasyon

Dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketçikleri halinde yayılan enerjilere radyasyon adı verilir.

Özellikleri:

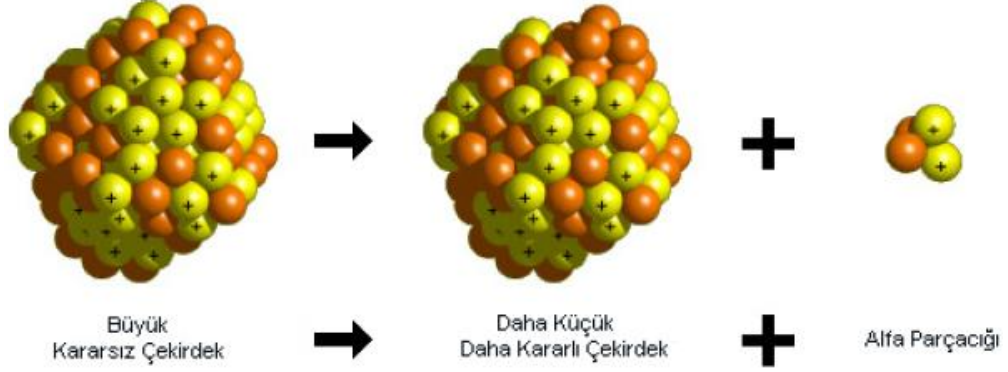
- Hızları ışık hızına eşittir.
- Geçtikleri tüm ortamlara enerji transfer ederler. Enerji frekansları ile doğru dalga boyları ile ters orantılıdır.
- Boşlukta düz bir çizgi boyunca yayılırlar.
- Maddeyi geçerken enerjileri azalır (Absorbe edilir ve saçılırlar).
- Radyasyonlar uzun mesafeler de bile etkilidir. Radyasyonun aktivitesi mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır.
- Radyoaktif ışınlar canlı organizmaya etki ederek onun yapısını bozarlar.
- Radyoaktif ışınlar yumuşak dokulardan geçerken sert cisimlerden geçemezler (Röntgen ışınlarının kemiklerden geçemedikleri gibi).
- Radyoaktif ışınlar karanlıkta fotoğraf filmlerine etki ederler.
- Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır. Yavaşlatılamaz veya durdurulamaz ve radyoaktif madde tükeninceye kadar sürer.

Atom numarası 82'den büyük olan elementlerin kendiliğinden yaptıkları ışımalara radyoaktif tepkime denir. Küçük atom numaralı atomların yaptıkları nükleer tepkimelere çekirdek tepkimesi denir. Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir.

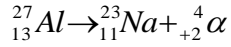
1.6.Radyoaktif Bozunma Çeşitleri

1.6.1. Alfa Işınması

Alfa ışınması yapan bir atomun çekirdeğinden 2 nötron ve 2 proton ayrılır. Bu durumda atom numarası 2 azalırken kütle numarası 4 azalır.



Şekil 1.9. Alfa bozunumu



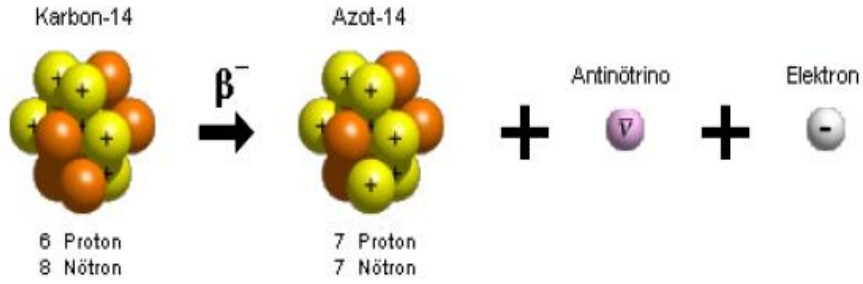
Genellikle n/p oranı 1,5'den çok büyük olan elementler α ışınması yaparlar. Alfa ışınlarının yükü ve kütlesi çok büyük olduğundan tehlikesi ve girciliği çok azdır. Alfa ışını elektronları sökülmiş helyum çekirdeğidir. Yani iyonlaştırılmış helyum gazıdır (${}_{2}^{4}\text{He}^{+2}$).

Alfa ışınlarının özellikleri:

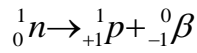
- 1- Fotoğraf filmlerine etki ederler.
- 2- + yüklü oldukları için elektrik ve manyetik alanda - kutba doğru saparlar.
- 3- Karşılaştıkları moleküllerden elektron kopararak, iyonlaşmaya neden olurlar.
- 4- Gircilikleri çok azdır.

1.6.2. Beta Işınması

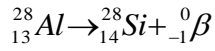
Beta ışınması yapan bir atomun çekirdeğinde bir nötron bir protona dönüşür ve dışarıya β ışınması yayımlanır.



Şekil1.10. Beta bozunumu



Bu durumda elementin atom numarası bir artarken kütle numarası değişmez.



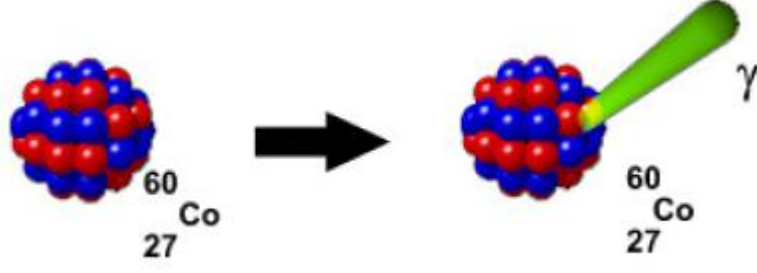
Beta ışınmasını genellikle nötronu protonundan çok fazla olan atomlar yapar. Beta ışınları alfaya oranla daha fazla tehlikelidir.

Beta Işınlarının Özellikleri:

- 1- İyonlaştırma özellikleri azdır.
- 2- Işık hızına yakın bir hızla hareket ederler.
- 3- Alfa ışınlarından daha çok, gama ışınlarından daha az gericidirler.
- 4- Fotoğraf filmine etki ederler.
- 5- Elektrik ve manyetik alanda negatif yüklü oldukları için pozitif kutba doğru saparlar. Sapmaları alfa ışınlarından daha fazladır. Çünkü bunların kütleleri daha küçüktür.

1.6.3. Gama Işınması

Genellikle diğer ışımalarından sonra atomlar kararsız hale gelir. Kararsız haldeki atomlarda enerji fazlalığı vardır. Bu enerji fazlalığı dışarıya gama ışınması olarak yayımlanır.

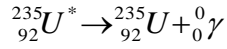


Şekil 1.11. Gama bozunumu

Gama ışınması sırasında;

1. Atom çekirdeği yeniden düzenlenir.
2. Atomun enerjisi azalır.
3. Atom daha kararlı yapıya ulaşır.

Gama ışınları, çok yüksek enerjili kısa dalga boylu elektromanyetik enerji dalgalarıdır. Giriciliği ve tehlikesi en fazla olan ışımadır. Gama ışınmasında atom numarası ve kütle numarası değişmez.

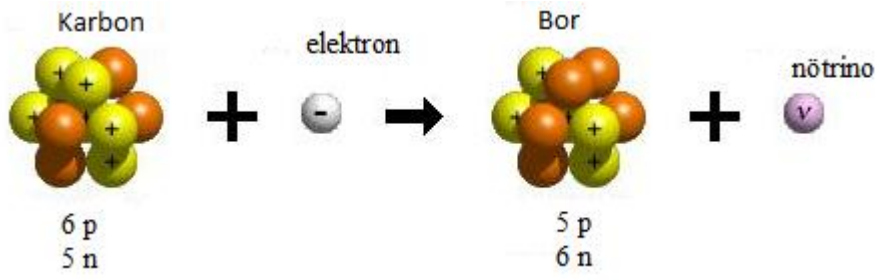


Gama Işınlarının Özellikleri:

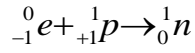
1. Alfa ve beta ışınlarından daha fazla giricidir.
2. Yüksüz oldukları için elektrik ve magnetik alanda sapmaya uğramazlar.
3. Kütlesizdirler, fotoğraf filmine etki ederler.

1.6.4. Elektron Yakalaması

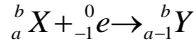
Kararsız bir atom çekirdeği kendisine en yakın orbitalden (1s) bir elektronu yakalar. Çekirdeğe düşen bu elektron bir proton ile birleşip nötrona dönüşür. Bu olaya elektron (K) yakalaması da denir.



Şekil 1.12.Elektron yakalama

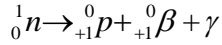


Bu durumda elementin atom numarası bir azalırken kütle numarası değişmez.

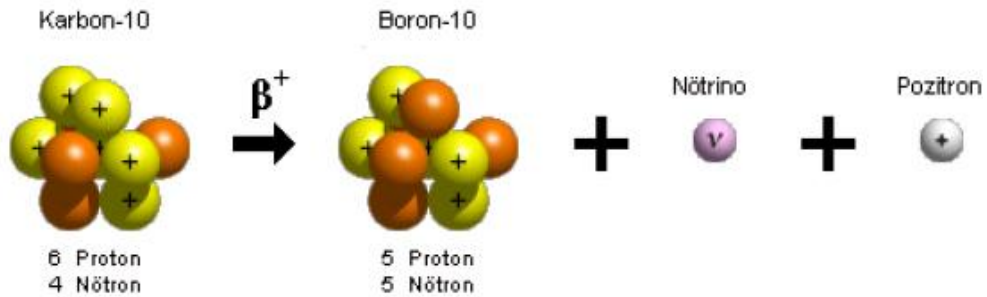
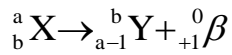


1.6.5. Pozitron Bozunması

Nötron sayısı proton sayısından küçük olan atomların uğradığı bozunmadır. Bu bozunmada atom çekirdeğinde 1 tane protonun, 1 tane nötrona dönüştüğü kabul edilir.



Pozitron bozunması sonunda elementin atom numarası 1 azalırken kütle numarası değişmez.



Şekil 1.13. Pozitron bozunması şeması

1.6.6. Nötron Fırlatılması

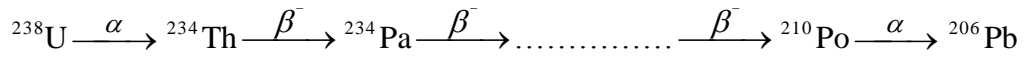
Kararsız bir çekirdekten dışarı nötron atılması ile gerçekleşir. Nötron fırlatan bir atomun kütle numarası 1 azalır. Atom numarası değişmez. Atom kendi izotopuna dönüşür. Çok hızlı gerçekleşir, izlenmesi zor bir olaydır. Yapay çekirdek tepkimelerinde gerçekleşir.

1.7. Doğal Radyoaktif Seriler

Doğada bulunan radyoaktif çekirdeklerin büyük çoğunluğu $A \geq 210$ olan ağır çekirdeklerdir ve üç radyoaktif seride toplanabilirler. Bu üç seri yarı ömrü çok büyük olan üç “anaç” çekirdekten kaynaklanır.

Ana çekirdek	Yarı ömrü
^{232}Th	14 milyar yıl
^{235}U	0,7 milyar yıl
^{238}U	4,5 milyar yıl

Bu üç anaç çekirdeğin bozunmasıyla radyoaktif “çocuklar” ve bunların bozunmasıyla da “torunlar” oluşur. Bu süreç devam ettiğinde üç radyoaktif seri ve sonunda kararlı bir çekirdekte biter. Her radyoaktif numunede bu üç süreç birlikte gözlenir ve değişik elementler birlikte bulunabilir. Örneğin ^{238}U ile başlayan seri ^{206}Pb ile sona erer. İkisi arasındaki evrelerden bazıları şu şekildedir:



Çocuk ve torun çekirdeklerin yarı ömürleri anaçtan daha kısa olabilir ve gerçekten öyledir. Örneğin, ^{234}Th 'in 5 milyar yıldır doğada bulunuyor oluşu yarı ömrünün uzunluğundan değil, anaç ^{235}U tarafından sürekli üretiliyor oluşundandır.

Yerkabuğunun oluşumunda doğal olarak mevcut olan radyonüklidler ve bunların bozunma ürünleri, yayınladıkları gama ısınları ile çevresel radyasyonların büyük kısmını oluştururlar. İnsanların bu gama ısınlarından etkilenmeleri, buldukları bölge toprağındaki radyoaktif elementlerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Bu nedenle, maruz kalınan gama radyasyon dozu her yerde aynı değildir. Toprak ve kayalarda yüksek konsantrasyonlarda bulunan ^{238}U , ^{234}Th ve ^{40}K gibi radyonüklidler en önemli dış radyasyon kaynaklarıdır. (Canbazoglu ve Dogru, 2003).

1.8.İyonlaştırıcı ve İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonlar

İyonlaştırıcı radyasyon bir maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon demektir. İyon meydana gelmesi yani iyonlaşma olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceğı gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşididir. Başlıca beş iyonlaştırıcı radyasyon çeşidi vardır. Bunlar; alfa parçacıkları, beta parçacıkları, x – ışınları, γ - ışınları ve nötronlardır.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, iyonlaşma meydana getiren x-ışını ve gama ışınlarından enerjileri daha küçük ve dalga boyları 100 nm'den daha büyük olan radyasyonlardır. Maddeden geçerken maddede iyonlaşma meydana getirmezler. İyonlaştırıcı radyasyonların aksine iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar insanlar tarafından algılanabilirler. Bu sebeple de, sürekli olmamakla birlikte genellikle hasar meydana getirmeden önce gerekli korunma tedbirleri alınabilir.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, optik radyasyonlar ve elektromanyetik radyasyonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Bütün radyasyonlar gibi, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar da aynı fizik kanununa uyarlar ve dalga boyu (λ), frekans (f) ve enerjileri (E) ile tarif edilirse; iyonlaştırıcı radyasyonlar enerjileri, optik radyasyonlar dalga boyları, elektromanyetik radyasyonlar ise frekansları ile belirtilirler.

1.9. Aktivite ve Radyasyon Birimleri

1.9.1. Aktivite Birimleri

Aktivite birimi Becquerel olup saniyede bir bozunma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tanımlanmaktadır. Eskiden kullanılan aktivite birimi Curie'dir. Herhangi bir radyoaktif madde miktarı eğer saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ bozunma hızına sahipse aktivitesi 1 Curie olarak tanımlanmaktadır.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ parçalanma/saniye}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci'dir.}$$

1.9.2. Işınlama Birimi

Işınlama dozu olarak tarif edilen Coulomb/kg (C/kg) normal şartlar altında $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ve 760 mm Hg basıncında havanın 1 kg'ında 1 Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif negatif iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır. $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R(Röntgen)}$ veya $1 \text{ R} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ dır.

1.9.3. Soğurulmuş Doz

Radyasyonlarla ışınlanan bir maddenin birim miktarındaki soğurulan radyasyon enerjisidir. SI birim sisteminde soğurulan doz birimi Gray (Gy) olup, Gray, 1 kg'lık bir maddeye 1 Joule (J)'lük enerji veren herhangi bir iyonlayıcı radyasyonun dozudur. Eski özel birimi rad olup, 1 rad, herhangi bir maddenin gramı başına 100 erg'lik enerji soğurma eşdeğerdir.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J.kg}^{-1} = 100 \text{ erg.g}^{-1}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

1.9.4. Eşdeğer Doz

Radyasyonun biyolojik etkileri göz önünde bulundurularak tanımlanan birim rem'dir. Doku ve organlarda, birim kütlede soğurulan enerji miktarlarıyla orantılı bir değerdir. Vücut için eşdeğer doz olarak tanımlanır. SI birim sisteminde eşdeğer doz birimi Sievert (Sv)'dir.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

$$1 \text{ Sv} = 100\text{rem}$$

Radyasyonun şiddetinin tanımlanmasında yalnız bozunma hızının (aktiflik) sayılması veya yaşayan sistemlerdeki etkisinin (doz eşdeğeri) ölçülmesinden hangisini isteyeceğimize bağlı olarak birçok farklı yol vardır. Tablo 3'de bu değişik ölçümler ile bu ölçümlerin ifade edildiği geleneksel ve SI birimlerinin bir özeti verilmiştir.

Tablo1.3.Radyasyon ölçümü için nicelikler ve birimleri

Nicelik	Ölçüm	Geleneksel Birim	SI Birimi
Aktiflik (A)	Bozunma hızı	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)
Doz (X)	Havadaki iyonlaşma	Röntgen (R)	Kilogram başına Coulomb (C/kg)
Soğurulan doz (D)	Enerji soğurulması	Rad	Gray (Gy)
Doz eşdeğeri (DE)	Biyolojik etkinlik	Rem	Sievert (Sv)

1.10. Yarıiletken Dedektörler

Yarıiletken dedektörler esasen iyonizasyon odaları gibi çalışan katı hal cihazlardır. Bu tür dedektörlerde yük taşıyıcıları, gaz dedektörlerinde olduğu gibi elektronlar ve iyonlar değil, elektronlar ve deliklerdir. Yarıiletken dedektörler gaz dedektörlerine kıyasla bazı avantajlara sahiptirler fakat bu dedektörlerin kristalleri NaI(Tl) dedektörlerinkinden daha

düşük atom numarasına sahiptirler ve boyut bakımından daha da küçüktürler. Bu sebeple, fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümü işlemine göre bu dedektörler, NaI(Tl) dedektörlerine göre bazı dezavantajlara sahiptirler. Si ve Ge yarıiletken dedektörleri kendi aralarında karşılaştırılırsa germanyumun hem atom numarası hem de yoğunluğu silisyumun atom numarası ve yoğunluğundan daha büyük olduğu için daha fazla avantaja sahiptir.

Işıktan ziyade yükün topladığı bu dedektörler için en önemli nicelik kaç tane elektron-delik çifti veya yük taşıyıcısının oluşacağıdır. Bu işlemde istatistiksel değişimler meydana gelebilir ve oluşan elektron-delik çiftlerinin sayısı ne kadar büyükse bu değişim o kadar sabit kalacaktır. Yani tek enerjili radyasyondan gelen çizgi spektrumlarının genişliği daha dar olacaktır.

Gazlı sayıcılar ile yarıiletken dedektörler arasındaki en büyük fark, bir yük taşıyıcı çifti oluşturmak için gerekli ortalama enerjidir. Bu enerji gazlı dedektörler için yaklaşık 30 eV, yarıiletken dedektörler için ise yaklaşık 3 eV'tur. Bu değerlerden yarıiletken kristallerden oluşan dedektörlerde çok daha az istatistiksel genişlemeyle piklere sahip olacağı söylenebilir (Debertin ve Helmer, 1988).

1.11. XRF Sistemi

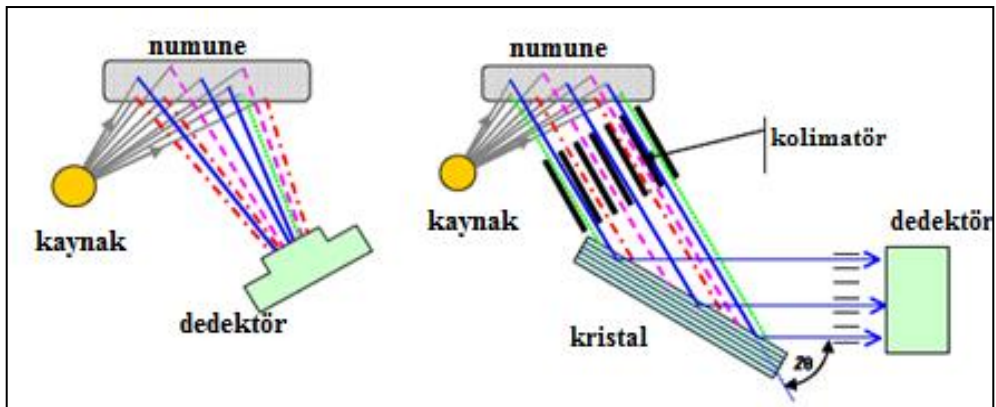
X-ışını floresans spektroskopisi (XRF), atom numarası $Z > 4$ büyük elementlerin kalitatif ve kantitatif miktarını milyonda bir oranında hassasiyetle belirlemede kullanılan tahripsiz analitik metotlardan biridir. XRF metodunun en önemli avantajları; geniş dinamik aralık, yüksek hassasiyet ve numune hazırlamak için çok az miktarda örnek gerektirmesidir. XRF tekniği, atık mineraller, suyun çevresel analizi, madencilik, maden bilimi ve jeoloji ile birlikte gıda endüstrisi, metal, çimento, polimer ve plastiği kapsayan geniş bir uygulama alanını kapsar. XRF, ayrıca eczacılık ve araştırmaları için çok kullanışlı bir analiz yöntemi olup (Brouwer, 2003), XRF sistemi eş zamanlı elemental analiz yapabilmektedir (Manso vd., 2007). Bunun yanı sıra XRF kimi durumlarda tabakalar ve kaplamaların, kalınlık ve bileşimini tarif etmekte de kullanılabilir. XRF analizlerinin tekrarlanabilirliği ve hassasiyeti çok yüksek olup iyi standartlar kullanıldığında çok doğru

sonuçlar almak mümkündür ancak uygulamalar için özel standartlar bulunmayabilir. Ölüm zamanı, istenen doğrulukla tanımlanmış olan elementlerin numarasına bağlıdır ve ölüm zamanı saniyelerden başlayıp 30 dakikaya kadar değişkenlik gösterebilir. Analiz zamanı ise ölüm zamanından yalnızca birkaç saniye sonradır (Aydın, 2009). Ancak genel olarak yüksek atom numaralı elementlerin, düşük numaralı elementlerden daha iyi tespit edebilme limitlerine sahip olduğu söylenebilir.

Spektrometre sistemleri; enerji ayrımlı (EDXRF) ve dalga ayrımlı (WDXRF) sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Elementlerin analiz edilebilirliği ve onların sayılma düzeyleri temel olarak kullanılan spektrometre sistemine bağlıdır. EDXRF için element aralığı, sodyumdan uranyuma kadar uzanır. WDXRF için ise, berilyumdan uranyuma kadar uzanan daha geniş bir aralığı kapsar. Konsantrasyon aralıkları ise alt ppm seviyelerinden % 100'e kadar değişir.

Zaman içerisinde analitik laboratuvarlarında EDXRF spektrometreleri yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunun anlamı günümüzde alışılmış uygulamalar olarak bilinen AAS ve ICP'nin yerini EDXRF'nin almasıdır. Hem endüstride hem de bilim dallarında EDXRF'nin kullanımı düşüncesinin mevcut olduğunu söylenilmektedir.

Bütün spektrometreler için temel kavram, bir kaynak, bir numune ve bir dedeksiyon sistemidir. Kaynak, numuneye işin gönderir ve numuneden saçılan radyasyon dedektör tarafından lmlr. şekil 1.14.'de EDXRF ve WDXRF spektrometrelerinin temel tasarımları gösterilmektedir.



şekil1.14. ED-XRF ve WD-XRF spektrometrelerinin temel tasarımları

Birçok durumda kaynak bir X-ışını tüpüdür. ED-XRF ve WD-XRF spektrometre sistemleri arasındaki fark dedeksiyonla bulunur.

ED-XRF spektrometreleri bir numuneden direk olarak gelen karakteristik radyasyonun farklı enerjilerini ölçebilen bir dedektöre sahiptir. Dedektör numune içerisindeki elementlerin radyasyonunu, numunenin radyasyonundan ayırır. Bu dispersiyon olarak adlandırılır.

WD-XRF spektrometrelerinde farklı enerjileri ayırmak için bir kristal kullanılır. Numuneden gelen bütün radyasyon kristalin üzerine düşer. Kristal farklı yönlerdeki, farklı enerjileri kırarak dağıtır. Kristal farklı yönlerdeki farklı renkleri ayıran bir prizmaya benzer.

1.12. XRF Uygulama Alanları

XRF analiz sistemleri özellikle jeolojik, çevresel, metalürjik, seramik ve inorganik materyallerin analizi için oldukça önemlidir. Bu teknik ppm düzeyindeki elemental analizleri hızlı bir şekilde ve numuneyi tahrip etmeden yapabildiği için katı ve sıvı numunelerin analizinde tercih edilen bir yöntemdir (Verma, 2007).

1.12.1. Biyolojik Bilimlerde

XRF tekniği inorganik numuneler içerisindeki K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Se gibi iz (trace) elementleri kolayca belirleyebildiğinden biyoloji ve medikal bilimlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılır.

1.12.2. Kriminoloji

XRF tekniği adli olaylarda, özellikle barut izlerinde, küllerde, yazılmış veya kopyalanmış kağıtlarda element analizin yaparak karşılaştırma yapmakta kullanılır.

1.12.3. Malzeme Bilimlerinde

XRF tekniği malzeme bilimlerinde, yıkıcı olmadığı için alaşım analizlerinde ve temel metal endüstrisinde kaplama kalınlığının tespit edilmesinde önemli bir analitik tekniktir.

1.12.4. Kirlilik Analizlerinde

Çok sayıda bilim insanı XRF tekniğini su ve hava kirliliğinin düzeylerini ve bunların kaynaklarını belirlemede kullanır. Bu çalışmalar, kirliliğin insan sağlığı üzerindeki etkilerini belirlemede önceden gereklidir.

1.12.5. Arkeolojik Numunelerde

XRF tekniği arkeolojik nesnelere için güvenilir bilgi etmede, içeriklerindeki başlıca elementlerin ve iz elementlerinin belirlenmesinde, oldukça önemlidir. Bu bilgiler arkeolojik nesnelereın kültürünü belirlemede çok önemlidir.

1.12.6. Numunelerin Kimyasal Analizinde

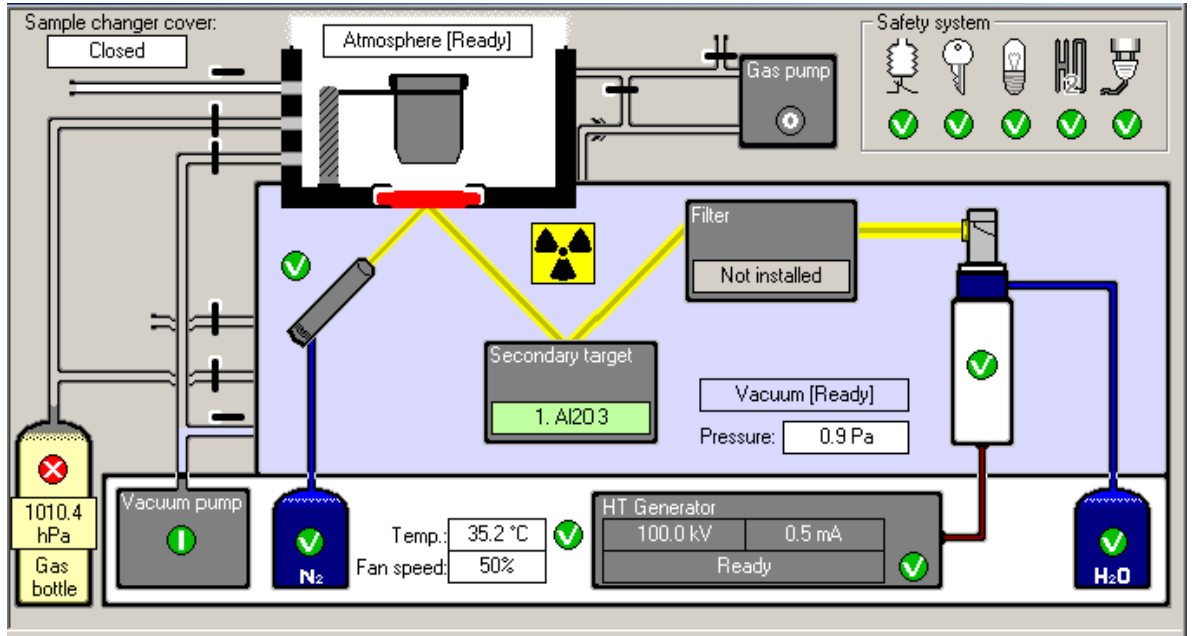
Valans bandından yayınlanan X-ışınları yoğunluğu kimyasal kompozisyonun bir fonksiyonu olarak değişir. Bu bağlamda XRF tekniği yüzey atomlarının kimyasal durumlarını belirleyici bir yöntemdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1.ED-XRF Spektrometresi Ölçümleri

ED-XRF özellikli Epsilon5, PANalytical cihazı kontrol ve analiz yazılımı ile birlikte tam entegre bir X-ışını analiz sistemi olup periyodik tabloda optimal performans elde etmek için dizayn edilmiştir. Bu sistem üç boyutlu polarize optik geometrisi ve 600 Gd anod X-ray tüpü, 100kV jeneratörü ve 15'e kadar çıkabilen ikincil ve polarize hedefleriyle yüksek çözünürlüklü PAN-32 dedektörden oluşur. X-Y eksenli numune değiştirici ile 133'e kadar numune alabilmekte olup, ölçümleri vakum ve He ortamda katı ve sıvı numuneler için gerçekleştirebilmektedir. Polarize enerji dağılımı X ray teknolojisinde yeni patentli alınmış en son teknolojik gelişmesi olup araştırma geliştirme uygulamalarında yüksek performanslı analitik çözümler ve ticari analitik laboratuvarlar için uygun maliyet-etkinlik oranı sağlar. Çoğu çevresel olarak kritik olan orta ağırlıktaki elementlerden ağır elementlere kadar analiz etme kapasitesine sahiptir (Yaylı, 2013).

Yapılan bu çalışmada kullanılan EDXRF sisteminin taslağı şekil 2.1'de ve cihaz ile ilgili görseller şekil 2.2 ve şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. ED-XRF sistemi taslağı



Şekil 2.2.Epsilon5, PANalytical sisteminin genel görünümü



Şekil 2.3. Epsilon5, PANalytical cihazının numune haznesi

Yapılan çalışmada kullanılan EDXRF sistemin ikincil kaynakları peletler şeklinde olup bu ikincil kaynakların pelet kalınlıkları ve pelet yoğunlukları Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo2.1. İkincil kaynaklar ve özellikleri

İkincil Kaynak	Kalınlık(μm)	Yoğunluk(g/cm^3)
Al_2O_3	600	3,94
CeO_2	600	6,84
Ag	600	10,5
Mo	600	10,2
Zr	600	6,49
Ge	600	5,35
Fe	600	7,86
Ti	600	4,52
Al	600	2,702

2.2.Gama Spektrometresi Ölçümleri

Gama spektrometre ölçümleri kobaltın (^{60}Co) 1332 keV 'de 1,9 keV enerji ayrımlı %55 verimlilikte kooksiyal (ortak eksenli) HPGe dedektör (Ortec, GEM55P4-95 model) ile yapıldı.Dedektör 10 cm kalınlığa sahip kurşun ve içten 2mm bakır folyo ile zırhlandı. Spektrum analizi Ortec'ten elde edilen Genie 2000 bilgisayar yazılımı kullanılarak yapıldı. Sistemin kalibrasyonu kontrol amacıyla bilinen sertifikalı bir referans numunesinin performans testi yapıldı (IAEA-375,IAEA, Vienna). Bu numunelerin belirli aktiviteleri ile onların onaylanmış değerlerinin %10'u geçmeyen hatalar dahilinde uyum içinde olduğu görüldü. İyi bir gama spektrumu elde etmek için herbir numune için sayma zamanı 50000 s olarak belirlendi. Dedektör çevresi etrafında bir altyapı (background) dağılımı belirlemek için boş bir kap tıpkı bir numuneymiş gibi aynı geometride aynı yöntem ile sayıldı. Ölçülmüş izotopların gama ışınlarının net pik alanı ayarlamak için zemin spektrumu kullanıldı.

^{226}Ra serilerinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için 351,9 keV (^{214}Pb) ve 609,3 keV (^{214}Bi) enerjilerinin gama ışınları kullanıldı. ^{232}Th serilerinin aktivite konsantrasyonlarını belirlemek içinse 911,1 keV (^{228}Ac) ve 583,1 keV (^{208}Tl) deki gama

ışınları kullanıldı. ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonları ise 1460,8 keV'deki gama yayınlanması ile direk olarak ölçüldü.

Ölçülen numunelerde doğal radyoaktif çekirdekler için aktiflik konsantrasyonları aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$C = \frac{N}{\epsilon PMt} \text{ (Bq kg}^{-1}\text{)} \quad (2.1)$$

Burada N gama ışını net sayma oranı, ϵ kullanılan dedektörün foto pik etkisi, P gama bozunmasının mutlak değışımi, t saniyedeki sayım zamanı, M kilogram başına kuru numunenin ağırlığıdır.



Şekil 2.4. Ortec marka HPGe Gama Spektrometresi

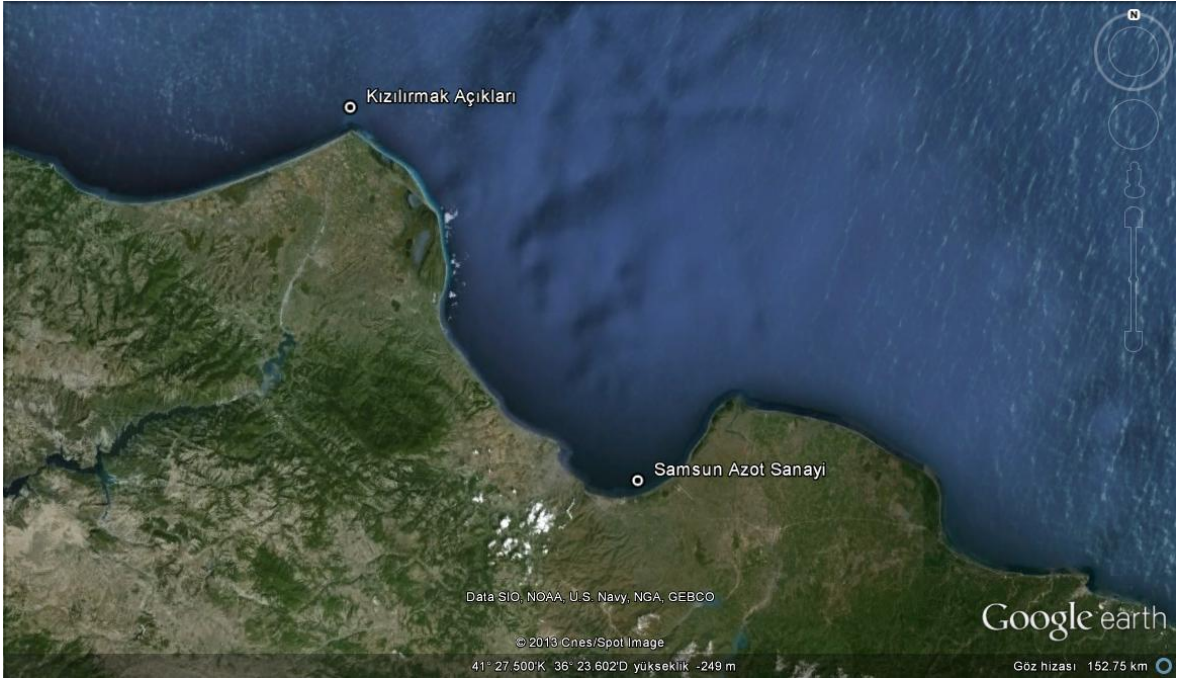
2.3. Numunelerin Toplanması

Sediment örnekleri Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, bünyesinde faaliyet gösteren araştırma gemisinde bulunan Van-Veen grab yardımıyla 2013 yılında alınmıştır. Numunelerin alındığı noktalar ve özellikleri Tablo 2.2.'de verilmektedir. Örneklerin alındığı noktaların haritaları Şekil 2.5. (a),(b), (c), (d) de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Numunelerin alındığı koordinat, derinlik ve kıyıya uzaklıkları

No	Enlem (N)	Boylam (E)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Kıyıya uzaklık* (Deniz mili)	Mevki/Bölge
1	41°16'250"	36°28'972"	15	9.38	1.2	Samsun Azot Sanayi
2	41°46'154"	35°57'282"	20	9.18	2.0	Kızılırmak Açıkları
3	41°02'657"	37°30'857"	10	8.74	1.0	Ordu-Fatsa Açıkları
4	41°01'802"	37°50'324"	15	9.22	0.7	Ordu-Boztepe
5	40°57'329"	38°17'986"	20	9.26	0.9	Giresun-Yalıköy
6	40°55'971"	38°24'240"	30	9.64	0.7	Giresun Açıkları
7	40°58'714"	38°43'958"	15	9.68	0.9	Giresun-Espiye
8	41°03'649"	39°04'852"	20	9.49	1.0	Gireun-Eynesil
9	41°04'430"	39°20'528"	20	9.72	0.3	Trabzon-Çarşıbaşı
10	41°03'048"	39°33'994"	15	9.67	0.8	Trabzon-Darıca
11	41°00'666"	39°45'649"	10	9.52	0.5	Trabzon Değirmendere
12	40°56'245"	40°04'190"	15	9.91	0.2	Trabzon-Araklı
13	40°55'943"	40°12'548"	20	10.18	0.5	Trabzon-Çamburnu
14	41°02'631"	40°32'447"	30	9.60	0.9	Rize Açıkları
15	41°11'962"	40°55'690"	20	9.59	1.2	Rize-Ardeşen
16	41°29'827"	41°30'821"	30	9.67	0.7	Artvin-Kemalpaşa

*1 deniz mili=1.852 km



(a)



(b)

Şekil 2.5. (a), (b),(c) ve (d) Örneklerin toplandığı noktaların haritada gösterimi

Şekil 2.5'in devamı



(c)



(d)

2.4. Numunelerin Hazırlanması

Numune hazırlamada spektral çizgi şiddeti ve element konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki vardır. Örneğin; yüzeyin pürüzlülüğü, parçacığın şekli, büyüklüğü, homojenliği, dağılımı ve mineralize edilmesi gibi faktörler bu ilişkiyi etkileyebilirler. Uygun numune hazırlama tekniğinin anahtarı yeniden kullanılabilirliği, doğruluk, basitlik, maliyet ve numune hazırlama için gerekli zamandır.

Toz numuneleri analiz etmek için tercih edilen metotlardan biride, numunelerin daha homojen olarak hazırlanmasını sağlayan hidrolik presleyiciler kullanarak pelletlerin hazırlanmasıdır. Bazı üretici firmalar 10 tondan 50 tona ya da daha fazla aralıkta değişen basınçlara sahip olan hidrolik presleyicileri üretmişlerdir.

Öncelikle toplanan numuneler ilk olarak kurutulur. Kurutma işlemi yaklaşık 80°C sıcaklığa ayarlı etüvlerde yapılmaktadır. Parçacık büyüklüğü olarak 400 mesh ya da daha iyisi önerilir. Bunun için çeşitli elekler yardımıyla parçacık büyüklüğü etkisi azaltılmaya çalışılır. Hazırlanan numuneler element analizlerinin yapılabilmesi amacıyla 40 mm'lik pelletler haline getirilmiştir. Radyoaktivite ölçümleri için ise 50ml'lik silindirik poliüretan kaplarda karanlık bir ortamda 1-2 ay arası bekletilerek ölçüme hazır hale getirilmiştir.

2.5. Element ve Radyoaktivite Analizleri

ED-XRF analizleri için spektrometrede ölçüme başlamadan önce element konsantrasyonları belirli uluslar arası geçerliliğe sahip Mess-3 (URL-4) deniz sedimenti numunesi (reference materials) ile kalibrasyonu yapılmıştır. Sonra ölçüme hazır hale getirilen örnekler cihazın numune haznesine yerleştirilerek ölçüm başlatılmıştır. Cihaz numuneleri 100-300 ve 1000 s'lik zaman dilimlerinde üç tekrarlı otomatik olarak ölçmüştür. Sonuçlar ppm veya % olarak okunabilmiştir.

Numunelerin radyasyon ölçümleri Ortec marka GEM55P4 Model HPGe dedektörü kullanılarak yapılmıştır. HPGe dedektörü özden yarı iletkenlik prensibine göre çalışan yarıiletken kristalden oluşmaktadır. Özden yarıiletken, içerisine yapay safsızlıkların bulunmadığı bir çeşit yarıiletkendir. HPGe dedektörde cm³'te yaklaşık olarak 1010 safsızlık atomu vardır. Dedektör ile nokta kaynak arasında yaklaşık 20 cm uzaklık vardır.

HPGe dedektörü %55 relatif verime sahip olup 1700 voltta çalışmaktadır. Enerji rezölasyonu (FWHM) ^{60}Co kaynağı için 1.3325 MeV'de 1,9 keV'dir. Önyükseltici, yüksek voltaj kaynağı, analog dijital dönüştürücü (ADC), çok kanallı analizör (MCA) bir sistemde bulunup aynı zamanda dedektörün portatif olarak kullanılmasına imkan vermektedir. Numuneler, dedektörün hemen önündeki kurşunla kaplı numune odasına konulmuş ve sayım süresi 20000 s olarak seçilmiştir. Bu süre sonunda numunelerden yayınlanan radyoaktif izotoplara ait spektrumlar Genie-2000 programı ile elde edilmiştir.

Dedektörün enerji kalibrasyonu için Eu-152 sıvı standart kaynağı kullanılmıştır. Kaynağa ait bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo2.3. ^{152}Eu standart kaynağın özellikleri

^{152}Eu ($T_{1/2} = 13.516$ y)		
E_{γ} (keV)	I_{γ} %	Gama/s
121,8	28,4	30719,65
244,7	7,51	8123,40
344,3	26,6	28772,63
411,1	2,23	2412,14
444,0	2,82	3050,33
778,9	13	14061,81
964,1	14,6	15792,50
1085,8	10,21	11043,93
1112,1	13,6	14710,82
1408,0	20,8	22498,90

Dedektörün saydığı gama sayımlarının gerçek değerini bulabilmek için dedektöre ait verim düzeltmesinin yapılması gerekir. Dedektör ilgilenilen enerjilerdeki verimleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

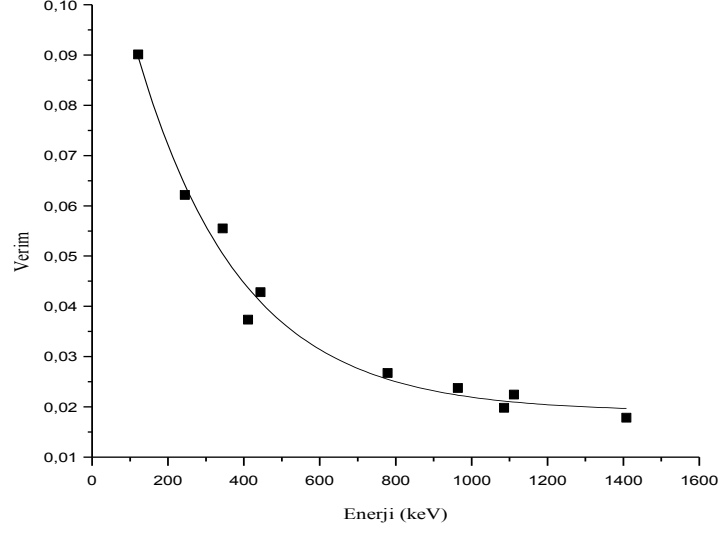
$$\varepsilon = \frac{S}{(I_{\gamma}) \cdot N \cdot t} \quad (2.2)$$

ε ; HPGe dedektörünün ilgilenilen gama enerjisindeki verimi, N; ilgilenilen enerjideki toplam sayım hızı (sayım/zaman), A; verim kalibrasyonu için kullanılan standart kaynağın o anki aktivitesi (boz/s), I_{γ} % ; gama ışınının bolluğu'dur.

Böylece farklı gama enerjileri için hesaplanmış olan verim değerlerinin ilgili gama enerjilerine karşı Origin yazılımında grafiği çizdirilmiştir.

Tablo2.4.Dedektöre ait verim değerleri

Verim	Enerji(Kev)
0.02312	121.8
0.01595	244.7
0.01424	344.3
0.00958	411.1
0.01098	444
0.00686	778.9
0.00609	964.1
0.00509	1085.8
0.00576	1112.1
0.00458	1408.0



Şekil 2.6. Enerji-Verim eğrisi

Dedektör yardımı ile enerji kalibrasyonu için standart kaynağın spektrumu elde edilerek enerjilerin hangi kanallara karşılık geldiği tespit edildi. Enerjinin kanallara göre değişim grafiği Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.

Spektrumdaki her bir pik için ilgili alan bölgeleri seçilerek en küçük hataya sahip net alanı verecek şekilde pik alanı işaretlendi. Daha sonra kalibrasyon katsayıları bilgisayar programına verilerek piklerin merkez kanalına karşılık gelecek enerji değerleri bulundu.

Tablo 2.5'de ^{226}Ra ve ^{232}Th serileri ile ^{40}K için alınan enerjiler ve salma hızları gösterilmiştir. ^{226}Ra serisi için ^{214}Pb (295,2 keV), ^{214}Pb (352,0 keV) ve ^{214}Bi (609,4 keV) enerjilerindeki, ^{232}Th serisi için ^{212}Pb (238,6 keV), ^{208}Tl (583,1 keV), ^{228}Ac (911,1 keV) enerjilerindeki piklerinin alanları ve ^{40}K için (1460,8 keV) enerjisindeki pikin alanı alınmıştır.

Tablo2.5.Aktivitesi hesaplanan radyoaktif çekirdekler ve salma hızları

İzotop	Gama	Salma hızı (%)
²¹⁴ Pb	295,2	18,2
²²⁶ Ra	²¹⁴ Pb	352,0
	²¹⁴ Bi	609,4
²³² Th	²¹² Pb	238,6
	²⁰⁸ Tl	583,1
	²²⁸ Ac	911,1
⁴⁰ K	1460,8	10,7

2.6. Aktivite Hesabı

Piklerin altında kalan net alanlar toplam alandan background çıkarılarak elde edilen sayma sayılarının toplamıdır. Saniyedeki sayma (cps), pik altında kalan alanın pik elde etmek için geçen süreye bölümüdür. Dedektör verimi de hesaba katılarak aktivite için,

$$A = \frac{s}{(I_{\gamma}) \cdot w \cdot t \cdot \varepsilon} \quad (2.3)$$

dır. Burada A(Bq/kg) aktivite, s net alan, I_{γ} gama ışınının salma hızı, w kg olarak numune miktarı ve ε verim'dir.

2.7. Sediment Örneklerinin Geo Birikim İndeksinin Belirlenmesi (Geo-accumulation Index)

Jeobirikim indeksi (I_{geo}) sedimentörneklerinde metal kirliliğini belirlemek için kullanılacaktır. Jeobirikim indeksinin formülü aşağıdaki gibi verilir.

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right) \quad (2.4)$$

C_n =tortudaki n ağır metalinin konsantrasyonu B_n = n elementinin ortalama değerdeki jeokimyasal background (referans) değeri ve 1.5 litojenik etkilerden kaynaklanan background matris düzeltme faktörüdür (Al- haidarey vd., 2010).

Tablo 2.6. I_{geo} sınıflandırma (Loska vd., 1997)

I_{geo} değeri	I_{geo} sınıfı	Açıklama
≤ 0	0	Kirlenme yok
0-1	1	Kirlenme yok ile ortalama kirlenme arası
1-2	2	Ortalama kirlenme var
2-3	3	Ortalama-Şiddetli arası kirlenme var
3-4	4	Şiddetli kirlenme var
4-5	5	Şiddetli-Çok şiddetli arası kirlenme var
5<	6	Çok fazla kirlenme var

2.8.Sediment Örneklerinin Zenginleştirme Faktörünün Belirlenmesi (Enrichment Factor)

Çalışma alanlarında insan kaynaklı kirlenme ve kirleticilere bağlı metal kirliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Normalizasyon işlemleri için özellikle Al ve Fe elementleri kullanılmaktadır. Zenginleştirme faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Hasan vd., 2013);

$$EF = \frac{X/Fe(\text{Sediment})}{X/Fe(\text{Yerkabuğu})} \quad (2.5)$$

X, incelenen sedimentte incelenilen metal konsantrasyonu, Fe(sediment) incelenen sedimentte referans metal konsantrasyonu, Fe (yerkabuğu) yerkabuğundaki bolluktur (Krauskopf ve Bird, 1995). Örneklerden elde edilen EF değerleri aşağıdaki tabloya göre yorumlanacaktır.

Tablo 2.7. Zenginleştirme Faktörü (*EF*) (Chen vd., 2007)

<i>EF</i>	Açıklama
<1	Zenginleştirme yok
<3	Küçük zenginleştirme var
=3-5	Ortalama zenginleştirme var
=5-10	Ortalama-şiddetli arası zenginleştirme var
=10-25	Şiddetli zenginleştirme var
=25-50	Çok şiddetli zenginleştirme var
>50	Çok fazla zenginleştirme var

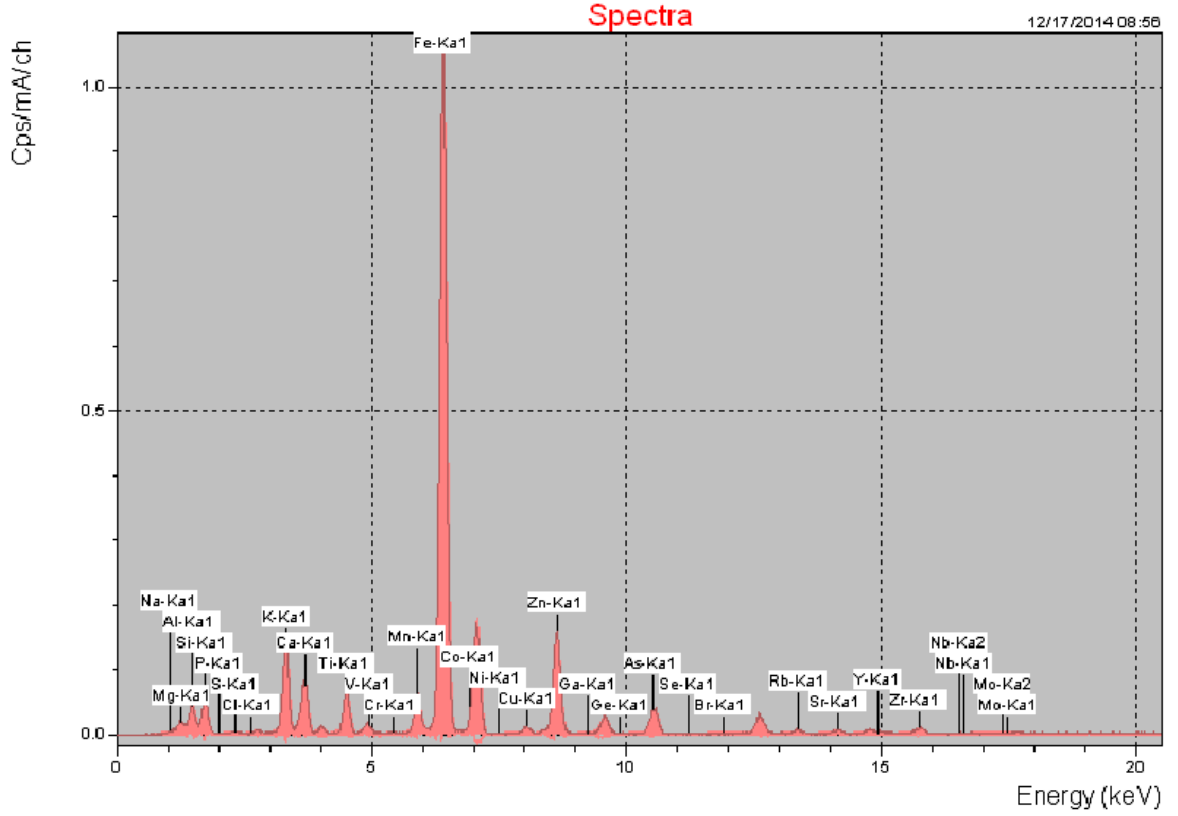
2.9. İstatistiksel Analiz

Yapılan analiz çalışmaları sonucunda sediment örneklerinden % ve ppm düzeyindeki element konsantrasyon değerleri ve bu değerler arasındaki Pearson Correlation ilişkileri SPSS programı ile hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Element Analizleri

ED-XRF analizleri sonucunda 16 farklı noktadan toplanan sediment örneklerinde % miktarda Mg, Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti ve Fe ile ppm miktarda V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Zr, Ba, Pb elementleri tespit edilmiştir. Şekil 3.1’de EDXRF cihazından alınan örnek bir verilmiştir. Örneklerde tespit edilen toplam 22 element Tablo 3.1 ve 3.2 ‘de verilmiştir. Şekil 3.2.’de Al-Si elementlerinin karşılaştırılması, Şekil 3.3.’de ise Mg-S-Cl-K-Ca-Ti-Fe elementlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.1. Sediment numunesine ait x-ışını spektrum örneği

Tablo 3.1.Sediment numunelerinin element konsantrasyonları (%)

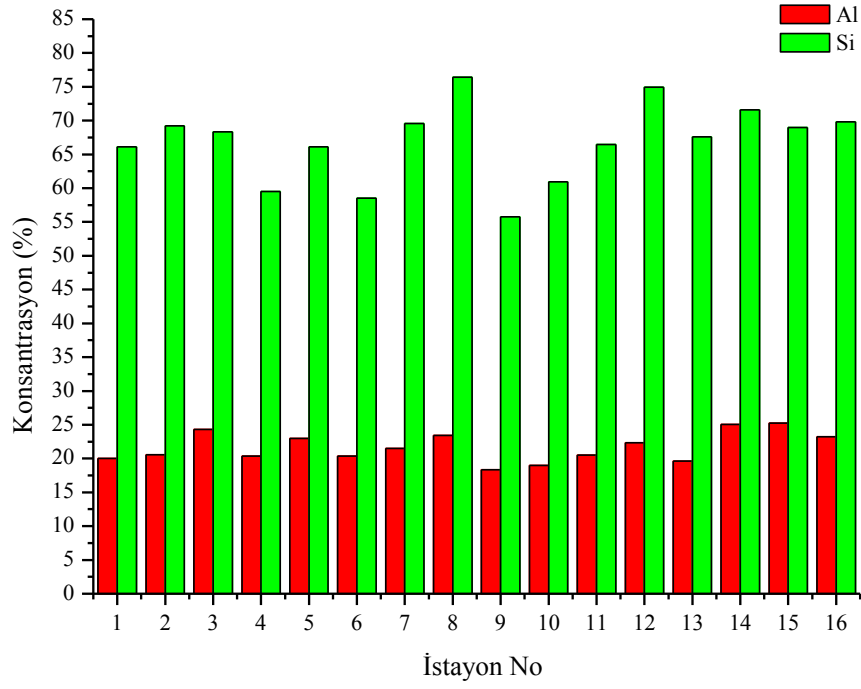
No	%								
	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
1	5,049	20,026	66,129	0,198	0,750	1,526	5,128	0,534	4,244
2	8,039	20,542	69,220	0,127	0,556	1,542	5,826	0,613	4,624
3	3,957	24,284	68,312	0,325	0,751	1,706	3,189	0,568	4,968
4	3,388	20,384	59,532	0,177	0,541	1,890	2,491	0,500	4,570
5	3,674	22,997	66,116	0,992	0,706	2,049	4,428	0,413	3,828
6	3,114	20,378	58,513	0,407	0,903	1,687	7,866	0,390	3,434
7	3,288	21,494	69,592	0,235	0,686	1,573	1,986	0,392	3,595
8	4,901	23,436	76,431	0,295	0,716	1,583	2,488	0,468	4,179
9	5,618	18,327	55,755	0,174	0,858	1,566	3,232	0,494	5,239
10	5,804	18,994	60,948	0,217	1,031	1,515	3,235	0,506	5,437
11	4,093	20,515	66,468	0,266	0,684	1,390	3,605	0,462	4,207
12	4,096	22,354	74,948	0,045	0,549	1,548	1,456	0,427	4,270
13	3,212	19,616	67,593	4,466	0,728	1,097	1,388	0,344	6,004
14	3,775	25,031	71,609	0,204	0,908	1,338	1,610	0,498	4,636
15	4,139	25,260	68,971	0,203	0,741	0,840	1,210	0,507	5,196
16	4,136	23,231	69,804	0,319	0,889	1,121	2,340	0,501	5,109

Tablo 3.2.Sediment numunelerinin element konsantrasyonları (ppm)

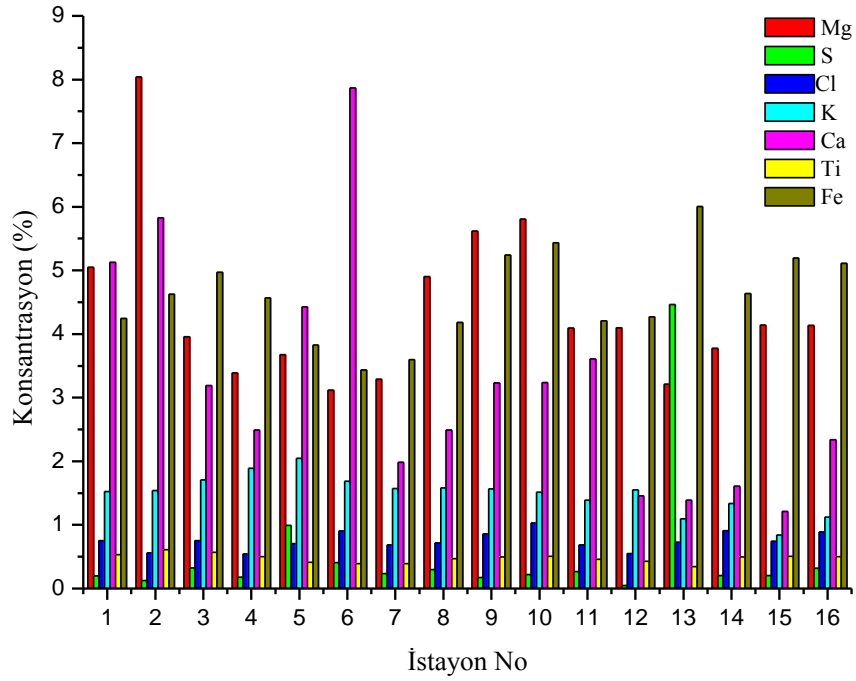
No	ppm*												
	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Br	Rb	Sr	Zr	Ba	Pb
1	244	197	664	87	76	83	8	38	45	217	142	300	33
2	250	306	718	171	49	61	13	17	42	212	139	241	14
3	386	42	548	10	66	75	4	20	40	311	109	376	43
4	325	19	519	8	57	54	1	17	46	301	127	476	16
5	256	48	362	22	65	92	9	42	63	290	132	408	47
6	240	40	326	18	66	93	8	52	49	346	115	589	44
7	212	31	409	16	75	109	9	44	42	153	126	380	45
8	244	72	519	33	84	158	6	44	38	195	132	560	83
9	299	183	538	81	86	73	5	42	39	281	88	324	42
10	297	189	527	ND	82	74	6	58	36	264	92	293	29
11	227	52	697	16	55	96	7	22	30	236	138	328	33
12	212	41	820	23	53	80	11	17	43	121	121	271	31
13	193	36	467	8	635	456	86	22	21	102	91	252	ND
14	245	28	522	15	68	101	5	50	34	148	141	280	26
15	244	42	813	17	62	78	3	41	15	120	122	137	13
16	289	71	597	25	86	75	8	42	23	210	111	228	18

*ppm= $\mu\text{g/g}$ =mg/kg

ND= Tespit edilmedi



Şekil 3.2. İstasyonlara göre Al-Si konsantrasyon karşılaştırma



Şekil 3.3. İstasyonlara göre Mg-S-Cl-K-Ca-Ti-Fe konsantrasyon karşılaştırma

Tablo 3.3.Sedimentlerin element konsantrasyonları için korelasyon ilişkisi (Mg-Ni arası)

	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	V	Cr	Mn	Ni
Mg	1	-,351 ,200	-,133 ,637	-,325 ,237	,042 ,881	,044 ,877	,665** ,007	,672** ,006	,113 ,689	,099 ,726	,946** ,000	,341 ,213	,832** ,000
Al	-,351 ,200	1	,664** ,007	-,221 ,429	-,004 ,990	-,207 ,458	-,377 ,165	,098 ,729	-,205 ,464	,069 ,807	-,528* ,043	,130 ,645	-,306 ,268
Si	-,133 ,637	,664** ,007	1	,000 ,999	-,250 ,368	-,247 ,375	-,273 ,324	-,133 ,637	-,329 ,231	-,443 ,098	-,293 ,290	,253 ,363	-,057 ,840
S	-,325 ,237	-,221 ,429	,000 ,999	1	-,007 ,981	-,266 ,339	-,248 ,372	-,604* ,017	,502 ,057	-,358 ,190	-,218 ,435	-,340 ,215	-,206 ,461
Cl	,042 ,881	-,004 ,990	-,250 ,368	-,007 ,981	1	-,302 ,273	-,125 ,658	,065 ,818	,447 ,095	,230 ,410	,112 ,690	-,278 ,315	-,273 ,324
K	,044 ,877	-,207 ,458	-,247 ,375	-,266 ,339	-,302 ,273	1	,481 ,069	,055 ,846	-,555* ,032	,362 ,184	,070 ,803	-,467 ,080	,087 ,759
Ca	,665** ,007	-,377 ,165	-,273 ,324	-,248 ,372	-,125 ,658	,481 ,069	1	,537* ,039	-,274 ,323	,197 ,481	,746** ,001	,001 ,998	,713** ,003
Ti	,672** ,006	,098 ,729	-,133 ,637	-,604* ,017	,065 ,818	,055 ,846	,537* ,039	1	,082 ,772	,596* ,019	,596* ,019	,412 ,127	,558* ,031
Fe	,113 ,689	-,205 ,464	-,329 ,231	,502 ,057	,447 ,095	-,555* ,032	-,274 ,323	,082 ,772	1	,223 ,425	,138 ,625	,096 ,735	-,090 ,749
V	,099 ,726	,069 ,807	-,443 ,098	-,358 ,190	,230 ,410	,362 ,184	,197 ,481	,596* ,019	,223 ,425	1	,073 ,795	-,152 ,588	-,073 ,796
Cr	,946** ,000	-,528* ,043	-,293 ,290	-,218 ,435	,112 ,690	,070 ,803	,746** ,001	,596* ,019	,138 ,625	,073 ,795	1	,232 ,405	,844** ,000
Mn	,341 ,213	,130 ,645	,253 ,363	-,340 ,215	-,278 ,315	-,467 ,080	,001 ,998	,412 ,127	,096 ,735	-,152 ,588	,232 ,405	1	,309 ,263
Ni	,832** ,000	-,306 ,268	-,057 ,840	-,206 ,461	-,273 ,324	,087 ,759	,713** ,003	,558* ,031	-,090 ,749	-,073 ,796	,844** ,000	,309 ,263	1
Cu	-,278 ,316	-,279 ,313	-,006 ,982	,979** ,000	,039 ,891	-,362 ,185	-,312 ,258	-,567* ,028	,582* ,023	-,363 ,183	-,168 ,549	-,270 ,330	-,182 ,517
Zn	-,319 ,246	-,182 ,516	,153 ,586	,959** ,000	-,001 ,997	-,343 ,210	-,347 ,205	-,637* ,011	,447 ,095	-,467 ,080	-,244 ,381	-,296 ,285	-,218 ,434
Ga	-,142 ,614	,540* ,038	,279 ,315	-,515* ,050	-,247 ,374	-,148 ,597	-,188 ,501	,214 ,443	-,359 ,189	-,094 ,740	-,280 ,313	,475 ,073	-,097 ,732
As	-,211 ,451	-,289 ,295	,068 ,809	,972** ,000	-,062 ,826	-,337 ,220	-,236 ,397	-,562* ,029	,508 ,053	-,450 ,092	-,109 ,700	-,205 ,463	-,086 ,759

Tablo3.3.'ün devamı

	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	V	Cr	Mn	Ni
Br	,018	,120	-,079	-,201	,800**	-,139	-,116	-,079	,001	-,036	,067	-,364	-,214
	,949	,669	,779	,472	,000	,622	,680	,780	,997	,898	,812	,182	,444
Rb	,099	-,158	-,147	-,285	-,310	,949*	,546*	,035	-,649**	,179	,155	-,390	,211
	,725	,573	,601	,303	,261	,000	,035	,902	,009	,523	,581	,151	,451
Y	-,094	,598*	,380	-,228	-,053	-,633*	-,337	,173	,016	-,290	-,211	,640*	-,069
	,739	,019	,162	,414	,851	,011	,219	,538	,955	,295	,450	,010	,807
Zr	,031	,391	,462	-,415	-,456	,201	,321	,227	-,753**	-,277	-,033	,214	,263
	,914	,149	,083	,124	,087	,472	,243	,416	,001	,317	,907	,444	,343
Ba	-,183	-,058	-,006	-,129	-,228	,734*	,118	-,142	-,494	,242	-,223	-,561*	-,178
	,513	,839	,982	,647	,413	,002	,675	,614	,061	,385	,424	,030	,527
Ce	,280	,006	-,115	-,624*	-,177	,561*	,490	,403	-,587*	,172	,235	,085	,206
	,311	,984	,683	,013	,527	,030	,064	,136	,021	,539	,400	,764	,462
Pb	,016	,172	,247	-,380	,050	,487	,130	-,048	-,567*	,105	-,066	-,306	-,061
	,955	,540	,375	,162	,860	,066	,643	,864	,027	,710	,815	,267	,830

Tablo 3.4. Sedimentlerin element konsantrasyonları için korelasyon ilişkisi (Cu-Pb arası)

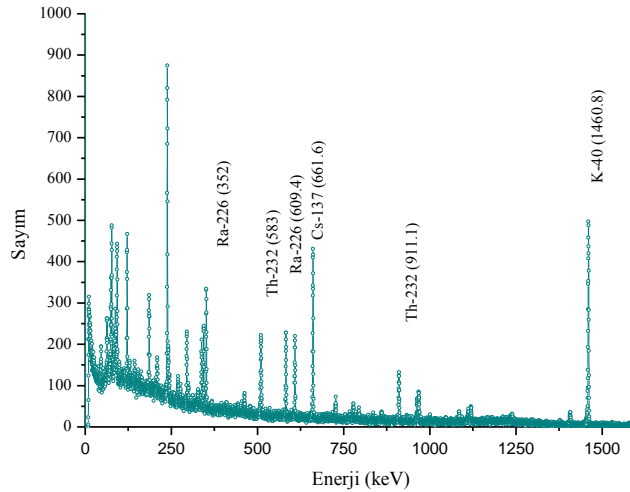
	Cu	Zn	Ga	As	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Ce	Pb
Mg	-,278 ,316	-,319 ,246	-,142 ,614	-,211 ,451	,018 ,949	,099 ,725	,197 ,482	-,094 ,739	,031 ,914	-,183 ,513	,280 ,311	,016 ,955
Al	-,279 ,313	-,182 ,516	,540* ,038	-,289 ,295	,120 ,669	-,158 ,573	-,259 ,351	,598* ,019	,391 ,149	-,058 ,839	,006 ,984	,172 ,540
Si	-,006 ,982	,153 ,586	,279 ,315	,068 ,809	-,079 ,779	-,147 ,601	-,615* ,015	,380 ,162	,462 ,083	-,006 ,982	-,115 ,683	,247 ,375
S	,979** ,000	,959** ,000	-,515* ,050	,972** ,000	-,201 ,472	-,285 ,303	-,351 ,199	-,228 ,414	-,415 ,124	-,129 ,647	-,624* ,013	-,380 ,162
Cl	,039 ,891	-,001 ,997	-,247 ,374	-,062 ,826	,800** ,000	-,310 ,261	,102 ,717	-,053 ,851	-,456 ,087	-,228 ,413	-,177 ,527	,050 ,860
K	-,362 ,185	-,343 ,210	-,148 ,597	-,337 ,220	-,139 ,622	,949** ,000	,693** ,004	-,633* ,011	,201 ,472	,734** ,002	,561* ,030	,487 ,066
Ca	-,312 ,258	-,347 ,205	-,188 ,501	-,236 ,397	-,116 ,680	,546* ,035	,571* ,026	-,337 ,219	,321 ,243	,118 ,675	,490 ,064	,130 ,643
Ti	-,567* ,028	-,637* ,011	,214 ,443	-,562* ,029	-,079 ,780	,035 ,902	,434 ,106	,173 ,538	,227 ,416	-,142 ,614	,403 ,136	-,048 ,864
Fe	,582* ,023	,447 ,095	-,359 ,189	,508 ,053	,001 ,997	-,649** ,009	-,102 ,719	,016 ,955	-,753** ,001	-,494 ,061	-,587* ,021	-,567* ,027
V	-,363 ,183	-,467 ,080	-,094 ,740	-,450 ,092	-,036 ,898	,179 ,523	,794** ,000	-,290 ,295	-,277 ,317	,242 ,385	,172 ,539	,105 ,710
Cr	-,168 ,549	-,244 ,381	-,280 ,313	-,109 ,700	,067 ,812	,155 ,581	,232 ,406	-,211 ,450	-,033 ,907	-,223 ,424	,235 ,400	-,066 ,815
Mn	-,270 ,330	-,296 ,285	,475 ,073	-,205 ,463	-,364 ,182	-,390 ,151	-,331 ,228	,640* ,010	,214 ,444	-,561* ,030	,085 ,764	-,306 ,267
Ni	-,182 ,517	-,218 ,434	-,097 ,732	-,086 ,759	-,214 ,444	,211 ,451	,078 ,782	-,069 ,807	,263 ,343	-,178 ,527	,206 ,462	-,061 ,830
Cu	1 ,000	,973** ,000	-,543* ,036	,983** ,000	-,187 ,505	-,392 ,149	-,419 ,121	-,217 ,436	-,480 ,070	-,173 ,537	-,671** ,006	-,408 ,131
Zn	,973** ,000	1 ,000	-,522* ,046	,960** ,000	-,148 ,600	-,368 ,178	-,489 ,064	-,196 ,483	-,361 ,186	-,058 ,838	-,606* ,017	-,244 ,380
Ga	-,543* ,036	-,522* ,046	1 ,000	-,489 ,064	-,121 ,667	-,078 ,781	-,222 ,427	,788** ,000	,565* ,028	-,322 ,242	,353 ,197	-,234 ,401
As	,983** ,000	,960** ,000	-,489 ,064	1 ,000	-,268 ,334	-,336 ,221	-,465 ,081	-,198 ,480	-,401 ,138	-,219 ,434	-,644** ,009	-,435 ,105

Tablo3.4.'ün devamı

	Cu	Zn	Ga	As	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Ba	Ce	Pb
Br	-,187 ,505	-,148 ,600	-,121 ,667	-,268 ,334	1	-,057 ,839	-,023 ,935	,036 ,899	-,130 ,645	-,010 ,971	,045 ,873	,330 ,230
Rb	-,392 ,149	-,368 ,178	-,078 ,781	-,336 ,221	-,057 ,839	1	,544* ,036	-,514* ,050	,322 ,241	,584* ,022	,583* ,023	,455 ,088
Y	-,217 ,436	-,196 ,483	,788** ,000	-,198 ,480	,036 ,899	-,514* ,050	-,548* ,034	1	,409 ,130	-,605* ,017	,041 ,884	-,385 ,157
Zr	-,480 ,070	-,361 ,186	,565* ,028	-,401 ,138	-,130 ,645	,322 ,241	-,088 ,754	,409 ,130	1	,187 ,504	,550* ,034	,194 ,488
Ba	-,173 ,537	-,058 ,838	-,322 ,242	-,219 ,434	-,010 ,971	,584* ,022	,479 ,071	-,605* ,017	,187 ,504	1	,356 ,192	,735** ,002
Ce	-,671** ,006	-,606* ,017	,353 ,197	-,644** ,009	,045 ,873	,583* ,023	,417 ,122	,041 ,884	,550* ,034	,356 ,192	1	,429 ,111
Pb	-,408 ,131	-,244 ,380	-,234 ,401	-,435 ,105	,330 ,230	,455 ,088	,287 ,300	-,385 ,157	,194 ,488	,735** ,002	,429 ,111	1

3.2.Radyoaktivite Analizleri

Toprak örneklerinde Gama spektroskopisi ölçüm sonuçlarında ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonları kilogram başına becquerel biriminde belirlenerek Tablo 3.5'de verilmiştir. Örneklere ait bir spektrum Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil3.4. Sediment numunesine ait gama spektrum örneği

Tablo 3.5. Toprak örneklerindeki ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs ve ^{40}K aktiflik konsantrasyonları

No	^{232}Th (Bq/Kg)	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{137}Cs (Bq/Kg)	^{40}K (Bq/Kg)
1	29,76±0,97	19,89±0,55	62,84±0,79	570,18±8,44
2	31,15±1,00	23,10±0,54	14,94±0,38	642,48±9,16
3	18,27±0,57	11,39±0,30	22,89±0,37	331,24±5,14
4	24,04±0,92	13,71±0,48	76,85±0,95	465,93±7,95
5	18,03±0,64	10,03±0,33	40,28±0,57	454,24±6,66
6	14,91±0,55	10,11±0,29	6,24 ±0,19	414,04±5,72
7	22,53±0,76	18,43±0,46	25,82±0,45	364,64±5,81
8	18,17±0,76	15,96±0,49	14,82±0,38	381,63±7,02
9	20,00±0,75	15,39±0,43	37,96±0,56	368,42±6,26
10	16,45±0,75	13,80±0,44	45,20±0,68	411,20±7,05
11	20,34±0,84	14,54±0,49	62,43±0,84	449,60±7,76
12	16,58±0,40	9,52±0,15	16,16±0,23	342,28±3,39
13	25,97±0,61	14,49±0,25	63,37±0,60	392,77±4,59
14	7,94±0,27	6,18±0,12	14,33±0,22	257,56±3,27
15	9,26±0,25	7,57±0,11	32,54±0,32	231,22±2,60
16	11,58± 0,42	8,35± 0,16	64,50± 0,58	309,54± 3,62

3.3. Jeobirikim ve Zenginleştirme Faktörü

Denklem (2.4) ve (2.5) den elde edilen jeobirikim ve zenginleştirme faktörü ifadeleri sırasıyla Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.6. Sedimentlerdeki Jeobirikim indeksi (I_{geo})

No	I_{geo} değeri															
	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Mn	Cu	As	Cr	Ni	Zn	Pb
1	0,7	0,7	0,7	2,3	5,3	-1,3	-0,1	-0,3	-0,8	-1,1	-0,1	1,6	0,4	-0,4	-0,3	0,8
2	1,4	0,8	0,7	1,7	4,8	-1,3	0,1	-0,1	-0,7	-1,0	-0,8	2,3	1,0	0,6	-0,8	-0,5
3	0,3	1,0	0,7	3,1	5,3	-1,2	-0,8	-0,2	-0,6	-1,4	-0,3	0,6	-1,8	-3,5	-0,5	1,1
4	0,1	0,7	0,5	2,2	4,8	-1,0	-1,1	-0,4	-0,7	-1,5	-0,5	-1,4	-3,0	-3,8	-1,0	-0,3
5	0,2	0,9	0,7	4,7	5,2	-0,9	-0,3	-0,7	-1,0	-2,0	-0,3	1,7	-1,6	-2,4	-0,2	1,3
6	0,0	0,7	0,5	3,4	5,5	-1,2	0,5	-0,8	-1,1	-2,1	-0,3	1,6	-1,9	-2,6	-0,2	1,2
7	0,1	0,8	0,7	2,6	5,1	-1,3	-1,5	-0,8	-1,1	-1,8	-0,1	1,7	-2,3	-2,8	0,1	1,2
8	0,6	0,9	0,9	2,9	5,2	-1,3	-1,1	-0,5	-0,8	-1,5	0,0	1,2	-1,1	-1,8	0,6	2,1
9	0,8	0,6	0,4	2,2	5,5	-1,3	-0,8	-0,4	-0,5	-1,4	0,1	0,9	0,3	-0,5	-0,5	1,1
10	0,9	0,6	0,6	2,5	5,7	-1,4	-0,8	-0,4	-0,5	-1,4	0,0	1,2	0,3	-	-0,5	0,6
11	0,4	0,8	0,7	2,8	5,1	-1,5	-0,6	-0,5	-0,8	-1,0	-0,6	1,4	-1,5	-2,8	-0,1	0,8
12	0,4	0,9	0,9	0,2	4,8	-1,3	-1,9	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	2,0	-1,9	-2,3	-0,4	0,7
13	0,0	0,7	0,7	6,8	5,2	-1,8	-2,0	-0,9	-0,3	-1,6	2,9	5,0	-2,1	-3,8	2,1	-
14	0,3	1,0	0,8	2,4	5,5	-1,5	-1,8	-0,4	-0,7	-1,4	-0,3	0,9	-2,4	-2,9	-0,1	0,4
15	0,4	1,1	0,7	2,4	5,2	-2,2	-2,2	-0,4	-0,5	-0,8	-0,4	0,2	-1,8	-2,7	-0,4	-0,6
16	0,4	0,9	0,7	3,0	5,5	-1,8	-1,2	-0,4	-0,6	-1,3	0,1	1,6	-1,1	-2,2	-0,5	-0,1

Tablo 3.7.Sedimentlerdeki bazı metaller için zenginleştirme faktörü(*EF*)

No	<i>EF</i>								
	Mn	Cu	Al	As	S	Cr	Ni	Zn	Pb
1	0,82	1,63	2,9	5,24	8,99	2,32	1,37	1,4	2,99
2	0,82	0,96	2,73	7,81	5,26	3,31	2,47	0,94	1,16
3	0,58	1,21	3,01	2,24	12,61	0,42	0,13	1,08	3,33
4	0,61	1,13	2,74	0,61	7,46	0,21	0,12	0,84	1,35
5	0,57	1,54	3,69	6,53	49,82	0,63	0,38	1,72	4,72
6	0,53	1,75	3,65	6,47	22,80	0,58	0,35	1,93	4,93
7	0,60	1,91	3,68	6,95	12,63	0,43	0,33	2,17	4,81
8	0,65	1,83	3,45	3,99	13,64	0,86	0,53	2,7	7,64
9	0,54	1,49	2,15	2,65	6,37	1,75	1,03	1	3,08
10	0,51	1,37	2,15	3,07	7,68	1,74	-	0,97	2,05
11	0,87	1,19	3,00	4,62	12,16	0,62	0,25	1,63	3,02
12	1,01	1,13	3,22	7,16	2,03	0,48	0,36	1,34	2,79
13	0,41	9,61	2,01	39,8	143,05	0,31	0,09	5,42	-
14	0,59	1,33	3,32	3,01	8,46	0,32	0,22	1,56	2,16
15	0,82	1,08	2,99	1,6	7,51	0,4	0,22	1,07	0,96
16	0,62	1,53	2,8	4,35	12,01	0,69	0,33	1,05	1,36
ORT	0,65	1,92	2,97	6,62	20,8	0,94	0,54	1,68	3,09

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nde denizden 16 farklı noktadan alınan sediment örnekleri için ağır metal ve radyoaktivite analizleri yapılmıştır. Analizler Epsilon5, PANalytical EDXRF cihazı ile Ortec, HPGe yarıiletken Gama dedektörü ile yapılmıştır.

Literatür incelemelerinde özellikle sediment örneklerinde element analizlerinde EDXRF, ICP ve AAS yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ölçüm hazırlık aşaması bakımından kolay ve tekrarlanabilir olması XRF tabanlı spektrometrelerin tercihini arttırmıştır.

SPSS programı ile yapılan Pearson korelasyon analizi sonucunda Ti-Ca, V-Ti, Cr-Ti, Ni-Ti, Cu-Fe, Ga-Al, Rb-Ca, Sr-Ca, Y-Ai, Zr-Ga, Ba-Rb, Ce-K, Ce-Rb ve Ce-Zr elementleri arasında zayıf düzeyli pozitif yönlü doğrusal bir ilişki; Si-Al, Ca-Mg, Ti-Mg, Ti-S, Cr-Ca, Ni-Ca, Sr-K, Sr-V, Y-Mn, Y-Ga, Ba-K ve Pb-Ba elementleri arasında orta düzeyli pozitif yönlü doğrusal bir ilişki; Cr-Mg, Ni-Mg, Ni-Cr, Cu-S, Zn-S, Zn-Cu, As-S, As-Cu, As-Zn, Br-Cl ve Rb-K elementleri arasında yüksek düzeyli pozitif yönlü doğrusal bir ilişki; Fe-K, Cr-Al, Cu-Ti, Ga-S, Ga-Cu, Ga-Zn, As-Ti, Y-Rb, Y-Sr, Ba-Mn, Ce-Fe ve Pb-Fe elementleri arasında zayıf düzeyli negatif yönlü doğrusal bir ilişki ve Zn-Ti, Rb-Fe, Sr-Si, Y-K, Zr-Fe, Ba-Y, Ce-S, Ce-Cu, Ce-Zn ve Ce-As elementleri arasında orta düzeyli negatif yönlü doğrusal bir ilişkinin olduğu istatistiksel olarak elde edilmiştir.

Sediment örneklerinde özellikle 13 nolu (Trabzon-Sürmene-Çamburnu) numuneden S/Fe/Cu/Zn/As miktarları standartların oldukça üstünde bulunmuştur. S elementi için EF ve I_{geo} derecesi çok fazla olarak tespit edilmiştir. As elementi için EF ve I_{geo} derecesi çok şiddetli olarak belirlenmiştir. Cu ve Zn elementleri ise EF ve I_{geo} derecesi bakımından orta şiddetli olarak sınıflandırılabilir. Bölgenin tersane işletmeciliğinin yanı sıra CuZnPb maden işletmelerinin (URL-5) mevcut olması metal konsantrasyon değerlerini etkilemektedir. Diğer noktalarda bu tip uç değerlere rastlanılmamıştır. Genel de düşük düzeyde veya kirletici yok durumu mevcuttur.

Bugün çevresel radyasyon ölçümlerindeki temel amaç, insanların çevresel kaynaklardan aldıkları radyasyon türü ile dozunun belirlenmesi ve oluşturacağı riskin değerlendirilmesi amaçlıdır. Bunun için de, doğal radyasyon kaynaklarını oluşturan radyonüklidlerin çevresel ortamdaki konsantrasyonları ile radyasyonun özellikle insanda

olmak üzere, biyolojik sistemler üzerindeki tesirinin tayin edilmesi gerekir. Bizim çalışmamızda özellikle deniz ekolojisini etkileyecek ve dolaylı yoldan insan üzerine etkisinde gözlenebileceği radioaktivite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ^{232}Th miktarı ~8-31 Bq/kg arasında, ^{226}Ra miktarı ~6-23Bq/kg arasında, ^{137}Cs miktarı ~6-74 Bq/kg arasında ve ^{40}K miktarı ise ~231-642Bq/kg arasında değişmektedir. UNSCEAR'ın verilerine göre dünyadaki sedimen örneklerinde ^{40}K konsantrasyonu 373Bq/kg, ^{226}Ra konsantrasyonu 25Bq/kg ve ^{232}Th konsantrasyonu 25 Bq/kg olarak bildirilmiştir (UNSCEAR, 1988;1993). ^{137}Cs konsantrasyonu için bölgede yapılan bir çalışmada 0.8-41 Bq/kg arası bir değer ölçülmüştür (Kurnaz vd., 2007). Yine Karadeniz kıyılarından 2002-2003 yıllarında mevsimsel olarak toplanan dip sedimenti örneklerinde ^{137}Cs konsantrasyonu 40-100 Bq/kg, ^{232}Th konsantrasyonu 40-90 Bq/kg ve ^{40}K konsantrasyonu 430-910Bq/kg aralıklarında tespit edilmiştir (Ergül, vd., 2006).

5. ÖNERİLER

Çalışma ile ilgili olarak deniz ürünlerinde ve daha fazla örnekleme noktası belirlenmek suretiyle bölgeye ait geniş bir veri oluşturulabilir. Ayrıca farklı spektroskopi yöntemleri yardımıyla ölçümler alarak karşılaştırmalı sonuçlar ortaya konulabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abraham, GM., ve Parker, RJ., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environ Monit Assess., 136, 1-3, 227-238.
- Akyüz, T., Akyüz, S., ve Basari, A., 2001. Radioisotope excited EDXRF analysis of sediment core samples from the southern part of the Black Sea, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 250, 129-137.
- Akyüz, T., Akyüz, S., Mukhamedshina, N.M., ve Mirsagatova, A. A. 2003. "Energy Dispersive X-ray Fluorescence and Neutron Activation Analyses of Sediments From The Turkish Coast of The Black Sea", Fresenius Environmental Bulletin, 12, 1505-1510.
- Al-haidarey, M. J. S., Hassan, F. M., Al-kubaisey, A. R. A., ve Douabul, A. A. Z., 2010. The geoaccumulation index of some heavy metals in Al-Hawizeh Marsh, Iraq, E. Journal of Chemistry, 7, 157-162.
- Apaydın, G., Aylıkçı, V., Cengiz, E., Saydam, M., Küp, N. ve Tıraşoğlu E., 2010. Analysis of Metal Contents of Seaweed (*Ulva Lactuca*) from Istanbul, Turkey by EDXRF, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10, 215-220.
- Apaydın, G., 2006. 65≤Z≤92 Bölgesinde Bazı Elementlerin K ve L X-ışını Floresans Parametrelerinin Ölçülmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aslan A., Budak G., Tıraşoğlu E., Karabulut A., Karagöz Y., Apaydın G., Ertuğral B., ve Çevik U., 2004. Analysis of elements in some lichens by radioisotope x-ray fluorescence spectrometry, Fresenius Environmental Bulletin, 13,8, 740-747.
- Aslan, A.,G. Apaydın, K. Yazıcı, E. Cengiz, V. Aylıkçı ve E. Tıraşoğlu, 2010. Analysis of Trace Element Concentrations of Some Lichens of Turkey, Asian J. Chem.,22, 1, 389-400.
- Aydın. M. F., 2009. İnsan Dışının Sistematik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Balkıs, N., Topçuoğlu, S., Güven, K.C., Öztürk, B., Topaloğlu, B., Kırbaşoğlu, Ç., ve Aksu, A., 2007. Heavy Metals in Shallow Sediments from the Black Sea, Marmara Sea and Aegean Sea Regions of Turkey, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 13, 147-153.
- Baltaş, H., 2006. YBaCuO ve BiPbSrCaCuO Süperiletkenlerinin Soğurma Katsayılarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Baranowski, R., Rybak, A., Sobczyski, T. 2001. X-ray Fluorescence Spectrometry in Speciation Analysis of Bottom Sediments. Polish Journal of Environmental Studies, 10, 297-306.
- Brouwer, 2003. Theory of XRF, PANalytical B.V., P.71.
- Canbazoglu, C. ve Dogru, M., 2003.Maden İlçesinde (Elazığ) Çevresel Gama Radyasyon Dozu Ölçümleri, VIII Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 15-17 Ekim , Erciyes.
- Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F., ve Dong, C. D., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan, Chemosphere, 66(8), 1431–1440.
- Çevik, U., 1994. Dogu Karadeniz Dip Tortularının X - ışını Floresans Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çevik, U., Kopya Aİ, Karal H, ve Sahin Y.,1995. Quantitative analysis of sea-bed sediments from Eastern Black Sea by EDXRF spectrometry, J Radional Nucl Chem Lett, 201, 241–249.
- Çevik, U., Ergen E., Budak G., Karabulut A., Tiraşoglu E., Apaydın G.ve Kopya Aİ, 2003. Elemental analysis of Akçaabat tobacco and its ash by EDXRF spectrometry, Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer, 78, 409-415.
- Çevik, F., Göksu, M. Z. L., Dericı, O. B. ve Fındık, Ö., 2009. An Assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses, Environ. Monit. Assess, 152, 309-317.
- Damla, N., 2009. Türkiye'deki Bazı. İnşaat Malzemelerinde Doğal Radyoaktiflik. Seviyelerinin ve Kütle Soğurma Katsayılarının. Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Debertin, K. ve Helmer, R. G., 1988. Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Dedectors, Elsevier Science Publishes, New York, U.S.A., 1-100.
- Ekinci, N. 2000. X-Işını Spektrometresi ile Mukayeseli Kalınlık Tayini, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ekinci, N., Ekinci R., Polat, R. ve Budak G., 2005. The determination of calcium concentrations in human milk with energy dispersive X-ray fluorescence. Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer,91, 155-160.

- Ergül, H. A., Topcuoğlu, S., Ölmez, E., ve Kırbasoğlu Ç., 2006. Radionuclides in a sediment trap and bottom sediment samples from the eastern Turkish coast of the Black Sea, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 268, No.1, 133–136
- Ferrero, J.L., Roldan, C., Juanes, D., Rollano, E. ve Morero, C., 2002. Analysis of pigments from Spanish works of art using a portable EDXRF spectrometer, X-ray Spectrometry, 31, 441-447.
- Hasan, B. A., Kabir, S., Selim, R. A. H. M., Zaman, M. N., Ahsan, A. ve Rashid, M., 2013. Enrichment factor and geo-accumulation index of trace metals in sediments of the ship breaking area of Sitakund Upazilla (Bhatiary–Kumira), Chittagong, Bangladesh, Journal of Geochemical Exploration, 125, 130-137.
- Jenkins, R. ve De Vries, J.L., 1969. Practical X-ray spectrometry, Philips Technical Library, Springer-Verlag New York Inc.
- Karabulut, A., Budak, G., Polat, R., Gürol, A., Levent, M., ve Şahin, Y., 2002 EDXRF analysis of Murgul pyrite ore concentrates. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 72, 741-746.
- Khaled, A., Elnemr, ve A., Elsıkaily, A., 2006. An assessment of heavy-metal contamination in surface sediments of the Suez Gulf using geoaccumulation indexes and statistical analysis, Chemistry and Ecology, 22, 239–252.
- Koby M., Ertuğrul M., Doğan O. ve Şimşek Ö., 1996. Analysis of titanium and zirconium in red mud with energy dispersive X-ray spectrometry. Instrum Sci Technol 24, 272–282.
- Krane, Kenneth S. 2001. Nükleer Fizik I&II, (Çeviri editörü: Başar Şarer), Palme Yayıncılık, Ankara.
- Krauskopf, K.B ve Bird, D.K., 1995. Introduction to Geochemistry, McGraw-Hill.
- Kurnaz. A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumuşoğlu, N.T., Korkmaz, F., Karahan, G. ve Çevik, U., 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey), Applied Radiation and Isotopes 65, 1281–1289.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D., ve Kwapulinski, J., 1997. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Bybnik water reservoir in Poland, Water, Air and Soil Pollution, 93, 347–365.
- Manso, M., Corsta, M. ve Carvalho, M. L., 2007. From Papyrus to Paper: Elemental Characterization by X-ray Fluorescence Spectrometry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 580, 732-734.

- Obiajunwa, E.I., 2001, Analysis of some Migerian solid mineral ores by energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 184, 427-440.
- Özdemir, T., Batan,N., Mendil, D.,Apaydın,G. ve Cengiz, E. 2013. Some Element Levels in Moss Samples Collected from the Iğdir-Nahhicevan International Highway, Turkey, Asian J. Chem., 25, 6741-6744.
- Salomans, W., Rooij, N. M., Kerdijk, H. ve Bril, J. 1987. Sediments as a Source for Contaminants, Hydrobiologia, 149, 13-30.
- Singhal, R. K., Venkatesh, M, Wagh, D. N., Basu, H., Chavan, T., Pimple, M.V., Reddy, A.V.R., 2012. Determination of chronological heavy metal deposition and pollution intensity in the bottom sediments of Mumbai Harbour Bay, India using ¹³⁷Cs as tracer , J. Radioanal Nucl. Chem., 292, 863-869.
- Somogyi, A., Braun, M., Toth, A., Wills, K. J.1998.Speciation of Elements in Lake Sediments Investigated Using X-Ray Fluorescence and Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, X-Ray Spectrometry, 27, 283-287.
- Söğüt, Ö., Bali, T., Baltaş,H. ve Apaydın,G.2013. Determination of Trace Elements in Ashes of Milk Samples by Using XRF Technique, Asian J. Chem., 25, 4385-4388.
- Stewart, J.H. ve Brooksbank, R.D., 1982, The determination of ultratrace concentrations of uranium and thorium in natural waters by X-ray Fluorescence, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 93, 315-318.
- Şirin, M., 2012. ZnO İnce Film Örneklerinde Optik ve XRF Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Rize Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Topçuoğlu, S., Ergül, H.A., Baysal, A., Ölmez, E. ve Kut, D., 2003. Determination of Radionuclide and Heavy Metal Concentrations in Biota and Sediment Samples from Pazar and Rize Stations in the Eastern Black Sea, Fresenius Environmental Bulletin, 12, 695-699.
- Topçuoğlu, S., Ergül, H.A., Belivermiş, M. ve Kılıç, Ö., 2010. Monitoring of Radionuclide Concentrations in Marine Algae, Mussel and Sediment Samples From the Turkish Marine Environment During the Period of 2001-2009, J.Black Sea/Mediterranean Environment, 16, 285-293.
- Tıraşoğlu E., Çevik U., Ertuğral B., Apaydın G., Baltaş H., ve Ertuğrul M., 2005. Determination of trace elements in cole (Brassica oleraceae var. acephale) at Trabzon region in Turkey, Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer, 94, 181-187.

- Tıraşoğlu, E., Söğüt, Ö., Apaydın, G., Aylıkçı, V.ve Damla, N., 2006. Elemental concentration analysis in some plant samples by EDXRF at Trabzon, Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer, 102, 396-401.
- Tsoufanidis, N., 1995. Measurement and Detection of Radiation, Taylor&Francis, London, U.K., 157-158.
- UNSCEAR, 1988. United Nations Scientific Committee on the Effect of AtomicRadiation, Sources, effects and risk of ionizing radiation, UnitedNations, New York.
- UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effect of AtomicRadiation, Exposure from natural sources of radiation, UnitedNations, New York.
- Verep, B., Akın, Ş., Mutlu, C., Apaydın, G., Ertuğral, B. ve Çevik, U., 2007. Assesment of trace elements in rainbow trout (oncorhynchus mykiss) cultured in the marine Aquaculture cages on the black sea coast, Fresen. Envir. Bull., 16, 1005-1011.
- Verma H. R., 2007, Atomic and Nuclear Analytical Methods, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Yaylı, M., 2013, Farklı Marka Ofis Kağıtlarında XRF Yöntemiyle Element Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1, www.cerc.usgs.gov/pubs/sedtox/sqags_for_florida_inland_waters_01_03.pdf 24.03.2014
- URL-2, www.education.jlab.org/glossary/electronvolt.html 24.09.2014
- URL-3, www.universe-review.ca/F14-nucleus03.htm 15.12.2014
- URL-4, www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/rd/mss/index.html 11.08.2014
- URL-5, www.mta.gov.tr/v2.0/turkiye_maden/il_maden/pdf_2010/trabzon.pdf 26.12.2014

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Trabzon'un Çarşıbaşı ilçesinde doğdu. İlk ve ortaöğretimini Çarşıbaşı'nda tamamladı. 1995 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı. 1999 yılında Fizik bölümünden bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilimdalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı. İl dışına MEB kadrosuna öğretmen olarak atanması sebebiyle eğitime ara verdi. 2012 yılında lisansüstü eğitime tekrar başladı. Çeşitli okullarda Sınıf ve Fizik Öğretmenlikleri yapan APAYDIN, halen Çarşıbaşı Anadolu Lisesi'nde Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır. Ulusal dergilerde yayınlamış 1 adet makalesi bulunmaktadır.

Aylin APAYDIN, evli ve Osman Eren ve Göktuğ adında iki çocuk annesi olup orta düzeyde İngilizce bilmektedir.