

**T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**X-IŞINI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİNİN AÇIYA DUYARLI
MOTOR SİSTEMİYLE ENTEGRASYONU**

PINAR KARABUL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜMİT ALKAN**

İSTANBUL, 2018

Pınar KARABUL tarafından hazırlanan “X-IŞINI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİNİN AÇIYA DUYARLI MOTOR SİSTEMİYLE ENTEGRASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN

Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Prof. Dr. Ekrem YANMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Nişantaşı Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ergun Eray AKKAYA

Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Teslim Tarihi:/....../2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Nuri KURUOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Pınar KARABUL

..../..../2018

X-IŞINI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİNİN AÇIYA DUYARLI MOTOR SİSTEMİYLE ENTEGRASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Pınar KARABUL

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

ÖZET

Röntgen'in 1895 yılında X-ışınlarını keşfi, materyallerin kimliklendirilmesi ilgili önemli bir çığır açmıştır. X-Işını Floresans, elementlerin kalitatif ve kantitatif analizlerini numuneye zarar vermeden sağlayan önemli bir analitik tekniktir. Günümüzde temel fizik araştırmaları, metalürji, endüstri, tıp, biyokimya ve arkeoloji gibi çok farklı alanlarda kullanılan bu teknik sabit açılı deney geometrilerinde uygulanmaktadır. Ayrıca, XRF tekniği malzemelerin zırlama yetenekleri hakkında bilgi veren kütle azaltma katsayısı parametrelerinin hesaplamalarında da kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, sabit deney geometrisine sahip XRF sistemi açığa duyarlı hale getirilerek optimize edilecektir. Farklı saçılma açılarında farklı standart numuneler için radyasyon zırlama parametreleri hesaplanarak yeni veriler bilim dünyasına sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler : Saçılma açısı, XRF, kütle azaltma katsayısı, radyasyon zırlama

Sayfa Adedi : 38

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN

INTEGRATION OF X-RAY FLORESANS SPECTROSCOPY WITH ANGLE
SENSITIVE ENGINE SYSTEM

(Master Thesis)

Pınar KARABUL

GELİŞİM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2018

ABSTRACT

The discovery of X-rays in 1895 opened an important milestone in the identification of materials. X-ray Fluorescence is an important analytical technique that provides qualitative and quantitative analysis of elements without harm to the sample. Today, This technique which is applied in fixed angle test geometries is used in many different fields such as fundamental physics research, metallurgy, industry, medicine, biochemistry, and archeology. In addition, XRF technique is also used in the calculation of the mass reduction coefficient parameters that provide information about the shield capabilities of the materials. By calculating radiation shielding parameters at different scattering angles and for different standard samples, new data will be represented to the scientific community literature.

Key Words : Scattering angle, XRF, mass attenuation coefficient, radiation shielding.

Page Number : 38

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ümit ALKAN

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında bana yapıcı ve yönlendirici önerileriyle yol gösteren tez danışmanım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez alıőması boyunca bilgi, birikim ve pozitif enerjisini eksik etmeyen değerli hocam "Dr. Mehmet KILIÇ" a teşekkür ederim.

Her zaman varlığıyla bana güç veren, her anımda bana hassasiyetle, anlayışla yaklaşan hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen eşim Yaőar KARABUL'a çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımda bambaőka bir yeri olan oğlum Ayhan Yiğit'e bu tezi ithaf ediyorum.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. X-IŞINLARI FLÖRESANS SPEKTROSKOPİSİ.....	3
2.1. X-ışınlarının Tanımı ve Keşfi.....	3
2.2. X-ışını Floresans (XRF).....	3
2.3. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi.....	4
2.3.1. Fotoelektrik olayı	5
2.3.2. Compton etkileşimleri	5
2.3.3. Çift oluşumu	6
2.3.4. Rayleigh saçılması	7
2.4. Radyasyon Zırhlama	7
2.5. Zırhlama Yazılımları	10
2.6. Saçılma Açısı-Zırhlama İlişkisi	12
3. YÖNTEM ve YAPILANLAR	14
3.1. XRF Bileşenleri	14
3.2. Açık Bileşeni- XRF	14
3.3. Numuneler.....	18

	Sayfa
3.4. Açıya Bağlı Zırhlama Ölçümleri	19
3.4.1. Kütle azaltma katsayıları	19
3.4.2. Etkin atom numarası	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	21
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	22
KAYNAKLAR	23
ÖZGEÇMİŞ	25



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan numunelerin elementasyonel içerikleri	19
Çizelge 3.2. Numuneler ait 9,713 keV için kütle azaltma katsayısı değerleri	19
Çizelge 3.3. Numuneler ait farklı saçılma açısı değerlerinde etkin atom numaraları	20



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. ZXCUM programının kullanıcı ara yüzü.....	12
Şekil 3.1. Açıya duyarlı X-ışını floresans sisteminin şematik gösterimi	15
Şekil 3.2. Açı ile dönen sistemin kitlerinin görüntüsü ve genel özellikleri.....	16
Şekil 3.3. Açı ile dönen sistemin bağlantı şeması.....	17



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

C	Compton saçılması
E_b	Bağlanma enerjisi
K_e	Kinetik enerji
R	Rayleigh saçılması
τ	Fotoelektrik soğurma katsayısı
σ	Compton etkileşim katsayısı
κ	Çift oluşumu etkileşim katsayısı
ρ	Yoğunluk
μ	Lineer azaltma katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

EDXRF	Enerji boyu dağılımlı X-ışını floresans spektroskopisi
WDXRF	Dalga boyu dağılımlı X-ışını floresans spektroskopisi
XRF	X-ışını floresans
Z_{etkin}	Etkin atom numarası

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamı boyunca radyasyonla i içe bir hayat sürmektedir. Radyasyona neden olan radyoaktif kaynaklar olduğu sürece bu devam edecek ve bundan uzak durmak ihtimal dâhilinde olmayacaktır. 1895 yılında X-ışınlarının keşfedilmesiyle başlanan radyasyon kullanımını günümüzde hızla artmış ve hayatımızın bir parçası haline getirmiştir. Bu teknoloji pozitif etkileriyle birlikte birçok problemi de beraberinde getirmiştir. Radyasyon, foton, parçacık veya dalga olarak isimlendirilen paketler halinde yayılan enerjidir. Radyasyondan korunmanın üç ana etkeni zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Radyasyon kaynağı ile canlı arasına zırhlayıcı konulmasıyla alınacak doz azaltılır. X ve γ ışınlarının zırhlanması, kullanılacak malzemenin yoğunluğuna bağlıdır [1].

X-ışını Floresans (XRF), katı, sıvı veya toz bir numunenin kimyasal bileşenlerini belirlemek için kullanılan analitiksel bir yöntemdir. Bununla birlikte bu teknik, oluşturulan ince film yapının veya kaplamanın kalınlık analizini yapmakta kullanılabilir. XRF tekniğinde ölçüm için kullanılan numune miktarı çok düşüktür. XRF, maden bilimi ve jeoloji, gıda endüstrisi, metal, imento, polimer gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Genel olarak, çalışma prensibi, numuneye verilen enerjiyle elde edilen karakteristik X-ışınlarının yayılması esasına dayanır. X-ışını floresans spektrometre metotlarından biri kıyaslamalı yöntemdir. Bu metot içeriği bilinen standart numunelerdeki kütüphane içeriği bilinmeyen bir numuneden elde edilen data ile kıyaslanmasıdır. Bu spektroskopi tekniği numuneye zarar vermeden düşük miktarlarda dahi sonuç alınabildiğinden dolayı arkeolojide, tarihsel ve sanatsal değere sahip olan nesnelerin çok hassas bir şekilde element tayinininde kullanılmaktadır [2]. İncelenecek numuneler katı, sıvı veya toz formlarda olabilir. Spektroskopinin alışma aralığına baktığımızda Sodyumdan (Na) Uranyuma (U) kadar hatta güncel kitler yardımıyla bor atomuna kadar incelenebilmektedir [3].

Üretilen radyasyon zırhlayıcı numunenin zırhlama yeteneğinin değeriendirilmesi çeşitli parametreler ile belirlenebilir. Eğer elimizdeki malzeme; bileşik veya karışım ise kütle azaltma katsayılarının ve etkin atom numaralarının (Z_{etkin}) bilinmesi gereklidir. Bu parametreler hakkında elde edilen kesin ve güvenilir bilgiler; radyasyon uygulamaları, medikal fizik, radyografi ve radyasyon dozimetrisi gibi alanların hesaplamalarında ve diğer pek çok branşta zaruridir. Kütle azaltma katsayısı ölçülürken numune ile etkileşen gama-

ışınlarının etkileşme türü de önemlidir. Fotoelektrik, Compton, Rayleigh saçılması ve çift oluşumu gibi her bir işlem türü için kısmi zayıflama parametreleri tanımlanır. Radyasyon enerjisi ve zırhlayıcı numunenin içeriğine göre, bu etkileşme türlerinin toplam kütle azaltma katsayısı değerindeki katkıları da farklılık gösterebilir.

Diğer bir önemli parametre olan etkin atom numarası, radyasyon zırhlama ölçümlerinde X ve γ -ışını etkisinin zayıflama hesaplanmasında önem taşımaktadır. Numunelerin birçok fiziksel özelliği sadece etkin atom numarası parametresi tarafından görselleştirilebilir. Radyasyonun madde ile etkileşimi hakkında fiziksel bilgi verir ve radyasyon zırhlaması, soğurulan edilen doz ve farklı düzeltme faktörleri ile ilgili birçok alanda kullanılır. Zeff değeri, gelen fotonların enerjisine ve numunenin sahip olduğu elementsel dağılıma bağlıdır. Bu parametrenin tayini, malzemelerle zayıflatılmış veya saçılmış fotonları ölçerek yapılabilir. Fotonlar maddeye nüfuz ettiğinde, birçok etkileşim mekanizmasından geçtiğinden dolayı yoğunlukları ve enerjileri değişir.

Bu tez çalışmasında nicel ve nitel ölçüm yapmak amaçlı kullanılan Si-PIN detektöre sahip XRF spektroskopisi, açı ile birlikte değişen geometrik modül eklenmesi ile farklı açılara duyarlı hale getirilmiştir. Bu kapsamda açı değişimi ile birlikte belirli standartlardaki malzemelerin hem içerikleri hem de radyasyon zırhlama parametreleri hakkında bilgi verme yeteneği XRF cihazına kazandırılmıştır. Bu çalışma sonunda SS316, CuFe_2O_4 , Bi_2O_3 ve WO_3 numunelerine ait radyasyon zırhlama parametreleri olan kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numarası değerleri ölçülmüş, elde edilen değerler teorik sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

2. X-Işınları FLÖRESANS SPEKTROSKOPİSİ

2.1. X-ışınlarının Tanımı ve Keşfi

0.1 ile 100 keV arasındaki enerjilerle elektromanyetik tayfın bir parçası olan X-ışınlarının dalga boyları 0.01 ile 10 nm arasına denk gelmektedir. X-ışını bir radyasyon türüdür. Radyasyon enerjinin kaynağından dalgalar veya parçacıklar şeklinde iletilmesi olarak tanımlanabilir. Bu tanım kapsamında, doğal veya yapay radyoaktif kaynakların uyarılmış durumdan çıkmak için yayımladıkları parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri genel anlamda, radyasyon olarak adlandırılır. İki çeşit radyasyon türü vardır. Bunlar dalga ve parçacık tipi radyasyonlardır. Dalga tipi radyasyon kütsüz ama enerjiye sahip radyasyonlardır. Bunlar, titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibidir. Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden tanecikleri ifade eder. Bunlar çıplak gözle doğrudan görülemeyecek kadar küçüktürler.

Radyasyon çeşitlerinde olduğu gibi X-ışınları da doğal ve yapay olarak iki biçimde oluşurlar. Atom çekirdeği tarafından K enerji kabuğundan elektron yakalanması, iç dönüşüm, alfa bozunumu ve beta bozunumu olaylarıyla doğal X-ışınları oluşur. Atoma yollanan yüksek enerjili elektronlar o atomun yörüngesinden elektron koparırlar. Daha yüksek seviyedeki elektronlar atomdan kopan bu elektronun yerine sıçrayarak ayrılan elektronun bulunduğu boşluğa yerleşirler. Bu sırada oluşan enerji artığı X-ışını şeklinde ortama yayımlanır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötr duruma gelir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla X-ışını meydana gelebilir. Yapay X-ışınları maddenin dışarıdan enerji verilmesi ile (elektron, proton, parçacıkları veya iyonları gibi hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden v.b.) meydana gelir.

2.2. X-Işını Floresans (XRF)

X-ışını Floresans uyarılan bir örnekten gelen radyasyonun enerjilerine veya dalga boylarına göre tespit edilerek, her türlü malzemenin, kimyasal içeriklerini tayin etmek için kullanılan analitik bir metottur. İncelenen örneğin katı, sıvı, gaz veya farklı bir halde bulunmasının bir ehemmiyetinin olmaması XRF'nin en kritik avantajlarından biridir. XRF metodu, hasarsız

olması, uygulanmasının kolay olması, hızlı olması ve numune miktarının az olması gibi son derece önemli özelliklere sahiptir. Bütün X-ışını floresans spektrometreleri üç kısımdan oluşmaktadır.

- Detektör
- Numune
- Uyarıcı Kaynak

Kaynak, ölçüm yapılacak örneği uyarmak ve karakteristik X-ışınlarının oluşması için gereklidir. Oluşan bu karakteristik X-ışınları detektör vasıtasıyla tespit edilir. Temel özellikleri aynı olmakla birlikte, X-ışını floresans spektrometreleri iki gruba ayrılmaktadır.

- EDXRF (Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans Spektroskopi)
- WDXRF (Dalga Boyu Dağılımlı X-ışını Floresans Spektroskopi)

Enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometreleri örnekten ulaşan çeşitli enerjilerdeki karakteristik X-ışınlarını tespit edebilen bir algılayıcıya barındırmaktadır. Bu algılayıcı, örnekten kaynaklanan karakteristik radyasyonları ayırma yeteneğindedir. Bu yeteneğe enerji ayırma özelliği denir. Örnekten gelen karakteristik X-ışınlarını enerjilerine göre tespit eden içyapıya sahiptirler. WDXRF'nin ana bölümleri EDXRF ile benzerdir. Benzer biçimde detektör, numune ve uyarıcı kaynaktan oluşur. Ancak ölçüm yapısında gözle görülen ayrımlara sahiptirler. WDXRF, numuneden yayımlanan X-ışınlarını dalga boylarına göre ayırabilmek için bir kırılma kristali ve odaklayıcı kullanır. Örnekten gelen X-ışınları bu kristal üzerine yönlendirilerek dalga boylarına göre tespit edilirler. [4].

2.3. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

Radyasyonlar yüklü ve yüksüz parçacıklar olarak ikiye ayrılırlar. Bu radyasyonların maddeyle yapacakları etkileşimler farklılık göstereceği gibi, bu etkileşmeden elde edilecek bilgiler; radyasyonun tespit edilmesi, bu tespitini sağlayan araçların geliştirilmesi, radyasyondan korunma ilkelerinin geliştirilmesi, radyasyonun biyolojik yapılara verdiği zararların tayin edilmesi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır. Foton demetinin madde içinde eksilmesi ve ortama enerji bırakması için ana etkileşmeler; Fotoelektrik olay, Compton saçılması, çift oluşumu, Rayleigh saçılması ve fotobozunmadır.

2.3.1. Fotoelektrik olayı

1887'de Heinrich Hertz, elektromanyetik radyasyonun metal bir yüzey üzerinde parladığında elektronların yüzeyden yayıldığını keşfetti. Bu olaya fotoelektrik etki denir. Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, birim zaman başına yayılan elektronların sayısı metal yüzeyin üzerinde parlayan ışığın yoğunluğuna ve frekansına bağlıdır. Elektronun kopması için gelen fotonun enerjisinin elektronun atoma bağlanma enerjisinden büyük olması gerekmektedir. Fotoelektronun kinetik enerjisi şu şekilde formüle edilir;

$$K_e = h\nu - E_b \quad (2.1)$$

burada K_e elektronun atom yörüngesinden koptuktan sonra sahip olduğu kinetik enerji, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi ve E_b elektronun bağlanma enerjisidir. Fotoelektrik etki olasılığını kesin bir fonksiyonla tanımlamak çok güçtür. Ancak deneysel çalışmalar ile çeşitli özelliklerine ulaşılabilir. Düşük enerjili fotonlar için (~ 100 keV) oldukça baskındır [5]. Fotoelektrik soğurma katsayısı τ ; soğurucu maddenin atom numarası Z 'ye ve radyasyon enerjisi E 'ye bağlı bir fonksiyondur.

$$\tau \cong \text{sabit} \times \frac{Z^5}{E^3} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2' de görüldüğü gibi fotoelektrik etkinin yüksek Z 'li malzemeler ve düşük enerjili fotonlarla gerçekleşme ihtimali daha yüksektir [6].

2.3.2. Compton etkileşmeleri

Compton etkileşmesi, yüksek enerjili bir fotonun genellikle durgun ve serbest kabul edilen bir elektrondan veya bağlanma enerjisi gelen foton enerjisine kıyasla küçük olan bağlı bir elektrondan enerji kaybı ile saçılması olayıdır [7]. Beklenildiği gibi gelen fotonun enerjisi saçılırken kayba uğrar. Dolayısıyla saçılan fotonun enerjisi, gelen fotondan farklılık gösterir. Saçılan radyasyon saçılarak farklı bir tarafa ve yükselen bir dalga boyu ile çıkar. Compton kayması diye isimlendirilen dalga boyundaki farklılık $\lambda' - \lambda$,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (2.3)$$

ile formülize edilir. Fotonun dalga boyundaki değişimin sadece saçılma açısı ile olan ilişkisi önemlidir. Genellikle Compton dalgaboyu olarak isimlendirilen h/m_0c teriminin sayısal değeri $2,4264 \times 10^{-10}$ cm' dir. Saçılan elektronlar sıfırdan maksimum değere kadar aralıkta enerjiye sahip olabilir. 180° lik saçılma açısında elektrona maksimum değer aktarılır. Compton etkileşim katsayısı σ ;

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_s \quad (2.4)$$

ile ifade edilir. Formüldeki ifadeler sırasıyla; toplam Compton etkileşim katsayısı σ , elektronlarla çarpışmalar sebebiyle kaybedilmiş foton enerji için Compton soğurma katsayısı σ_a ve radyasyonların dışarı yönelmesi sebebiyle enerji azalmasına denk gelen saçılma katsayısıdır σ_s . Bu etkileşme katsayıları yine fotoelektrik olayda olduğu gibi gelen foton enerjisi ve soğurucunun atom numarası ile ilişkilidir. Bu ilişki;

$$\sigma \cong \text{sabit} \times \frac{Z}{E} \quad (2.5)$$

ifadesi ile gösterilir [6].

2.3.3. Çift oluşumu

Fotonların madde ile etkileşmelerinden bir diğeri de çift oluşumdur. Bu olay fotonun elektron-pozitron çiftine ayrılarak kendisinin yok olması olayıdır. Foton bu iki parçacığı oluşturabilecek minimum enerji olan 1,022 MeV' lik enerjiye sahip ise madde ortamından geçerken bu olayı gerçekleştirir. Çift oluşumu sırasında momentum ve enerji korunumu kanunları yine etkindir. Çift oluşumu etkileşme katsayısı κ , enerjisi 1,022 MeV' den büyük olan fotonlar için atom numarasının karesi ile ilişkilidir. Bu ilişki;

$$\kappa \cong \text{sabit} \times Z^2 (E - 1,022) \quad (2.6)$$

ifadesi ile açıklanır. Burada E fotonun MeV cinsinden enerjisini temsil eder.

2.3.4. Rayleigh saçılması

Rayleigh saçılması X-ışınları ve madde arasında iyonize olmayan bir etkileşimi temsil eder. X-ışını enerjisi, atomdaki elektronların harmonik hareketlerine dönüştürülür. Daha sonra atom bu enerjiyi rastgele bir yönde yeniden yayar. Bu nedenle, bu saçılma sadece dedektöre ulaşan X-ışınlarının sayısını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda X ışını fotonlarının kaynak ve detektör arasındaki izlerini de değiştirir. Bir Rayleigh saçılma olayı katsayısı;

$$\sigma_R \cong \frac{Z^2}{(h\nu)^2} \quad (2.7)$$

formülü ile ifade edilir.

2.4. Radyasyon Zırlama

Bir element, bileşik veya karışımın radyasyon zırlama yeteneğini belirleyen parametreler vardır. Kütle azaltma katsayısı ve etkin atom numarası değerleri özellikle karışımlarda oldukça sık kullanılır. Bu değerlerdeki yükseliş o malzemenin zırlama yeteneğini ile ilgili pozitif bir yorum yapılmasını sağlar. Bu parametrelerin bulunması belli bir teori ve matematiksel işleme dayanmaktadır. İdeal geometrik şartlarda, radyasyon demetinin şiddetindeki değişim matematiksel olarak, soğurucu kalınlığının fonksiyonu olarak,

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I \quad (2.8)$$

bağıntısı ile gösterilebilir. Formülde, μ ilgilendiğimiz fotonlar için ortamın lineer azaltma katsayısıdır. Fotonların hepsi aynı enerjiye sahiplerse (tek enerjili bir demet) ve fotonlar ideal geometri koşulları altında azalıyor, x kalınlığındaki bir soğurucuyu geçen fotonların şiddeti $I(x)$ yeniden düzenlenirse;

$$\int_{I_0}^{I(x)} \frac{dI}{I} = \int_0^x -\mu dx \quad (2.9)$$

$$\ln I(x) - \ln I_0 = -\mu x$$

$$(2.10)$$

ya da

$$\ln I(x) = -\mu x + \ln I_0 \quad (2.11)$$

olarak bulunur. Bu, eğimi $-\mu$ olan ve x eksenini $\ln I_0$ ' da kesen bir doğrunun denklemdir. Logaritmik işlem özellikleri kullanılarak;

$$\ln \frac{I(x)}{I_0} = -\mu x \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır ve

$$\frac{I(x)}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2.13)$$

veya

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.14)$$

bağıntısı elde edilir. Burada I_0 gelen demetin şiddeti, $I(x)$ soğurucu ortamın x kalınlığını geçen demet şiddetidir. Lineer azaltma katsayısı, soğurucu ortamda birim uzunluk başına etkileşme olasılığıdır. Foton soğurulması için bu üstel bağıntı; teorik olarak bir foton demetinin tam soğurulmasının asla gerçekleşmeyeceğini öne sürer. Ancak pratik anlamda üstel azaltma veya soğurma, demet şiddetini algılanamaz düzeylere getirmek için kullanılabilir. Radyasyon etkileşme parametresi olarak kullanılan lineer azaltma katsayısı, soğurucu ortamın fazından bağımsızdır. Bu noktada soğurucu ortamın fazına da bağlı olan kütle azaltma katsayısı μ / ρ , daha kullanışlıdır. Kütle azaltma katsayısı sadece lineer azaltma katsayısı μ değil, soğurucunun yoğunluğu ρ ile de ilişkilidir.

Kompozit malzemelerin karakterizasyonunu ifade eden önemli parametrelerden diğeri etkin atom numarasıdır. Bu parametre radyasyonun bir materyale düştüğünde oluşacak durum hakkında bize kesin bilgiler sağlar. Etkin atom numarasını belirlemek için birçok deneysel yöntem kullanılır. Bunlar kimyasal analiz, atomik absorpsiyon spektrokopisi, PIXE (Particle-Induced X-ray emission), XRF (X-ray Fluorescence), PIGE (Proton-Induced Gamma Ray Emission), hızlı nötron aktivasyon analizi, akustik metot ve elektriksel empedans metodu olarak sıralanabilir. Hali hazırda açığa bağlı etkin atom numarasını sağlayan en yaygın metot ZXCUM yöntemidir. Etkin atom numarası bir karışım için

Rayleigh ve Compton saçılma bilgileri yardımıyla karakterize edilebilir. İçelli [8] tarafından gösterilen teorik temel ve matematiksel yaklaşım aynı zamanda deneysel olarak yapılan çalışmalarda da kullanılır. Rayleigh ve Compton saçılma oranlarının teorik hesaplanması;

$$R = \frac{N_R}{N_C}(Z) = f(Z) = C \frac{[F^2(x, Z)]}{[S(x, Z)]} \quad (2.15)$$

bağıntısı ile yapılır. Burada saçılma oranı atom numarasının bir fonksiyonu olarak verilir. $f(Z)$ elementler için kesikli bir fonksiyonu temsil eder. F atomik form faktörünü verirken, S inkoherent saçılma fonksiyonunu temsil eder. Her bir bileşik veya karışım için bu formül geliştirilirse;

$$R = \frac{N_R}{N_C}(\alpha_1, \dots, \alpha_n, Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n) = f(Z_{etkin}) = C \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^{at} F^2(x, Z_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^{at} S(x, Z_i)} \quad (2.16)$$

denkleme ulaşırız. $f(Z_{etkin})$ sürekli bir fonksiyonu temsil eder. Burada gösterilen α_i^{at} her bir elementin atomik yüzdesini ifade etmektedir. Eğer herhangi bir element için bu yüzdeyi elde etmek istersek;

$$\alpha_i^{at} = \frac{\omega_i / A_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i / A_i} \quad (2.17)$$

formülünü kullanabiliriz. Burada ω_i i. elementin kütle yüzdesini ifade etmektedir. Bir karışım için R oranının etkin atom numarasına bağlı olduğu söylenebilir. Etkin atom numarası; karışımlar için, elementlerin atom numarasının karmaşık bir fonksiyonudur. Bu yüzden, her bir momentum transfer değeri x için, kesikli bir f_x^K fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon, atom numarasını F^2 / S ' nin bir fonksiyonu gibi verir.

$$Z = f_x^K \left[\frac{F^2}{S} \right] \quad Z_n \in Z \quad (2.18)$$

Elementler için Z_{etkin} tam sayı değerindedir. Başka bir açıdan bakarsak; bileşik, alaşım veya karışımlar farklı elementlerin birer kümesidir. Bunların etkin atom sayısı tam sayı değerleri almayabilir. Bu aralık bütün tam sayı değerlerini kapsar. Bu aşamada kullanılacak f_x fonksiyonu ise sürekli bir fonksiyondur. Etkin atom numarasını geliştirilmiş şekilde formüle edersek;

$$Z_{etkin} = f_x \left[\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^{at} F^2(Z_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i^{at} S(Z_i)} \right] = f_x \left[\left(\frac{F^2}{S} \right)_{etkin} \right] \quad (Z_n) = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \in R \quad (2.19)$$

bağıntısını kullanabiliriz. Bu noktada ihmal edilen ilginç bir durum da etkin atom numarasının saçılma açısına da bağlı olduğudur. F ve S fonksiyonları momentum transfer parametresi x ve etkin atom numarası parametrelerine bağlıdır. Momentum transfer parametresini hesaplamak için;

$$x = \frac{\sin(\theta/2)}{\lambda} \quad (2.20)$$

ifadesini kullanabiliriz. Burada görüldüğü gibi saçılma açısı θ ve gelen fotonun dalgaboyu λ , etkin atom numarasının hesaplanmasında dikkate alınan önemli parametrelerdir. Bu bakış açısı, diğer hesaplama yöntemlerinden oldukça farklılık taşımaktadır [9,10].

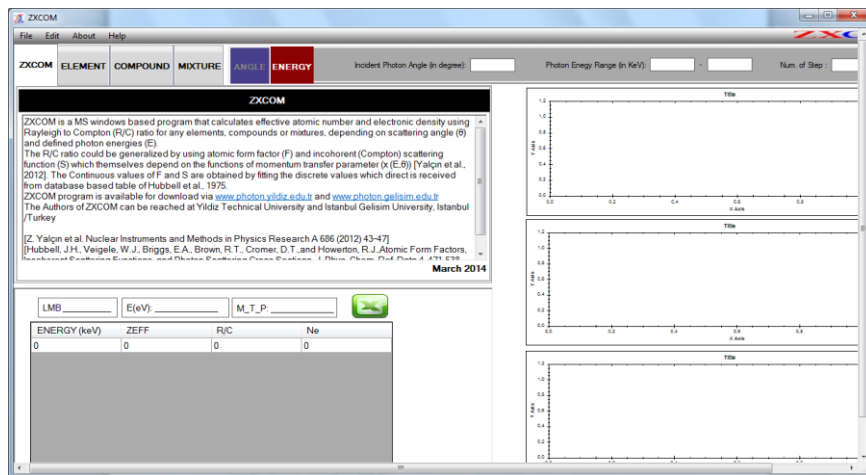
2.5. Zırlama Yazılımları

Literatürde radyasyon zırlama parametrelerini hesaplamada pek çok program mevcuttur. Özellikle kütle azaltma katsayılarını belirlemede WinXCom ve etkin atom numarası belirlemede ZXCOM programları en yaygın kullanılanlarıdır. Fotonların (X ve gama ışını) soğurma ve saçılma verilerine çoğu bilimsel, mühendislik ve medikal uygulamalarda gerek duyulur. Mevcut tablolar genellikle seçilmiş elementler, bileşikler ve karışımlar için tesir kesitlerini içerir. Tablolaştırılmış bu bilgiler yardımıyla manuel farklı hesaplamalar yapılarak tesir kesitleri ve azaltma katsayıları bu element, bileşik ve karışım için elde edilir. Bu işlemleri yapmak için 1987 yılında XCOM adında bir bilgisayar programı geliştirildi. XCOM ile herhangi bir element, bileşik veya karışım için 1 keV' den 100 GeV enerji aralığına kadar radyasyon etkileşmelerinin kısmi tesir kesitleri ve azaltma katsayıları hesaplanabilir. Zaman içerisinde XCOM programında çeşitli güncellemeler yapılmış ve web ortamında paylaşılmıştır [11].

XCOM standart enerji aralığında, logaritmik yaklaşım aralığında veya kullanıcı tarafından seçilen aralıkta toplam tesir kesitlerini ve kütle azaltma katsayılarını üretebilir. Program, toplam tesir kesitlerinin ve kütle azaltma katsayılarının sağlamasına ek olarak Compton saçılma, koherent saçılma, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu için kısmi tesir kesitlerini hesaplamaktadır. XCOM programı Gerward ve çalışma arkadaşları tarafından WINDOWS

platformuna geçirilmiştir. İlk olarak XCOM 32 bit WINDOWS platformunda modernize edilmiştir. WINDOWS işletim sistemi ile çalışmaktadır. Materyalleri tanımlamak ve kaydetmek üzere tasarlanan ara yüzü, kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu program sayesinde herhangi bir element, bileşik ya da karışımın kütle azaltma katsayıları, fotoelektrik olay, koherent, Compton saçılması ve çift oluşumu gibi kısmi foton etkileşimleri de hesaplanabilir. WINXCOM programı kaydedilen verileri bir Microsoft Excel şablonuna aktarabilmektedir. Böylece daha sonra yapılacak olan nümerik ve grafiksel işlemlerde kolaylık sağlamaktadır [12].

ZXCOM etkin atom numarası Z_{etkin} hesaplayan WINDOWS tabanlı bir uygulama programıdır. Etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunlukları herhangi bir element, bileşik veya karışım için R/C (Rayleigh/Compton) şiddet oranından hesaplanmaktadır. Hesaplamalar 1 keV ile 100 GeV aralığında tanımlanan herhangi bir enerji değerinde ve 0° ile 180° aralığındaki saçılma açıları yapılabilmektedir. Bu hesaplamalara açı faktörünün uygulanabilir olması; ZXCOM programını literatürde bulunan diğer hesaplama programlarından ayıran en belirgin özelliğidir. ZXCOM programı kullanışlı bir ara yüze (Şekil 2.1) sahiptir. Bu grafik ara yüz kullanılarak kolaylıkla enerji ve açı girdileri tanımlanabilmektedir. Böylece bu veriler ışığında gerekli element, bileşik veya karışımlar programa tanıtılabilmektedir [13].



Şekil 2.1: ZXCOM programının kullanıcı ara yüzü.

2.6. Saçılma Açısı-Zırhlama İlişkisi

X-ışını enerji aralığında elektromanyetik radyasyon madde ile üç ana süreçte etkileşir: fotoelektrik etki; Compton saçılımı; Rayleigh saçılması. İlk durumda foton tüm enerjisini hedef atomun yörüngesine bağlı bir elektrona aktarır; ikinci durumda foton, enerjisinin sadece bir kısmını hemen hemen serbest elektrona aktarırken elektron kendi yörüngesinden sapmıştır. Transfer edilen enerji saçılma açısına bağlı olacaktır. Üçüncü ve son durumda, foton kendi yörüngesinden sapar ama enerji transferi gerçekleşmez. Fotoelektrik etkileşimler, elektronları hedef atomlarından ayırır ve elektronik dağılım yeniden düzenlenirken karakteristik X-ışınlarına yol açar.

Her bir etkileşim türünün yoğunluğu, foton enerjisine, kimyasal bileşene ve malzemenin yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle, ölçüm sisteminin cevap fonksiyonu çok karmaşıktır. Azaltma katsayısı, birim kütle veya birim alan başına madde içindeki olay fotonlarının etkileşim olasılığının bir ölçüsünü sağlar [14]. Kütle azaltma katsayısı, foton enerjisine ve malzemeye bağlıdır ve her bir etkileşim etkisinin bir kombinasyonudur. Bu nedenle, kütle azaltma katsayısı bilgisi, X-ışını floresansı ile tahlil edilen numunedeki her bir elementin konsantrasyonunun uygun şekilde belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır.

Bilinmeyen malzemelerin kütle zayıflama katsayısını belirlemenin bir yolu, yeterli ölçüm düzeni, kaynaklar, malzeme kalınlığı ve şekli gibi parametrelerin belirlenmesini kapsamaktadır. Bu bilgiler ışığında transmisyon geometrisinde ölçümler yapılarak bu parametre tespit edilebilir. Rayleigh ile Compton saçılma oranının ölçümü, transmisyon yöntemine bir alternatiftir. Literatürdeki bazı çalışmalar, bu tekniği zırhlama özelliklerinin belirlenmesi için kullanmaktadır [15,16]. Duvauchelle [17] ve Pereira [18] bazı malzemelerin kütle zayıflama katsayısının hesaplanması için Rayleigh - Compton saçılma oranı kullanılarak, bileşikler ve karışımlar için etkin atom numarası parametresini belirlemişlerdir. Burada, Monte Carlo simülasyonları, belirli bir enerjideki birkaç malzeme için R/C 'nin belirlenmesi ve daha sonra örneklerin kütle zayıflama katsayısının hesaplanması için kullanılmıştır. Bu yeni yöntem, deneysel olarak belirlenen bir numunenin sadece R/C bilgisini gerektirir. Bu, düşük enerjilerde X-ışını floresan tekniği kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada sunulan yöntem, verilen X-ışını enerjisinde belirlenen Rayleigh ile Compton saçılma oranı arasındaki ilişkiye ve ilgili enerji aralığı için kütle

zayıflama katsayısına dayanmaktadır. Rayleigh ile Compton saçılma oranı ve örnek analizi tek bir ölçümde gerçekleştirilir.



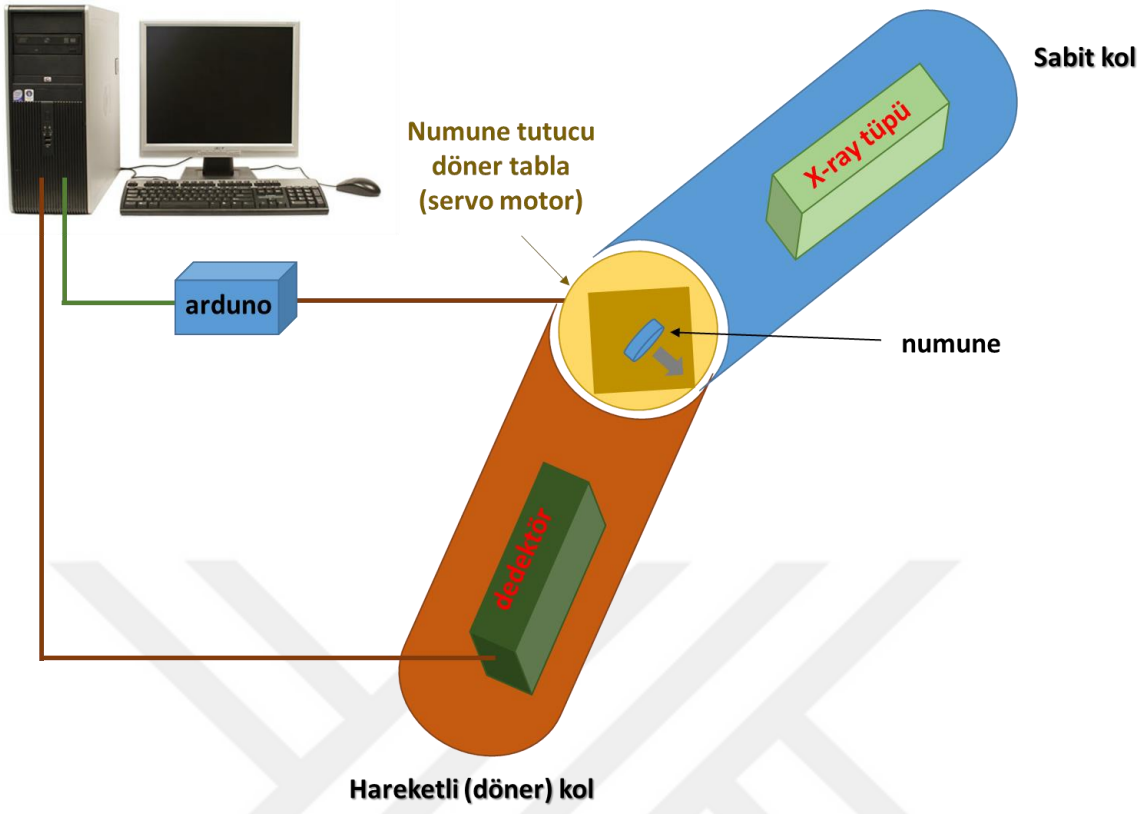
3. Yöntem ve Yapılanlar

3.1. XRF Bileşenleri

Bu tez çalışmasında, Amptek firmasına ait X-123 model XRF spektroskopisi bileşenleri kullanılmıştır. Oluşturulan sistem XR-100SDD silikon drift edilmiş X-ışını detektöründen ve Mini-X model X ışını kaynağından oluşmaktadır. X-123 detektörü tipik bir Si-PIN fotodiyotudur. Silikonda etkileşime giren X-ışınları her 3.62 eV enerji için bir elektron hole çifti oluşturur. Burada silisyumda oluşmuş lityum drift edilmiş detektör pozitif ve negatif (p ve n tipi) arasında sıkıştırılmış intiristik bir bölgeden oluşmuş tekli bir kristaldir. Bu p-in tipi diyottur. Düzenlenmiş bölge içerisinde, p tipi silikon difuze edilmesiyle oluşur. Detektör yüzeyi üzerindeki p tipi aktif değildir. Yani sayıma katkısı yoktur ve bu nedenle ölü tabak olarak adlandırılır. X-123 Detektörü 5.9 keV enerjide 139-240 eV değerlerinde değişen FWHM'ye sahiptir. Mini-X model deney kaynağın hedefi altındır. 10 ile 50 kV tüp voltajı altında çalışabilmektedir.

3.2. Açık Bileşeni-XRF

XRF sistemleri kapalı ve sabit açıyla oluşturulmuş sistemlerdir. Bu çalışmada kaynak-numune-detektör üçlüsünde numune tutucu kısmını açıyla değiştirmek amacıyla uygun bir deney düzeneği oluşturuldu. Deney düzeneğinin genel şablonu Şekil 3.1' de verilmiştir. Bu noktada numune tutucunun döndürücü devresi için 1 adet TowerPro SG90 servo motor ve 1 adet Arduino Mega 2560 R3 kullanılmıştır. Bu kitlelere ait bilgiler ve görüntü Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.1: Açığa duyarlı X-ışını floresans sisteminin şematik gösterimi

TowerPro SG90 servo motor

- Boyutlar: 23,1 x 12,2 x 29 mm
- Ağırlık: 9 g
- Çalışma gerilimi: 4,8 - 6,0 VDC
- Hız @4.8V: 0,1 sn/60°
- Zorlanma Torku @6V: 1,8 kg.cm
- Dişli kutusu: Plastik
- Dönüş açısı: 0-180°
- Çalışma PWM sinyali: 500-2400 μ s



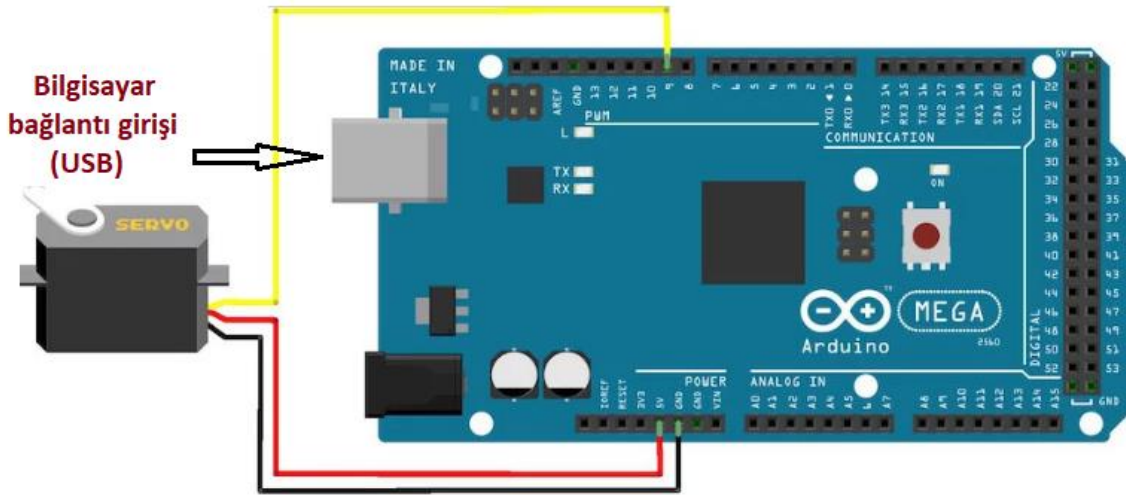
Arduino Mega 2560 R3

- Mikrodenetleyici Atmega2560
- Çalışma Gerilimi 5V
- Giriş Gerilimi (önerilen) 7-12V
- Giriş Gerilimi (limit) 6-20V
- Dijital I/O Pinleri 54 (15 tanesi PWM çıkışı)
- Analog Giriş Pinleri 16
- Her I/O için Akım 40 mA
- 3.3V Çıkış için Akım 50 mA
- Flash Hafıza 256 KB (Atmega2560) 8 KB kadarı bootloader tarafından kullanılmaktadır
- SRAM 8 KB (ATmega2560)
- EEPROM 4 KB (ATmega2560)
- Saat Hızı 16 MHz
- Uzunluk 101,6 mm
- Genişlik 53,4 mm
- Ağırlık 36 g



Şekil 3.2: Açık ile dönen sistemin kitlerinin görüntüsü ve genel özellikleri

Servo motor devre kurulumu ve kodlaması ise şu şekilde özetlenebilir. Servo kırmızı kablo–Arduino kartın 5V girişine, Servo kahverengi kablo–Arduino kartın toprak girişine, Servo sarı kablo –Arduino kartın PWM(9) girişine bağlanır. USB kablo aracılığıyla kurulan servo motor devresi bilgisayara bağlanır. Genel görünüm Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Açılı ile dönen sistemin bağlantı şeması

Deney sistemi için kullanılan kodun ayrıntısı ise; servo motoru önce 0 dereceden istenilen açı derecesine adım adım ilerletecek; istenilen açı değerinde XRF ölçümü süresince bekleyecek ve ölçüm süresi sonunda bulunduğu konumdan (açı derecesi) tekrardan 0 dereceye adım adım geri döndürecek şeklindedir. Ayrıntılı kodlama listesi aşağıda verilmiştir.

```
#include <Servo.h>           // Servo kütüphanesi

Servo servo_test;           // Bu komutla servo kontrol nesnenizi oluşturuyoruz.

int angle = 0;              // Bu komutla servonun başlangıç pozisyonunu (açısını) belirliyoruz

void setup()

{

  servo_test.attach(9);     // Servonun arduino'dan sinyal alacağı pin numarasını belirliyoruz

}

void loop()

{

  for(angle = 0; angle < 45; angle += 1) // Servo 0'dan 1'er derecelik adımlarla 45 dereceye dönecek

  {
```

```

servo_test.write(angle);           //Belirlenen pozisyona gitmesi isteniyor

delay(20);           //Pozisyona 20 ms de ulaşıyor

}

delay(1000);           //Mevcut pozisyondaki ekleme süresi (1000 ms, ölçüm süresine göre ayarlanır)

for(angle = 45; angle>=1; angle-=1) // Servo 45'den (ölçüm için istenilen açı değeri yazılır) 1'er
                                     derecelik adımlarla 0 dereceye dönecek

{

servo_test.write(angle);           // Belirlenen pozisyona gitmesi isteniyor

delay(20);           //Pozisyona 20 ms de ulaşıyor

}

delay(1000);           //Mevcut pozisyondaki bekleme süresi (1000 ms)

}

```

3.3. Numuneler

Hem kütle azaltma parametreleri hemde etkin atom numaralarının tespiti için yaptığımız XRF ölçümlerinde dört farklı numune kullanıldı. Bunlar SS316 kodlu paslanmaz çeliği, CuFe_2O_4 , Bi_2O_3 ve BaO bileşikleridir. Numunelere ait içerik değerleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ölçümlerde kullanılan numunelerin elementasyonel içerikleri

Numune	Element	Ağırlık Yüzdesi
SS316	Cr	18,450
	Mn	1,630
	Fe	65,191
	Ni	12,180
	Cu	0,169
	Mo	2,380
CuFe ₂ O ₄	Cu	26,562
	Fe	46,687
	O	26,751
Bi ₂ O ₃	Bi	89,699
	O	10,301
WO ₃	W	79,298
	O	20,702

3.4. Açığa Bağlı Zırlama Ölçümleri

XRF sistemi kullanılarak hem transmisyon geometrisinde kütle azaltma katsayıları hemde 3 farklı açı altında Rayleigh Compton saçılma değerleri kullanılarak etkin atom numarası parametreleri belirlendi. XRF sisteminin X-ışını tüpü altın (Au) kaynak olduğu için ölçümler 9,713 keV enerji altında gerçekleştirildi.

3.4.1. Kütle azaltma katsayıları

9,713 keV enerjili X-ışınlarına karşı WinXCom programında kütle azaltma katsayıları dört numune için hesaplandı. Bu noktada kütle azaltma katsayısının değeri cm²/g cinsinden hesaplanmıştır. Bunun ile birlikte XRF sistemi kullanılarak her bir numuneye ait kütle azaltma katsayıları elde edilen spektrum ve sayımlar vasıtasıyla belirlenmiştir. Tablo 3.2' de bu değerler gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Numuneler ait 9,713 keV için kütle azaltma katsayısı değerleri.

Numune	WinXCOM	XRF
SS316	1,80×10 ²	1,84×10 ²
CuFe ₂ O ₄	1,49×10 ²	1,52×10 ²
Bi ₂ O ₃	1,32×10 ²	1,38×10 ²
WO ₃	8,40×10 ¹	8,47×10 ¹

3.4.2. Etkin atom numarası

Etkin atom numaraları hem deney hem de nümerik olarak 3 farklı saçılma açısı için hesaplandı. Bu noktada deneysel hesaplamalar R/C oranı kullanılarak yapıldı. Bu noktada Compton ve Rayleigh pikleri birbirine yakın olduğundan, birbirleriyle karıştırılmaya ve R/C oranının hatalı bulunmasına yol açabilirler. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, Compton pik noktasının sadece sol yarısı ve Rayleigh zirvesinin sağ yarısı göz önüne alındı.

Çizelge 3.3. Numuneler ait farklı saçılma açısı değerlerinde etkin atom numaraları.

Numune	Saçılma Açısı					
	30		45		60	
	ZXCOM	XRF	ZXCOM	XRF	ZXCOM	XRF
SS316	26,253	26,675±0.534	26,203	26,454±0.524	26,210	26,358±0.523
CuFe₂O₄	25,041	25,862±0.517	24,776	25,023±0.475	24,715	24,985±0.498
Bi₂O₃	75,157	76,043±1.521	75,850	76,247±1.448	77,176	77,394±1.470
WO₃	66,842	67,233±1.345	67,087	67,447±1.349	67,161	67,367±1.279

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmalara ait sonuçlar incelendiğinde, kütle azaltma katsayısı hesaplamalarında XRF sonuçlarının WINXCOM sonuçları ile uyum halinde oldukları görülmektedir. Bu noktada XRF sonuçlarının WINXCOM sonuçlarına göre daha yüksek değerlerde konumlandığı gözlemlenmektedir. Bu noktada deneysel bakışın teorik sonuçlara göre buildup faktör hesaplamalarında olduğu gibi deneysel bir düzeltme faktörü eklenerek daha uyumlu hale getirebileceği belirlenmiştir.

Etkin atom numarası sonuçları incelendiğinde, ZXCOM hesaplamalarında saçılma açısı arttığında düşük atom numaralı elementlerden oluşan bileşiklerde azalma, yüksek atom numaralı elementlerden oluşan bileşiklerde artış trendi görülmektedir. ZXCOM değerleriyle XRF deneyleri sonucunda elde edilen etkin atom numaraları incelendiğinde bir uyum olmasıyla birlikte farklılıklarda olduğu görülmektedir. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki farkların kökeni gelen ve saçılan fotonların açısal frekansları farklılığı gerçeğinden gelir. Bu noktada saçılmadaki teorik hesaplamalar serbest elektron üzerine kurgulanmıştır. Ama gerçek bir noktada elektronlar ne sabit nede serbesttir. Bu noktada elektron hızları saçılan fotonların enerji dağılımında genişlemeye neden olur. Bu noktada deney ile teorik değerler arasındaki farklılığın açık kanıtı olarak tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile radyasyon zırlama parametrelerinin Rayleigh/Compton saçılma oranlarıyla ulaşılabileceği teorisini desteklemek amacıyla XRF sistemi açığa duyarlı hale getirilerek çeşitli numuneler için testler gerçekleştirilmiştir. Farklı açılarda gerçekleştirilen bu deneyler sonucunda hem teorik değerler ile uyumluluk hem de bu metodun X-ışını seviyesinde test edilebilirliği sorgulanmıştır. Bu noktada nitel ve nicel analiz amacıyla kullanılan XRF spektroskopisi kitlerine açı ile dönebilen kitlerin eklenmesiyle kaynak-numune-detektör üçlemeni farklı açılara uyarlayabilme fikri sunulmuştur. Bu noktada kullanım amacının yanında malzemenin zırlama yeteneği ile ilgili bir fikir verebilen sistemlerinde mümkün olduğu bu çalışma ile literatüre sunulmuştur.

Bu noktada literatürde yapılan deneysel sistemlerden daha ekonomik olan mini XRF sistemlerine geçiş yapılabileceği ve zırlama parametrelerini hesaplama çalışmalarında aktif olarak kullanılabileceği fikri önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Turhan, A. (2008). *Borlamanın paslanmaz çeliğin radyasyon zırhlama özelliğine etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-2.
2. Milazzo, M., and Cicardi, C. (1997). "Simple Methods for Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis of Ancient Metal Objects of Archaeological Interest" *X-Ray Spectrometry*, 26, 211–216.
3. Arık, E. (2013). *Domates yapraklarının XRF tekniği ile elemental analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2-3.
4. Demirezen, B. (2014). *Polimerik azometin bileşikleri ve geçiş metal komplekslerinin XRF ve XRD ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 18-20.
5. Krane, K. S. (1987). *Introductory Nuclear Physics* (3. Baskı). ABD: WILEY-VCH Verlag, 198-201.
6. Martin, J. E. (2013). *Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği* (1. Baskı). Türkiye: Palme Yayınevi, 46-50.
7. Turşucu, A. (2012). *Atom numarası $21 \leq Z \leq 71$ arasında olan nadir toprak elementlerinin ve oksitli bileşiklerinin etkin atom numaralarının gama ışınlarının saçılması ve soğurulmasından faydalanılarak bulunması ve K X-ışını şiddet oranlarına kimyasal etkinin araştırılması*, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 25-26.
8. İçelli, O. (2006). "Practical method for experimental effective atomic number in the coherent to Compton scattering ratio" *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 101, 151–158.
9. Yalçın, Z., İçelli, O., Okutan, M., Boncukçuoglu, R., Artun, O., and Orak, S. (2012). "A different perspective to the effective atomic number (Z eff) for some boron compounds and trommel sieve waste (TSW) with a new computer program ZXCOM" *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, 686, 43–47.
10. Karabul, Y. (2014). *Bazalt numunelerde EABF ve EBF parametrelerinin yeni bir metot ile tayini*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-14.

11. Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K. B., and Levring, H. (2001). "X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM" *Radiation Physics and Chemistry*, 60, 23–24.
12. Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K. B., and Levring, H. (2004). "WinXCom—a program for calculating X-ray attenuation coefficients" *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 653–654.
13. Eyecioglu, Ö., Karabul, Y., El-Khayatt, A.M., and İçelli, O. (2016). "ZXCOM: a software for computation of radiation sensing attributes" *Radiation Effects and Defects in Solids*, 171, 965–977.
14. Manohara, S. R., and Hanagodimath, S. M. (2007). "Studies on effective atomic numbers and electron densities of essential amino acids in the energy range 1keV–100GeV" *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 258, 321–328.
15. İçelli, O., and Erzeneoğlu, S. (2002) "Experimental study on ratios of coherent scattering to Compton scattering for elements with atomic numbers $26 \leq Z \leq 82$ in 59.5 keV for 55° and 115° " *Spectrochim. Acta - Part B At. Spectrosc.*, 57, 1317–1323.
16. Moreira, M. C. F., Conti, C. C., and Schirru, R. (2010) "A new NaI(Tl) four-detector layout for field contamination assessment using artificial neural networks and the Monte Carlo method for system calibration" *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, 621, 302–309.
17. Duvauchelle, P. Peix, G. and Babot, D. (1999) "Effective atomic number in the Rayleigh to Compton scattering ratio" *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 155, 221–228.
18. Pereira, M. O., Conti, C. D. C., Dos Anjos, M. J., and Lopes, R. T. (2012) "Correction of radiation absorption on biological samples using Rayleigh to Compton scattering ratio" *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 280, 39–44.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Karabul Pınar
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 1989-İstanbul
Medeni hali : Evli
Telefon : -
Faks : -
e-mail : -



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	-	-
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi	2012
Lise	Üsküdar Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-		

Yabancı Dil

İngilizce İyi

Yayımlar

-

Hobiler

Kitap okumak

A

Arduino · 13, 15

C

Compton · 5, 6, 12

E

Etkin Atom Numarası · 8, 10, 20

F

Fotoelektrik · 8, 10, 19

K

Kütle Azaltma Katsayısı · 8, 10,
19

Z

Zırhlama · 7, 10, 12





ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR..