



**ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI FLORESANS (ED-XRF)
SPEKTROSKOPİSİ KULLANILARAK STANDART KARŞILAŞTIRMA
YÖNTEMİYLE ALTIN AYARI TESPİTİ**

Damla Dicle ÇATAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2024

ETİK BEYAN

Gazi 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.

Damla Dicle ÇATAK

05/08/2024

ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI FLORESANS (ED-XRF) SPEKTROSKOPİSİ
KULLANILARAK STANDART KARŞILAŞTIRMA YÖNTEMİYLE ALTIN AYARI
TESPİTİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Damla Dicle ÇATAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2024

ÖZET

Altın, mücevherlerin veya ziynet eşyalarının içeriğinde farklı oranlarda bulunabilmektedir. Altının mücevher içerisindeki oranı, altın ayarı olarak bilinmektedir. Bu tezin amacı mücevher olarak kullanılan altının ayarının ve imitasyon altın mücevherinin belirlenmesinde ED-XRF spektrometresinin ve temel parametreler (TP) yönteminin kullanılarak, “standartlı” yeni bir analiz metodu belirlemektir. Altın mücevherindeki altın ayarının ve diğer elementlerin miktarını belirlemek için enerji ayrımlı X-ışınları spektrometresinden (ED-XRF) yararlanılmıştır. Tez çalışmasında, 10 – 50 kV gerilim ve 5 – 200 μ A aralığında akımla çalışabilen, maksimum 4 W gücünde, Ag-anotlu x-ışın uyarıcı kaynaklı ED-XRF sistemi 500 μ m Silikon Drift Diyot (SDD) dedektörü kullanılmıştır. Piyasada satışa sunulan farklı ayardaki altın numuneleri bu cihazlar yardımı X-ışını ile uyarılarak dedektörden alınan ölçümlerle yapılmış olan spektral analiz değerlendirmeleri sonucu altın numunelerinin şeklinde geometrisinde ve fiziksel formunda (metalik yada toz formu) tahribat olmadan standartlı olarak uygun ayarda olup olmadığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 20216
Anahtar Kelimeler : Altın, dedektör, ED-XRF, standartlı yöntem
Sayfa Adedi : 99
Danışman : Prof. Dr. Aynur ÖZCAN

GOLD CARAT DETECTION USING ENERGY DISPERSIVE X-RAY
FLUORESCENCE (ED-XRF) SPECTROSCOPY BY STANDARD COMPARISON
METHOD

(M. Sc. Thesis)

Damla Dicle ÇATAK

GAZI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2024

ABSTRACT

Gold can be found in different amounts in jewelry or ornaments. The proportion of gold in the jewel is known as gold carat. The aim of this thesis is to determine a new "standard" analysis method by using ED-XRF spectrometer and basic parameters (TP) method in determining the karat of gold used as jewelry and imitation gold jewelry. Energy dispersive X-ray spectrometry (ED-XRF) was used to determine the amount of gold carat and other elements in gold jewelry. In the thesis study, a 500 μm Silicon Drift Diode (SDD) detector with an Ag-anode x-ray exciter source and a maximum power of 4 W, which can operate with a voltage between 10 - 50 kV and a current between 5 - 200 μA , was used. Gold samples of different carats offered for sale in the market were stimulated with X-rays with the help of these devices, and as a result of the spectral analysis evaluations made with the measurements taken from the detector, it was determined whether the gold samples were in the appropriate carat as standard, without any damage to their shape, geometry and physical form (metallic or powder form).

Science Code : 20216
Keywords : Gold, detector, ED-XRF, standardized method
Number of Pages : 99
Supervisor : Prof. Dr. Aynur ÖZCAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteğini her an hissettiğim ve bu çalışmayı hazırlama imkânını bana sunan ve tez danışmanlığımı kabul ederek, tez çalışmam süresince bana her zaman anlayışla yaklaşan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Aynur ÖZCAN'a laboratuvar çalışmalarımdaengin tecrübe ve bilgisini esirgemeyen Ankara Nükleer Bilimler Enstitüsü müdürü Sayın Prof. Dr. Haluk YÜCEL'e ve tezimin yazım sürecinde emeği geçen herkese teşekkür ederim...

Prof. Dr. Engin ARIK'ın yürüdüğü yolda adım atmış olmanın gururunu hayatım boyunca taşıma şansını bana veren Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne ve eğitim hayatım boyunca elimden tutan ve yürüdüğüm yola eşlik eden aileme ve yöneticim Cansu NERGİZ'e sonsuz teşekkürlerimle...

Ayrıca Tez Çalışmamı FYL-2023-8660 kodlu Yüksek Lisans Projesi ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	5
2.1. X-Işınları	5
2.1.1. X-ışınlarının keşfi ve tarihçesi.....	5
2.1.2. X-ışını oluşumu ve kaynakları.....	7
2.1.3. X-ışını genel özellikleri	7
2.1.4. X-ışını dalga boyu ve enerji ölçekleri.....	8
2.2. X-Işını Spektroskopisi.....	9
2.3. X-Işını Çeşitleri.....	10
2.3.1. Bremsstrahlung - frenleme ışıması (sürekli X-ışınları)	10
2.3.2. Karakteristik X-ışınları	11
2.4. Elektromanyetik Dalgaların Madde İle Etkileşmesi	12
2.4.1. Fotoelektrik etki.....	15
2.4.2. Compton saçılması	17
2.4.3. Çift oluşumu	19
2.4.4. Auger etkisi.....	19

	Sayfa
2.4.5. Floresans verimi	19
2.4.6. Atomun Uyarılması	21
2.5. X-Işını Floresans Spektrometreleri	23
2.5.1. ED-XRF spektrometresi	26
2.5.2. WDXRF spektrometresi	27
2.5.3. ED-XRF ve WDXRF spektroskopilerinin karşılaştırması	28
2.6. X-Işını Floresans Uygulama Tekniği	29
2.7. Nitel (Kalitatif) Analiz	31
2.7.1. Elektron spektroskopisi ve X-ışını floresans teknikleri.....	31
2.7.2. ED-XRF ve WDXRF sistemleri	32
2.8. Nicel (Kantitatif) Analiz	32
2.9. XRF Spektrometresi Önemli Üniteleri ve İşlevleri.....	34
2.10. Radyasyon Ölçüm Sistemleri (Dedektörler)	35
2.10.1. Gazlı dedektörler	36
2.10.2. Sintilasyon (Pırl dama) Dedektörleri	36
2.10.3. Yarı-iletken dedektörler	37
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. ED-XRF Sistemi	39
3.1.1. Enerji dağılımlı XRF spektrometre sistemi	39
3.1.2. Tesir kesiti	42
3.1.3. K kabuğu x-ışını üretim tesir kesiti teorik ve deneysel hesabı	44
3.1.4. K X-ışını şiddet oranı teorik ve deneysel hesabı	48
3.1.5. K kabuğu floresans veriminin belirlenmesi.....	49
3.1.6. K kabuğu Boşluk Geçiş İhtimallerinin Hesaplanması.....	51
3.2. Sayma Sistemi	52
3.3. Ayırma Gücü (Rezolüsyon)	54

	Sayfa
3.4. Yüksek Voltaj Kaynağı	57
3.5. Ön Yükseltici	59
3.6. Yükseltici	61
3.7. Analog Dijital Dönüştürücü	62
3.8. Çok Kanallı Analizör (MCA).....	64
3.9. Spektrum ve Analiz Yazılımı.....	66
3.10. Numune Hazırlama	66
3.11. Temel Parametreler Kalibrasyonu.....	66
3.11.1. Tek standartlı kalibrasyon.....	67
3.12. Altın.....	67
3.12.1. Altın ve altının tarihsel gelişimi	68
3.12.2. Altının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	69
3.13. Alaşımlar	70
3.11.1. Alaşım hesapları	71
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	75
4.1. 8 Ayar Altın Analizi.....	78
4.2. 14 Ayar Altın Analizi.....	79
4.3. 18 Ayar Altın Analizi.....	80
4.4. 22 Ayar Altın Analizi.....	81
4.5. 24 Ayar Altın Analizi.....	82
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	89
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Ülkelere göre Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı.....	2
Çizelge 1.2. Ülkelere göre dünya mücevherat ihracatı	2
Çizelge 1.3. Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı	2
Çizelge 4.1. Analiz Sonuçları:	83



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. X ışınlarının tarihsel süreci.....	6
Şekil 2.2. X-ışını dalga boyu ve enerji ölçekleri.....	9
Şekil 2.3. Frenleme ışıması.....	11
Şekil 2.4. X-Işın Çizgilerinin Siegbahn notasyonu ile gösterimi.....	12
Şekil 2.5. X-ışınlarının madde ile etkileşmesi	13
Şekil 2.6. X-ışınlarının kalınlığı x olan madde ile etkileşmesi sonrasında meydana gelen olay	14
Şekil 2.7. ED-XRF Spektrometresi.....	27
Şekil 2.8. WDXRF Spektrometresi	28
Şekil 3.1. ED-XRF sistemi ve kaynak-numune-dedektör geometrisi	42
Şekil 4.1. 8 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz.....	78
Şekil 4.2. Spectra ile 8 ayar altın analizi.....	78
Şekil 4.3. 14 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz.....	79
Şekil 4.4. Spectra ile 14 ayar altın analizi.....	79
Şekil 4.5. 18 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz.....	80
Şekil 4.6. Spectra ile 18 ayar altın analizi.....	80
Şekil 4.7. 22 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz.....	81
Şekil 4.8. Spectra ile 22 ayar altın analizi.....	81
Şekil 4.9. 24 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz.....	82
Şekil 4.10. Spectra ile 24 ayar foil altın analizi	82
Şekil 4.11. Altın ayarı ve altın yüzdesi grafiği	83

RESİMLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Resim 2.1. Wilheam Röntgen'in el röntgeni	6
Resim 4.1. Deney düzeneği tepeden görünüm.....	76
Resim 4.2. Işınlama penceresi	76
Resim 4.3. Numune ile ışınlama	76
Resim 4.4. Deney düzeneği tam set	76
Resim 4.5. 24 Ayar sertifikalı altın foil analiz değerleri.....	77
Resim 4.6. Deneyde kullanılan 24 ayar sertifikalı altın foili	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Ag	Gümüş (Silver)
Al	Alüminyum
Be	Berilyum
c	Işık Hızı
eV	Elektron Volt
Fe	Demir
FWHM	Full Width at Half Maximum
Ge(Li)	Lityum Dopingli Germanyum Dedektörü
h	Planck sabiti
Si(Li)	Lityum Dopingli Silisyum Dedektörü
HV	Yüksek Voltaj
KeV	Kilo Elektron Volt
kV	Kilovolt
μA	Mikroamper
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
ppm	μg/g veya mg/kg
W	Watt
ω	Floresans verimi
Å	Ångström
λ	Dalga Boyu

Kısaltmalar

Açıklamalar

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
ADC	Analog-Dijital Çevirici
AES	Auger Elektron Spektroskopisi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CdTe	Kadmiyum Tellür
ED-XRD	Enerji Dağılımlı X-Işını Kırınım Spektroskopisi
ED-XRF	Enerji Dağılımlı X-Işını Floresansı Spektroskopi Tekniği
ED-XRFS	Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi
ESCA	Elektron Spektroskopisi için Kimyasal Analiz
EXAFS	Genişletilmiş X-Işını Absorpsiyon İnce Yapısı
HgI₂	Cıva(II) İyodür
kVp	Kilovolt Peak (maximum voltage in kilovolts)
MCA	Çok Kanallı Analizör
PIXE	Parçacık Uyarımlı X-Işını Emisyonu
PV	Fotovoltaik / Güneş Pili
SDD	Silikon Drift Diyot Dedektör
SEM-EDX	Taramalı Elektron Mikroskobu ile Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi
SSXRF	Synchrotron-Based Scanning X-Ray Fluorescence
TP	Temel Parametreler Yöntemi
TRXRF	Toplam Yansıma X-Işını Floresansı
WD-XRFS	Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi
XANES	X-Işını Absorpsiyon Kenarı Yapısı
XAS	X-Işını Absorpsiyon Spektroskopisi
XPS	X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi
XRD	X-Işını Kırınımı
XRF	X-Işını Floresansı
XRFS	X-Ray Floresans Spektrometresi

1. GİRİŞ

Yaşadığımız dünyada maddeleri oluşturan elementler yapısal özelliklerine göre metal, ametal ve soy gaz olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar ve şu ana kadar bilinen elementlerin büyük bir kısmı metalik özellik gösteren elementlerdir. Metalik malzemelerin kullanımlarındaki bazı avantajlarından dolayı, eski çağlardan beri, metaller hep ilgi görmüşlerdir. Sadece çeşitli işlerde kullanılan malzemelerde değil, takı, mücevher olarak da çağlar boyu devam eden kullanımları vardır. Dolayısıyla metallerin eski çağlardan bu yana bir bakıma insanların bir parçası olduklarını söyleyebiliriz.

Altın, bütün metaller arasında değerli bir metal olmasının yanı sıra, iletkenlik, şekil alma kabiliyeti, alaşım yapabilme gibi bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri açısından da olumlu özelliklere sahip bir metaldir.

Kişiler ve çeşitli kurumlar değişik sebeplerden dolayı altın saklamaktadırlar. Gelir düzeyi yüksek kişilerin spekülatif amaçlı altın tutmalarına karşın, gelir düzeyi düşük kişiler daha çok korunma amaçlı altın tutmaktadırlar. Altın tarihinden gelen etki ile güven unsuru olarak psikolojik olarakta gömüleme yapılmasına sebep olmaktadır. Finans kurumlarının yeterince gelişmediği ve finansal yatırım araçlarının çeşitliliğinin az olduğu, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde güven güdüsü ile altın gömülmesi oldukça yaygındır. Bu sebepten dolayı altın yatırım aracı olarak tercih edilmektedir. Nakit fonları altına yatırarak enflasyonun etkilerinden kurtulmaya çalışmak gömülemenin en önemli sebeplerinden biridir (Tilbe, 2010).

Türkiye mücevherat sektörü gelişimini zamanla artan oranlarda sürdürmektedir. Son yıllarda Türkiye altın ve mücevher piyasasında önemli ülkelere biri haline gelmiştir. Türkiye altın mücevher üretiminde ilk 10 ülke arasındadır. İstanbul altın ve mücevher üretim merkezidir. Türkiye mücevherat sektörü 400 ton altın ve 200 ton gümüş işleme kapasitesine sahiptir. Mücevher endüstrisi, Türkiye'deki en büyük endüstriler arasındadır. Yaklaşık 250.000 civarında çalışan istihdam edilmektedir (Çizelge 1.1, 1.2 ve 1.3).

Çizelge 1.1. Ülkelere göre Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı, T.C. Ekonomi bakanlığı (2017). (Değer: Milyon ABD \$)

Değer: ABD \$	2014	2015	2016	2015-2016 DEĞİŞİM %	2016 % PAY
B.A.E	1 455,08	1 166,229	1 434,817	23,0	39,0
IRAK	485 768	454 636	542 091	19,02	14,7
İRAN	818 503	857 589	396 909	-53,7	10,8
A.B.D.	116 834	144 541	192 736	33,3	5,2
HONG KONG	71 276	68 627	109 761	59,9	3,0
ALMANYA	70 124	61 096	106 699	74,6	2,9
FAS	84 200	67 768	95 521	41,0	2,6
İSRAİL	61 369	66 551	79 274	19,01	2,2
BELÇİKA	85 079	68 293	71 823	5,2	2,0

Çizelge 1.2. Ülkelere göre dünya mücevherat ihracatı, (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017).

ÜLKELER	2013	2014	2015
ÇİN	28889	48513	18647
İSVİÇRE	9024	10789	11057
HİNDİSTAN	10603	13088	9992
A.B.D	9635	10319	9671
HONG KONG	7080	7680	6736
İTALYA	6983	6938	6299
İNGİLTERE	4394	5198	6242
FRANSA	3841	4542	4484
TÜRKİYE	3411	4347	3757
TAYLAND	3725	3854	3641
SİNGAPUR	3423	3361	2839
B.A.E	9242	11806	2662
MALEZYA	2204	1873	1669
ALMANYA	1485	1630	1657
JAPONYA	810	1374	1635
ENDONEZYA	177	2115	1039
MEKSİKA	497	576	597
İSPANYA	585	416	374
DOMİNİK CUM.	195	251	374
LÜBNAN	82	57	314
TOPLAM	112491	143870	97715

Çizelge 1.3. Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı, (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017).

YIL	İHRACAT
1999	287,7
2000	384,2
2001	431,1
2002	567,5
2003	707,8
2004	931,9
2005	1128
2006	1097
2007	1490
2008	1585

Çizelge 1.3. (devam) Türkiye'nin altın mücevherat ihracatı, (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2017).

YIL	İHRACAT
2009	1086
2010	1443
2011	1847
2012	2562
2013	3307
2014	4244
2015	3660
2016	3676

Tabiattan elde edilen saf altına kuyumculukta “has” denir. Has altın, bu haliyle çok yumuşak olduğundan kuyumculukta kullanılmaz. İçerisine bakır, nikel, çinko v.b.gibi bir takım katkı maddeleri karıştırılır (Gümüş alaşımında ise genellikle adi metal olarak bakır tercih edilir) ve böylece belirli oranlarda altın alaşımları elde edilir. Bu katkı maddeleri birtakım hesaplar yapılarak altın içerisine belirli oranlarda konur. Elde edilen bu altın alaşımlarının içindeki saf altın oranına “ayar” denir. Ayar veya Avrupa’ da kullanıldığı gibi karat, altın alaşımı içindeki saf altının 1/24 oranında gösterilişidir.

Fakat bu oranların doğru ayarlanıp ayarlanmadığı hatta altın olarak piyasaya sunulan materyallerin ayarlarının üzerinde yazanla uygun olup olmadığı ya da gerçekten altın içerip içermediği elle veya gözle tayin edilemez. Bu nedenle materyale zarar vermeyecek şekilde yani tahribatsız olarak muayene yapılması ve ölçüm alınması gerekmektedir.

X-ışınları floresansı (XRF) tekniği, madencilik, tıp, çevre, yer bilimi, adli bilimleri, malzeme bilimi ve endüstri uygulamaları dahil çok geniş bir uygulama alanına sahip oldukça pratik bir nükleer analiz yöntemidir.

XRF tekniği ile metal alaşımlarının, altın ve diğer değerli metallerin, maden cevherlerinin, minerallerin, yarı mamul veya mamul metalurjik ürünlerin, seramiklerin, cam malzemelerin; kil, toprak ve sediment örneklerinin, biyolojik örneklerin nitel ve nicel analizlerinin yapılması mümkündür (Sharma, 2012). Tahribatsız bir yöntem olması nedeniyle arkeolojik eserlerin ve sanat eserlerinin analizlerinde de özel bir kullanım alanına sahiptir. Adli bilimler alanında tamamlayıcı başka analitik tekniklerle, örneğin X-Işını Kırınım Spektroskopisi (XRD)- birlikte kullanılmaktadır (Jenkins ve diğerleri, 2000). Uygulama alanlarını çevresel çalışmalarda toksik maddelerin belirlenmesi, endüstriyel ürünlerin standardizasyonu ve kalite kontrolü gibi daha da genişletmek mümkündür. Farklı amaç ve uygulama alanları için

değişen kabiliyetlerde XRF sistemleri bulunmakla birlikte tüm bu sistemlerde incelenecek numuneler bir X-Işını kaynağı vasıtasıyla uyarılmakta ve numuneden gelen floresans ışınları tespit edilerek şiddetleri ölçülmektedir. Bu şiddetler uygun bir analitik yöntemle elementel derişimlere dönüştürülerek rapor edilmektedir.

Altın, mücevherlerin veya ziynet eşyalarının içeriğinde farklı oranlarda bulunabilmektedir. Altının mücevher içerisindeki oranı altın ayarı olarak bilinmektedir. İmitasyon veya sahte olarak da adlandırılan: İçinde altın olmayan, altın görünümlü mücevher ve ziynet eşyası da bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı mücevher olarak kullanılan altının ayarının ve sahte, imitasyon olup olmadığının belirlenmesinde ED-XRF spektrometresinin ve temel parametreler (TP) yöntemi kullanılarak, “standartlı” yeni bir analiz metodu belirlemektir.

Bu çalışmada, piyasada satılan farklı ayarda altın numunelerinin ayarlarının belirlenmesinde EDXRD ve Silikon Drift Diyot (SDD) dedektörü kullanılarak Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans (ED-XRF) spektroskopisi tekniği ile standart karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyon uygulamaları incelenecektir.

Mücevherdeki altının ve diğer elementlerin miktarını belirlemek için enerji ayrımlı x-ışınları spektrometresinden (ED-XRF) yararlanılacaktır. ED –XRF geniş element aralığında yüksek hassasiyette elemental analiz için uygun bir metot olması nedeniyle tercih edilmiştir. Kullanılacak ED – XRF deney düzeneği 10 – 50 kV gerilim ve 5 – 200 μ A aralığında akımla çalışabilen, maksimum 4 W gücünde, gümüş hedefli bir X – Işını tüpüne sahiptir. Sistem dedeksiyonu 1- 25 KeV aralığındaki X-ışınlarını 25%’in üzerinde verimlilikle algılayan, 5,9 KeV’de 125 eV YYTG (Yarı Yükseklikte Tam Genişlik) sağlayabilen çözünürlükte SDD (Silikon Drift Dedektör) ile sağlamaktadır.

Bu tez çalışması Gazi üniversitesi Bilimsel araştırma Projelerinin içinde yer alan 8660 Proje ID, FYL-2023-8660 Proje Kodlu, Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında tamamlanmıştır

Çalışmalarımızın deneysel kısımları ve analizleri Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. X-Işınları

X ışınları, atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri veya yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması sonucunda oluşan 0,01 nm- 10 nm aralığındaki dalga boylarına sahip radyasyon olarak tanımlanır. X-ışınlarının dalga boyları ve enerji düzeyleri, onların farklı malzemelerle etkileşimlerini anlamada ve uygulamada kritik bir rol oynar. Bu özellik, X-ışınlarını bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez kılar. Elektromanyetik radyasyon olan X ışınları kalitatif ve kantitatif analizlerde kullanılır.

2.1.1. X-ışınlarının keşfi ve tarihçesi

Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından 8 Kasım 1895 tarihinde keşfedilmiş olan X-ışınları, başlangıçta bilinmeyen doğası nedeniyle matematikte bilinmeyi ifade etmek için kullanılan "X" harfi ile adlandırılmıştır.

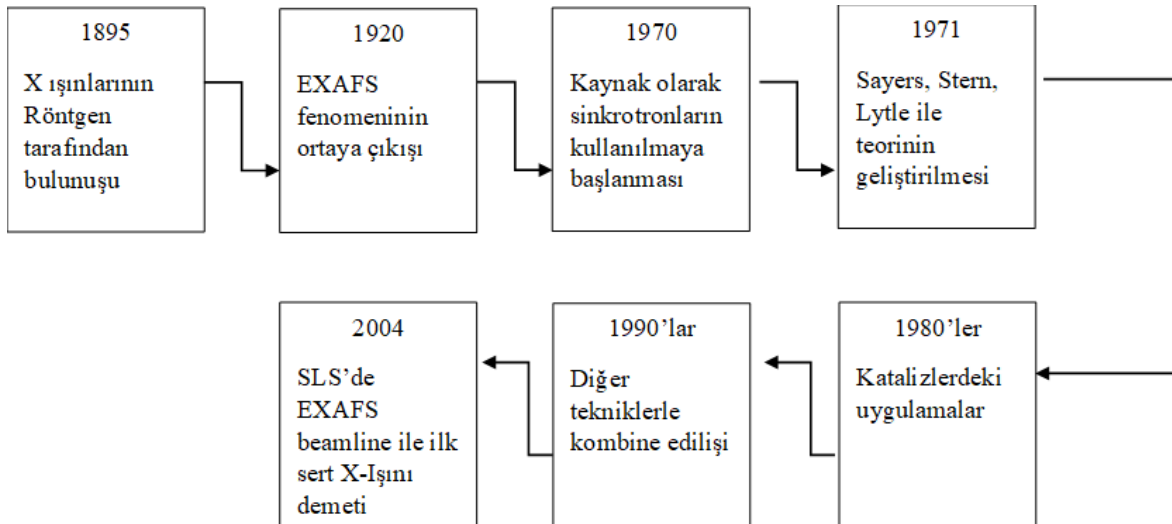
Röntgen, tarafından yapılan bu keşif, tesadüfi bir bulgu ile başlamıştır. Röntgen, Crookes tüpünde katot ışınları üzerinde çalışırken, tüpten geçen yüksek gerilimli elektrik akımının etkisiyle uzakta bulunan baryum platinosiyani kristallerinde garip bir parlama (floresans) gözlemler. Bu beklenmedik olay üzerine, Röntgen, ışınların özelliklerini daha detaylı bir şekilde incelemeye başlar.

Deneylerini sürdüren Röntgen, farklı maddelerin ışınların geçişine ve etkisine nasıl tepki verdiğini araştırır. Kurşun gibi bazı maddelerin ışınları tuttuğunu ve bu sayede parlamanın azaldığını gözlemler. Ayrıca tüp ile kristal arasına çeşitli maddeler koyarak ışınların geçirgenliğini test eder. En dikkat çekici gözlemi ise, kendi parmak kemiklerinin gölgesini görmesi olur. Bu olay üzerine, eşinin elini fotoğraf plağı üzerine koyarak ilk radyogramı elde etmiştir.



Resim 2.1. Wilheam Röntgen'in el röntgeni

Röntgen, buluşunun detaylarını hızla bilim dünyasıyla paylaştı. Röntgen'den önce de benzer deneyler yapan araştırmacılar olduğu bilinmekteydi. Ancak bu araştırmacılar, gözlemlerinin önemini anlayamamış ve ileri araştırmalar yapmamışlardı. Röntgen'in keşfi, o dönemde büyük yankı uyandırdı ve 1896'da Londra'da Kraliyet Derneği tarafından Rumford Madalyası ile ödüllendirildi. Ayrıca, 1901 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görüldü. Bu keşif, modern tıp ve bilimsel görüntüleme tekniklerinin temelini oluşturdu ve X-ışınlarının tıp alanında kullanımı, teşhis ve tedavide devrim yarattı.



Şekil 2.1. X ışınlarının tarihsel süreci

2.1.2. X-ışını oluşumu ve kaynakları

X-ışınlarının oluşumu, genellikle atomaltı olaylarla ilişkilidir ve oluşumuna göre Doğal X-ışınları ve Yapay X-ışınları olarak ikiye ayrılır.

Doğal X-ışınları, atomların içinde gerçekleşen çeşitli nükleer olaylar sonucunda meydana gelir. Bu olaylar arasında, atom çekirdeğinin belirli enerji seviyelerinden elektron yakalaması, iç dönüşüm, alfa ve beta bozunumu yer alır. Bu tür doğal olaylar sonucunda ortaya çıkan X-ışınları, atomaltı parçacıkların etkileşimleriyle oluşur ve çeşitli ortamlarda gözlemlenebilir.

Yapay X-ışınları, ise genellikle dış kaynaklardan gelen yüksek enerjili parçacıkların etkileşimi sonucunda meydana gelir. Bu parçacıklar genellikle hızlandırılmış elektronlar, protonlar veya iyonlardır. Yapay X-ışınları üretimi, tıbbi görüntüleme, endüstriyel muayene ve bilimsel araştırmalar gibi çeşitli alanlarda kullanılır.

X-ışını kaynakları arasında, tıpta kullanılan radyolojik cihazlar, endüstriyel radyografi ekipmanları, parçacık hızlandırıcıları ve nükleer reaktörler gibi teknolojiler bulunur. Bu kaynaklar, belirli uygulamalara yönelik olarak X-ışınlarını üretmek için tasarlanmıştır ve uygun güvenlik önlemleri alınmadığında potansiyel riskler taşıyabilirler.

2.1.3. X-ışını genel özellikleri

X-ışınlarının genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Boşlukta ışık hızı ile doğrusal yayılır.
2. Manyetik ve elektrik alanda sapmaz ve yüksüzdür.
3. Dalga boyları kısa elektromanyetik dalgalardır.
4. Yüksek enerjili olduğundan kurşun blok hariç maddelerden geçerler
5. Enine dalgadır.
6. Elektromanyetik dalga olduğu için maddeden geçerken saçılma uğrar, bir kısmı soğurulur.
7. Kırınım, girişim, yansıma gibi özellikleri vardır.

X Işınlarının özellikleri detaylı olarak incelendiğinde;

Dalga-Parçacık İkiliği: X ışınları, bazı durumlarda dalga gibi davranırken, diğer durumlarda parçacık gibi davranabilirler.

Dalga Karakteri: X ışınları, Maxwell denklemleriyle açıklanan elektromanyetik dalgalar olarak hareket ederler. Bu dalgalar, elektrik ve manyetik alanların birbirlerine dik ve dalgalar halinde yayılmasıyla karakterize edilirler.

Parçacık Karakteri: X ışınları, foton adı verilen parçacıklar şeklinde de düşünülebilirler. Fotonlar, elektromanyetik dalgaların taşıyıcısı olan ve enerjiyi belirli miktarlarda taşıyan parçacıklardır.

Enerji Seviyeleri: X ışınlarının enerjisi, fotonların frekansı veya dalga boyuyla ilişkilidir. Daha yüksek enerjili X ışınları, daha kısa dalga boylarına veya daha yüksek frekanslara sahip olacaktır.

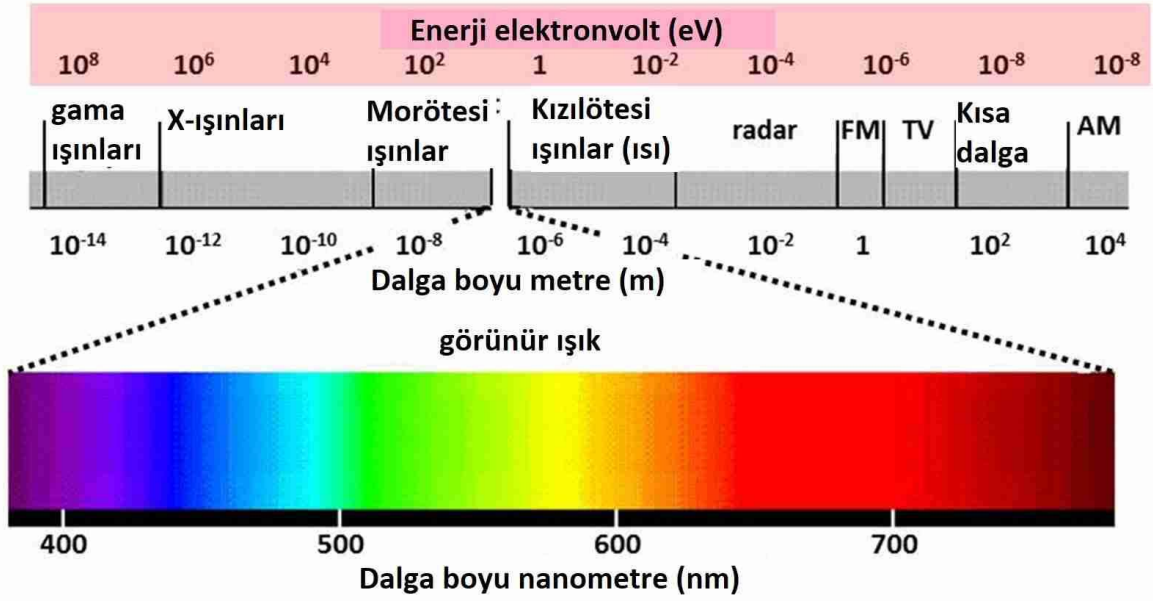
Işınım Sürekliliği ve Karakteristik Çizgiler: X ışınları, bir kaynaktan yayıldığında genellikle sürekli bir spektrum oluştururlar. Bununla birlikte, belirli atomik geçişler sonucunda belirli enerjilere sahip X ışınları üretilebilir, bu da karakteristik çizgiler olarak adlandırılır.

Etkileşim ve Emilim: X ışınları, maddeyle etkileşime girerek saçılma, emilim veya geçiş gibi olaylara neden olabilirler. Bu etkileşimler, malzemelerin iç yapısını belirlemede veya belirli özelliklerini analiz etmede kullanılabilir.

Işınımın Güvenliği ve Tehlikeleri: Yüksek enerjili X ışınları, insan dokularıyla etkileşime girerek biyolojik etkilere neden olabilir. Bu nedenle, X ışınlarına maruz kalma süresi ve yoğunluğu, iş sağlığı ve güvenliği açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

2.1.4. X-ışını dalga boyu ve enerji ölçekleri

X-ışınları, elektromanyetik spektrumun yüksek enerji bölgesinde bulunan kısa dalga boylarına sahip olan bir tür radyasyondur. Genellikle 10 nanometre (nm) ve daha kısa dalga boylarına sahip olan X-ışınları, ultraviyole ışınlarının ötesinde yer alır. X-ışını fotonlarının enerjileri, iç kabuk elektronlarının bağlanma seviyeleri (K, L, M, ...) ile aynı büyüklüktedir ve bu nedenle atomik seviyeleri uyarıp araştırmak için kullanılabilirler.



Şekil 2.2. X-ışını dalga boyu ve enerji ölçekleri

Bir X-ışını fotonunun dalga boyu, enerjisiyle ters orantılıdır. Matematiksel olarak ifade edildiğinde, dalga boyu (λ) ve enerji (E) arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Burada, h Planck sabiti, c ışık hızı ve λ dalga boyunu temsil eder.

Bir X-ışını fotonunun enerjisi, genellikle elektronvolt (eV) cinsinden ölçülür. Bir elektronvolt, bir voltluk potansiyel farkı ile hızlandırılmış bir elektronun kinetik enerjisidir ve yaklaşık olarak $1.602 \cdot 10^{-19}$ joule'e eşittir.

2.2. X-Işını Spektroskopisi

X ışınları spektroskopisi, X ışınlarının maddenin yapısal ve kimyasal özelliklerini incelemek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu teknik, X ışınlarının özellikle atomik düzeyde etkileşimlerini ve bu etkileşimlerin sonuçlarını inceleyerek malzemelerin bileşimi, yapısı ve davranışı hakkında bilgi sağlar.

X ışınları, maddenin içine nüfuz edebilme özelliğine sahiptir ve atomlarla etkileşime girdiklerinde karakteristik bir spektrum üretir. Bu spektrum, malzemenin bileşimini ve iç

yapısını belirlemek için kullanılabilir. X ışınları, bir örneğe gönderildiğinde, örnekle etkileşime girer ve bu etkileşim sonucunda karakteristik X ışınları veya dağılan X ışınları üretir. Bu ışınların yayılma açısı ve enerjisi, bileşimi ve yapısı hakkında bilgi sağlar.

X ışınları spektroskopisi, birçok farklı teknik içerir. Bunlar arasında X ışını floresans spektroskopisi, X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS veya ESCA), X ışını difraksiyonu ve X ışını emilim spektroskopisi gibi yöntemler bulunur. Her bir teknik, farklı analiz yöntemleri ve hassasiyet seviyeleri ile belirli uygulama alanlarına sahiptir.

X ışınları spektroskopisinin çeşitli teknikleri bulunmaktadır:

X Işını Floresans Spektroskopisi (XRF): Bu teknikte, bir örneğe yüksek enerjili X ışınları gönderilir ve örnekten yayılan karakteristik X ışınları ölçülür. Bu yöntem, elementlerin kalitatif ve kantitatif analizi için kullanılır.

X Işını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS): X ışınları, örnek yüzeyindeki elektronları serbest bırakır ve bu elektronların enerjileri ölçülür. Bu teknik, yüzey kimyası ve bağ enerjisi analizlerinde kullanılır.

X Işını Difraksiyonu (XRD): Kristal yapı malzemelerde X ışınları, atom düzlemlerinden saçılır. Saçılan X ışınlarının desenleri, kristal yapının belirlenmesine olanak tanır.

X Işını Emilim Spektroskopisi (XAS): X ışınlarının emilimi, bir elementin atomik çevresi ve elektronik yapısı hakkında bilgi verir. XANES ve EXAFS bu yöntemin alt dallarıdır.

2.3. X-Işını Çeşitleri

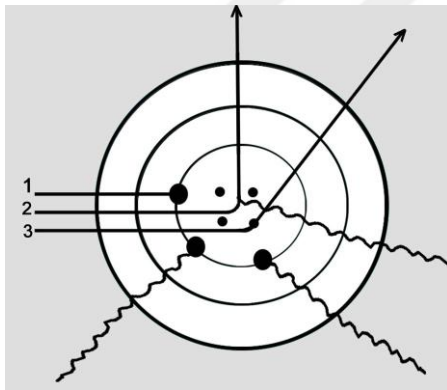
Genel olarak, X ışınları iki ana süreçle üretilir: hızlandırılmış elektronların maddeyle etkileşimi ve atomların iç kabuk elektronlarının yer değiştirmesi. Bu süreçler, sürekli ve karakteristik X ışınlarını oluşturur.

2.3.1. Bremsstrahlung - frenleme ışıması (sürekli X-ışınları)

Sürekli X ışınları, hızlandırılmış elektronların bir hedef materyal içindeki atom çekirdeklerine yakın geçişler yaparken yavaşlamaları sonucu ortaya çıkar. Hedef atomun

pozitif yükü, elektron demetinin negatif yükü tarafından etkilenir ve bu etkileşim elektronların ivmeli hareket yapmasına ve dışarıya fotonlar yaymasına neden olur. Bu tür ışımaya sürekli bir enerji spektrumuna sahiptir ve Bremsstrahlung veya frenleme radyasyonu olarak adlandırılır. Sürekli X ışınlarının enerjisi, hedef malzemenin yoğunluğu ve elektronun hareket yönü ile frenleyici çekirdek arasındaki uzaklık çekim kuvvetiyle azalır.

Sürekli X ışınları geniş bir frekans aralığında ışımaya sahiptir ve bu nedenle beyaz X ışınları olarak da bilinir. Elektronların hedefe çarpması sonucunda, elektronların enerjisinin bir kısmı sürekli X ışınlarının oluşmasına neden olur. X ışını üretimi olasılığa dayalıdır ve verilen bir elektron herhangi bir yolu alabilir ve enerjisinin tamamını kaybederek hedef çekirdeği geçebilir. Bremsstrahlung ışınları, ivmelenme enerjisi kadar tüm enerjilerde ve tüm yönlere yayılır. Örneğin; tungsten ve molibden gibi materyallerde, X ışını spektrumu gelen elektronun maksimum enerjisine kadar sürekli bir enerji dağılımına sahiptir. Elektronların kinetik enerjisinin büyük bir kısmı iyonlaşma için harcanırken geri kalan kısmı ise ısı olarak kaybolur.



Şekil 2.3. Frenleme ışınması

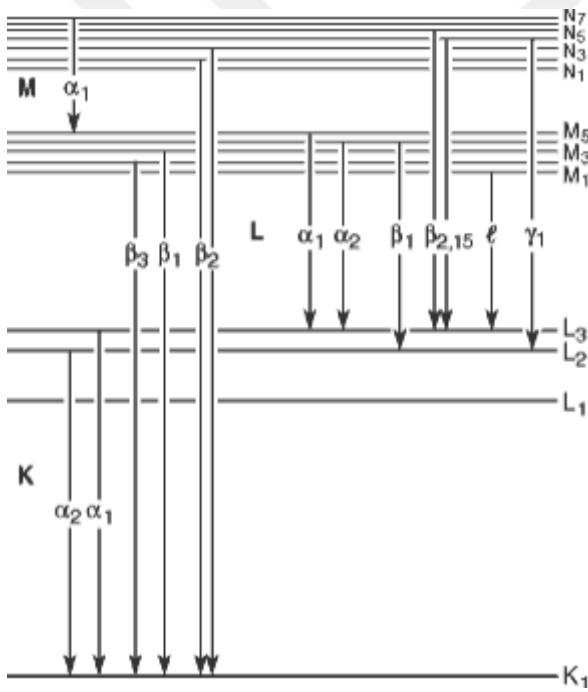
2.3.2. Karakteristik X-ışınları

Karakteristik X ışınları ise, atomların iç kabuk elektronlarının enerjik bir olay sonucunda yerinden çıkarılmasıyla oluşur. Üst enerji seviyelerindeki elektronlar, bu boşluğu doldurmak için daha düşük enerji seviyelerine inerken, enerji farkı kadar bir X ışını fotonu yayarlar. Bu fotonların enerjisi, her element için özgün olup, belirli ve ayırt edici değerler taşır. Karakteristik X-ışınları, bir elementin parmak izi gibi özgündür bu nedenle elementin tayin edilmesinde kullanılır. Bu tür X-ışınları, yüksek enerjili elektronların bir atomun iç

tabakalarındaki elektronları uyararak veya kovalent bağdaki elektronlar ile etkileşime girmesi sonucu ortaya çıkar.

Atomların içindeki elektronların enerji seviyeleri arasındaki geçişler, K, L, M, N gibi kabukların içinde meydana gelir. Bu geçişler sonucunda oluşan karakteristik X ışınları, $K\alpha$, $K\beta$, $L\alpha$, $L\beta$ gibi çizgiler şeklinde görülür. Örneğin, bir atomun K kabuğunda oluşan boşluk, üst kabuk olan L kabuğundaki bir elektron tarafından doldurulduğunda, bu geçişin sonucunda $K\alpha$ veya $K\beta$

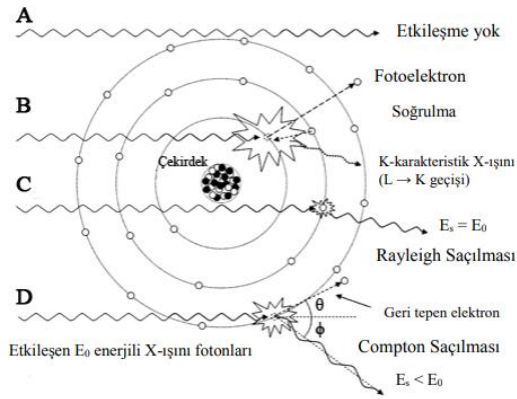
β çizgisiyle ilişkilendirilen karakteristik X ışınları yayılır.



Şekil 2.4. X-Işın Çizgilerinin Siegbahn notasyonu ile gösterimi (XDB, 2024)

2.4. Elektromanyetik Dalgaların Madde ile Etkileşmesi

Elektromanyetik radyasyonun bir madde ile etkileşimi sonucunda, radyasyon atomun çekirdeği ve serbest veya bağlı haldeki elektronlarla çeşitli etkileşimlere girer. Bu etkileşimler sonucunda yüklü parçacıklara kinetik enerji aktarılır. Bu süreçler arasında enerji kaybının meydana geldiği (inkoherent veya Compton saçılması) veya enerji kaybının olmadığı (koherent) saçılma olayları, enerjinin tamamen soğurulması ile oluşan fotoelektrik olay ve çift oluşumu gerçekleşir.



Şekil 2.5. X-ışınlarının madde ile etkileşmesi (Seibert ve Bonn, 2005)

Saçılma olayları;

Koherent (Rayleigh) Saçılma: Gelen fotonların enerjilerinin kaybolmadığı elastik saçılma olayıdır. Bu tür saçılma, kristal malzemelerde kırınım olayı olarak da gözlemlenir.

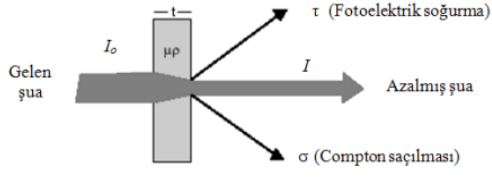
İnkoherent (Compton) Saçılma: Gelen fotonların enerjilerinin bir kısmını kaybettiği inelastik saçılma olayıdır. Saçılan fotonlar, daha uzun dalga boylu ve daha düşük enerjili olurlar.

Soğurma olayları;

Fotoelektrik Etki: İç kabuk elektronlarının dışarı atılmasıyla oluşan boşlukların, üst kabuklardan elektron geçişleriyle doldurulması sırasında X-ışını yayımlanır.

Çift Oluşumu: Yüksek enerjili fotonların, çekirdek yakınında pozitif ve negatif yüklü bir çift oluşturarak tamamen soğurulmasıdır.

Elektromanyetik radyasyonun malzemelerle etkileşimi, fiziksel analiz yöntemlerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir ve özellikle malzeme bilimi ve spektroskopi alanlarında kritik öneme sahiptir. Kalınlığı x olan bir madde üzerine elektromanyetik radyasyon gönderildiğinde, radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu şiddetinde bir azalma gözlenir



Şekil 2.6. X-ışınlarının kalınlığı x olan madde ile etkileşmesi sonrasında meydana gelen olay

Bu azalma, malzemenin kalınlığı, atom numarası ve gelen elektromanyetik radyasyon fotonunun yönü ile etkileşeceği ikincil parçacığın yönü arasındaki açı farklılığına bağlıdır. Eğer soğurucu maddenin kalınlığı yeterli bir büyüklüğe ulaşırsa, gelen parçacıklar tüm enerjilerini kaybeder ve enerji çıkışı gözlemlenmez.

Elektromanyetik radyasyonun maddeyle etkileşiminde, maddenin kalınlığı, atom numarası ve gelen radyasyonun enerjisi gibi faktörler önemlidir. Gelen radyasyon, madde içinde ilerlerken enerji kaybeder ve şiddeti azalır. Bu azalma, Lambert-Beer yasası ile tanımlanır ve bu yasa, soğurucu malzemenin kalınlığına bağlı olarak üstel bir azalmayı ifade eder. Lambert-Beer yasası, birim kalınlıkta malzemeyi geçen elektromanyetik radyasyon demetinin şiddetindeki azalmanın, soğurucu malzemenin kalınlığına bağlı olarak üstel şekilde azalacağını göstermektedir.

Lambert – Beer Yasası:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t}$$

I_0 : gelen ışının şiddetini,

I : soğurulan ışın demetinin şiddetini,

μ : lineer soğurma katsayısını,

t : maddenin kalınlığını temsil eder.

2.4.1. Fotoelektrik etki

Fotoelektrik etki, bir foton ile atomun bağı bir elektronu arasındaki etkileşim sonucu gerçekleşir. Bu etkileşimde, foton tüm enerjisini elektrona aktarır ve bu enerji transferi sonucunda elektron serbest hale geçer. Bu olaya fotoelektrik olay, serbest hale geçen elektrona ise fotoelektron denir. K kabuğundan sökülen elektronun enerjisi şu şekilde ifade edilir:

$$T_{fe} = E_{\gamma} - E_b$$

E_{γ} : gelen fotonun enerjisini,

E_b : başlangıç enerjisini ifade eder

Foton enerjisi, elektronun bağlanma enerjisine ne kadar yakınsa, fotonun soğurulma olasılığı o kadar büyük olur. Foton enerjisi, elektronun bağlanma enerjisinden daha düşük olduğunda ise fotoelektrik olayın meydana gelme olasılığı azalır.

Fotoelektrik olayın meydana gelme olasılığı, fotoelektrik tesir kesiti veya fotoelektrik soğurma katsayısı ile tanımlanır.

Fotoelektrik etkileşme tesir kesiti , σ_{pe} , enerjili bir foton için şu denklemle ifade edilir.

$$\sigma_{pe} \propto Z^n E_{\gamma}^3$$

Burada:

Z , atom numarasını,

n , atomun özelliklerine bağlı bir katsayıyı,

E_{γ} , fotonun enerjisini ifade eder.

Bu denklem, yüksek atom numaralı elementlerin fotonları soğurmada daha etkin olduğunu gösterir. Ayrıca, fotoelektrik etkinin düşük enerjilerde baskın olduğunu, ancak yüksek enerjilerde ihmal edilebilir hale geldiğini de açıklar (Debertin ve Helmer, 1988).

$h\nu$ ve W ifadeleri ise fotoelektrik olay için şu ilişkiyi gösterir :

$$h\nu = W + T_e$$

$h\nu$ foton enerjisini, W ise malzemenin iş çıkarma eşiğini , T_e ise fotoelektronun kinetik enerjisini ifade eder.

Eğer $h\nu = W$, o zaman fotoelektrik etki gerçekleşir ve elektron serbest bırakılır. Burada:

h : Planck sabiti ($6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

ν : Fotonun frekansını,

W : İş fonksiyonu veya elektronun çekirdekten kurtulmak için gereken minimum enerji,

T_e : Elektronla aktarılan kinetik enerji

Eğer $h\nu = W$ ise, fotonun enerjisi iş fonksiyonuna (W) eşit olduğunda, elektron serbest bırakılır. Bu, fotonun enerjisinin elektronu çekirdekten çıkarmak için gerekli minimum enerjiye eşit olduğu anlamına gelir.

$h\nu = W$ ise, fotoelektronların kinetik enerjisi sıfırdır. Düşük enerjilerde foton-elektron etkileşimleri dış yörüngelerde gerçekleşirken, yüksek enerjilerde iç yörüngelerde gerçekleşir.

Fotoelektrik soğurma işleminde, bir foton atom tarafından tamamen soğurulur ve bir iç kabuk elektronu koparılır. Fotonun bir kısmı elektronun bağlanma enerjisini yenmek için, geri kalan kısmı ise elektrona kinetik enerji aktarmak için etkileşime girer. Etkileşimden sonra, iç kabuklardan birinde boşluk olduğundan atom uyarılmış hale gelir. Atom, bir Auger elektronu veya karakteristik X-ışını fotonu yayımlayarak daha kararlı bir duruma geri döner. Bu işlemin ikinci kısmı X-ışını fluoresansı olarak adlandırılır. Yayımlanan

karakteristik X-ışınlarının sayısının, oluştuğu atom kabuğundaki toplam iç kabuk boşluklarının sayısına oranı, o kabuğun fluoresans verimi olarak adlandırılır.

Orta ve ağır elementler için K kabuğu iyonlaşması sonrası kararlı hale dönüş genellikle ışıma yoluyla olurken, hafif elementlerde bu olay baskın olarak Auger elektronu üretimi ile gerçekleşir. Fotoelektrik soğurma, yalnızca fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden büyük veya eşit olduğunda meydana gelir. Örneğin, 15 keV enerjili X-ışını fotonları bir Fe atomundan bir K elektronu ($K = 7.112 \text{ keV}$) veya L3 elektronu ($L3 = 0.706 \text{ keV}$) koparabilir. Ancak, 5 keV enerjili bir foton böyle bir atomdan yalnızca L kabuğu elektronlarını koparabilir. Fotoelektrik soğurma, atomun her bir enerji seviyesinde oluşabileceğinden, toplam fotoelektrik tesir kesiti belirli kabuk ve altkabukların toplamından oluşur.

2.4.2. Compton saçılması

Compton saçılması, bir elektron ile bir foton arasındaki doğrudan etkileşim sonucunda gerçekleşen bir olaydır. Bu etkileşimde, fotonun bir kısmı elektrona transfer edilir ve fotonun hareket yönü değişir. Bu süreçte, elektron fotonun geliş doğrultusundan belirli bir açıyla saçılır. Saçılan elektrona geri tepen elektron veya Compton elektronu denir. Fotoelektrik olayın aksine, Compton saçılması dış tabaka elektronlarında daha baskındır ve Compton saçılması, elektronun bağlanma enerjisinin gelen fotonun enerjisi yanında ihmal edilecek kadar küçük olduğu durumlarda etkili olarak gözlemlenir.

Compton elektronuna verilen enerji, enerji korunumu ilkesi ve momentum korunumu ilkesi kullanılarak hesaplanır.

Gelen fotonun enerjisi E_γ ve saçılan fotonun enerjisi E'_γ arasındaki ilişki, momentum ve enerjinin korunumu ilkesine dayanır. Bu ilişki, Compton saçılması deneyi sonucu elde edilmiştir.

Compton saçılması deneyine göre, bir foton, bir serbest elektronla çarpıştığında, saçılan fotonun enerjisi ile saçılma açısı arasında belirli bir ilişki bulunur. Bu ilişki, şu formülle ifade edilir:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta')} \quad (2.1)$$

E_γ , gelen fotonun enerjisi,

E'_γ , saçılan fotonun enerjisi,

$m_0 c^2$, elektronun dinleme enerjisi. Bu, elektronun kütlesinin enerjiye dönüştürülme eşdeğeridir. m_0 Elektronun dinlenme enerjisini, c ışık hızı ve c^2 ışık hızının karesidir.

θ' , saçılma açısı. Bu fotonun saçılma yönünün gelen fotonun geliş yönünden sapmasıdır.

Bu formül, Compton saçılması deneyindeki enerji ve momentum korunumu ilkesini temsil eder. Gelen foton serbest bir elektronla etkileştiğinde, saçılan fotonun enerjisi ve saçılma açısı bu formül ile hesaplanabilir.

Bu denklemler kullanılarak elektronun kinetik enerjisi elde edilir.

Çarpışmadan sonra elektronun ve fotonun, maksimum ve minimum enerjisi radyasyon ölçümleri için önemlidir.

$\theta = \pi$ olduğunda saçılan foton minimum enerjiye, elektron maksimum enerjiye sahip olur.

$\theta = 0$ olduğunda ise saçılan foton maksimum enerjiye, elektron minimum enerjiye sahip olur ve bu durumda saçılmanın olmadığını gösterir. Bu durumdan, saçılan fotonun minimum enerjisinin sıfırdan büyük olduğu sonucuna varılır. Dolayısıyla, Compton saçılmasında gelen fotonun bütün enerjisini elektrona vermesi imkânsızdır. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda gerçekleşen saçılma, fotonun yön değiştirmesine neden olan radyasyon ve madde arasındaki etkileşmedir. Fotonun enerjisi saçılmadan önce ve sonra aynı ise olay elastik veya Rayleigh saçılması olarak adlandırılır. Fotonun enerjisinin bir kısmını kaybettiği durumlarda ise olay elastik olmayan veya Compton saçılması olarak adlandırılır.

2.4.3. Çift oluşumu

Çift oluşumu, bir çekirdek ile bir foton arasındaki etkileşimdir. Bu etkileşimde, çekirdeğin etki alanına giren foton yok olur ve bir elektron-pozitron çifti oluşur. Çekirdeğin durumu değişmezken, çift oluşumu için çekirdeğin varlığı gereklidir. Elektron ve pozitronun kütlesi eşit ancak zıt işaretlidir. Bu olay çekirdek etrafında gerçekleştiği için korunum ilkesi ihlal edilmez; yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur. Çift oluşumu olayının gerçekleşebilmesi için fotonun enerjisinin, elektronun durgun enerjisinin (1,022 MeV) iki katından daha büyük olması gerekir.

Çift oluşumu sonucunda oluşan elektron ve pozitron, çevredeki atomlar tarafından yavaşlatılır. Pozitron en sonunda bir elektronla reaksiyona girerek yok olur. Eğer bu olay, pozitronun kinetik enerjisinin tamamen kaybolduktan sonra gerçekleşirse, yaklaşık 511 keV enerjili iki foton üretilir. Bu iki foton, momentum korunumu gereği hemen hemen zıt yönde yayılır.

2.4.4. Auger etkisi

Atomda herhangi bir sebeple dış kabukta oluşan boşluk, iç bir kabuktaki elektronla doldurulur. Bu süreçte salınan foton, üst kabuktaki bir elektronu daha söker. Sökülen elektrona "Auger elektronu" denir ve bu olaya "Auger Olayı" adı verilir.

Auger olayı ışımalı ve ışımasız olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Işımalı Auger olayında, fotoelektronun fırlatılmasıyla K kabuğunda boşluk oluşur. Atom, taban durumuna çeşitli metotlarla geri dönebilir. Işımasız Auger olayında L kabuğundan K kabuğuna elektronik geçiş sırasında, $K\alpha$ çizgisinin emisyonu yerine, enerji $E_K - E_L$ alınarak L kabuğundan M kabuğuna ikinci bir elektron fırlatılır. Sonuç olarak, atom iki kez iyonize olur ve bu süreç $K \rightarrow LM$ olarak gösterilir.

2.4.5. Floresans verimi

Atomik yapıda, bir kabukta veya alt kabukta meydana gelen bir boşluğun, dışarıdan gelen bir elektronla ışımalı bir geçiş yaparak doldurulma olasılığına floresans verimi denir. Bu terim, atom numarası arttıkça artar ve $Z > 78$ olan elementlerin K kabuğundaki verimleri, diğerlerine kıyasla belirgin şekilde daha yüksektir (Bertin, 1975). K kabuğundan

kaynaklanan bir boşluğun, üst kabuklardan gelen bir elektronla karakteristik bir X-ışını yayarak doldurulma olasılığı, K kabuğuna özgü bir floresans verimi olarak adlandırılır ve aşağıdaki formülle gösterilir:

Bu denklemde ω_K karakteristik X-ışınlarının floresans verimini, I_K numuneden yayımlanan karakteristik X ışınlarının sayısını ve η_K K kabuğunda oluşan boşluk sayısını temsil eder.

$$\omega_K = I_K \eta_K$$

Bu denklem, karakteristik x ışınlarının floresans veriminin, numuneden yayımlanan bu x ışınlarının sayısı ile kabukta oluşan boşluk sayısının çarpılmasıyla hesaplandığını ifade eder. Bu, floresans spektroskopisinde karakteristik x ışınları üretimini ve özelliklerini anlamak için önemlidir.

Diğer bir formülasyon olan floresans verimi alt kabuklar arasındaki geçişlere bağlı ışıma genişliğini genişliğini $\Gamma_R(L_i X)$ ve $\Gamma(L_i)$ seviyesi için toplam genişliği temsil eder. Bu bağlamda,

$X = L_j, j > i$ olarak tanımlanır, j ve i alt kabukları gösterir.

Daha yüksek atomik kabuklar için floresans verimi tanımlamak daha karmaşıktır çünkü K kabuğunun dışında kalan diğer kabuklar, birden fazla alt kabuğa ayrılmıştır ve ortalama floresans verimi, bu alt kabukların iyonize olma şekillerine bağlı olarak değişiklik gösterir.

K kabuğunun dışındaki kabukların alt kabukları arasında Coster-Kronig geçişleri meydana gelebilir (Zschornack, 2007).

Atomik düzeyde, kabuklar arası geçişler,

$$\Delta n \neq 0$$

$$\Delta n = 0,$$

$$\Delta l = \pm 1$$

$\Delta l = \pm 1$ ve

$\Delta j = \pm 1, 0$

$\Delta j = \pm 1, 0$ koşullarına tabidir. Bu koşulları karşılamayan geçişlere yasak geçişler denir.

$\Delta n = 0$, alt kabuklar arasındaki geçişlere, yani alt kabuklar arasındaki boşluk transferine, Coster-Kronig geçişleri adı verilir.

Çizelgeye dayalı bir formülde, bir atomik kabuğun veya alt kabuğun floresans verimini hesaplamak için kullanılan formül şu şekildedir.

$$\omega = \frac{\sum N_{ik} \cdot \omega_{ik}}{\sum N_{ik}} \quad (2.2)$$

N_{ik} , i inci kabuktan meydana gelen boşlukların oransal sayısını temsil eder.

ω_{ik} , i inci alt kabuğun floresans verimini ifade eder.

Bu formül, her alt kabuktan gelen fotonların oranını gösterir. Toplam boşluk sayısının ağırlıklı ortalama floresans verimine oranı, kabuktan yayılan fotonların olasılığını temsil eder. Bu, atomik düzeydeki enerji seviyelerinin etkileşimlerini ve floresans spektrumun nasıl oluşturulduğunu anlamak için kullanılır.

2.4.6. Atomun Uyarılması

Atomdaki bir elektronun çıkarılması ve bunun sonucunda iyonlaşmanın meydana gelmesi, uyarılma olarak adlandırılır. Bir madde X-ışınları ile uyarıldığında, bu ışınlar primer (birincil) ışınlar, atom tarafından yayılan floresans ışınlar ise karakteristik X-ışınları denir. Uyarılma, çalışmanın amacına uygun olarak çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir:

- Elektronlarla uyarma,
- Protonlar, döteronlar, alfa parçacıkları ve diğer iyonlarla uyarma,
- Radyoizotop kaynaklardan yayılan X veya gamma ışınları ile ışınlama,

- Analitin soğurma kenarından daha kısa dalga boyuna sahip hedef elementlerden yayılan ikincil X-ışınları ile ışınlama. Bu ikincil hedefler, X-ışını tüpü veya radyoizotop kaynaktan yayılan primer fotonlarla uyarılır.
- X-ışını tüplerinden yayılan primer X-ışınları ile uyarma,
- Sinkrotron kaynaklarla uyarma,
- Self-uyarma veya oto-uyarma.

X-ışını spektrometresiyle yapılan ilk çalışmaların çoğunda elektronlarla uyarma yöntemi kullanılmıştır. Ancak, klasik X-ışını floresans spektrometrelerinde elektronlarla uyarma yöntemi, ısı dağılımı sorunları ve yüksek vakum gereksinimi nedeniyle kullanışlı bulunmamıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan uyarıcı kaynak X-ışını fotonlarıdır. Bu kaynaklar, birincil dalga boyu ayırmalı ve birincil enerji ayırmalı sistemlerde kullanılırken, ikincil floresans ışıma tarzı, ikincil hedefli enerji ayırmalı spektrometrelerde kullanılır. Gamma kaynakları radyoaktif izotoplardan elde edilir ve X-ışını analizinde genellikle radyoizotop kaynaklar tercih edilir.

Radyoizotop kaynaklar, yüksek enerjili gamma ışınları ve karakteristik X-ışınları olmak üzere iki tür radyasyon yayar. Radyoizotopların aktivitesi, radyoaktif atomların bozunma hızı ile orantılıdır ve saniyedeki bozunma sayısı olarak tanımlanır. Bu aktivite, Curie (Ci) veya SI birim sisteminde Becquerel (Bq) ile ifade edilir. Bir Curie, 3.7×10^{10} Bq'ye eşittir. Radyoizotop kaynaklar tarafından yayılan X-ışınlarının sayısı zamanla azalır ve radyoizotopun belirli bir sürede bozulan miktarı aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$N(t)$, belirli bir sürede bozulan radyoizotop miktarını temsil eder.

N_0 , başlangıçtaki radyoizotop miktarını ifade eder.

λ , bozulma sabitini gösterir.

t , zamanı ifade eder.

Radyoizotopların yarı ömrü $T_{1/2}$ ile ilişkilidir. Şu ilişkiyi sağlar.

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$

Bu denklem bir radyoizotopun belirli bir sürede bozunma hızını hesaplamak için kullanılır.

Atomun uyarılmasında radyoizotop kaynakların güvenli kullanımı uluslararası standartlarla düzenlenmiş olup, bu standartlar genellikle sağlık bakanlıkları veya atom enerji kurumları tarafından yürütülür. Radyoaktif madde kullanımı için gerekli lisanslar bu kuruluşlar tarafından verilir.

Gamma kaynakları ve gamma-X ışını kaynakları, düşük maliyetleri ve taşınabilirlikleri nedeniyle, toplam foton akısı düşük olmasına rağmen atomun uyarılmasında yaygın olarak kullanılır. Proton ve sinkrotron kaynakları, klasik frenleme radyasyonu kaynaklarına göre daha yüksek hassasiyet sunar.

2.5. X-Işını Floresans Spektrometreleri

X-ışınları floresans (XRF) tekniği, foton-madde etkileşimi sonucu meydana gelen karakteristik X-ışınlarının ve saçılma fotonlarının nicel ve nitel değerlendirilmesine dayanan bir analiz yöntemidir. Katı, sıvı, toz ve gaz gibi çeşitli hallerdeki numunelere uygulanabilir. XRF, hızlı, duyarlı ve güvenilir analizler sunarak malzemelere zarar vermeden düşük maliyetle ölçüm yapma imkânı sağlar. Bu nedenle, bilimsel ve teknolojik araştırmalarda yaygın olarak kullanılır.

XRF sistemleri, sodyumdan uranyuma kadar olan elementlerin analizlerini ppm seviyesinden yüzde konsantrasyon seviyesine kadar tahribatsız, hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirebilir. Portatif mikro-XRF cihazları, 70 mikrometre çapındaki alanlarda tarama ve haritalama yapabilir ve numune hazırlama işlemi gerektirmeden element analizleri gerçekleştirebilir. Bu cihazların taşınabilir olması, yerinde analiz yapılabilmesini mümkün kılar.

XRF tekniğinin uygulama alanları:

- Temel Fizik Araştırmaları
- Metalurji ve Alaşım Analizleri
- Maden Filizlerinin Analizleri
- Radyoaktif Cevher Analizleri
- Endüstride Safsızlık Analizleri (Plastik, Lastik, Kâğıt, Cam)
- Petrol Ürünleri, Boya ve İnce Film Analizleri
- Kömürlerde Kül, Kükürt ve Nem Tayinleri
- Çeşitli Bitki Örneklerinin İncelenmesi
- Çevre Araştırmaları
- Arkeoloji Araştırmaları
- İnce Metal ve Film Kaplama Kalınlıklarının Tayinleri
- XRF spektrometreler çevresel, jeolojik, biyolojik, kimyasal, fiziksel ve endüstriyel numunelerin kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) element analizlerinde yaygın olarak kullanılır.

Günümüzde X-ışını floresans tekniği için pek çok spektrometre geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır.

- Atomik Emisyon Spektrometre (AES)
- Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS)
- Parçacık Uyarımlı X-Işını Spektrometre (PIXE)
- Toplam Yansımali X-Işını Spektrometre (TRXRF)
- Sinkrotron Uyarımlı X-Işını Spektrometre (SSXRF)
- X-Işını Floresans Spektrometre (XRFS)
- Enerji Ayrımlı X-Işını Floresans Spektrometre (ED-XRFS)
- Dalgaboyu Ayrımlı X-Işını Floresans Spektrometre (WD-XRFS)

XRF tekniğinin temel prensibi

XRF tekniğinin temel prensibi, gelen foton tarafından atomun uyarılmasıyla atomun iç tabaka elektronunun koparılmasıdır. Atomun temel hale geçişi sırasında, daha dış tabakadaki

bir elektron bu iç tabakadaki boşluğu doldurur. İki tabaka arasındaki enerji farkı, bir X-ışını fotonu olarak yayımlanır ve karakteristik X-ışını spektrumu oluşturur. Piklerin enerjileri numunedeki elementlerin türlerini (kalitatif analiz), piklerin şiddeti ise elementlerin konsantrasyonlarını (kantitatif analiz) belirler.

Tipik bir XRF spektrometresi, bir primer radyasyon kaynağı (genellikle bir radyoizotop ya da X-ışını tüpü) ve numuneden yayımlanan X-ışınlarını (sekonder X-ışınları) saymak için kullanılan bir dedektör grubundan oluşur. X-ışını spektrometrelerinin temel fonksiyonu, karakteristik çizgi şiddetlerini ölçmek ve numuneden gelen çok enerjili ışınları ayırmaktır. Spektrometrenin karakteristik çizgileri ayırabilme yeteneğine rezolüsyon denir. Bir spektrometre, yeterli rezolüsyona sahip olmanın yanı sıra, özellikle eser element analizinde istatistiksel olarak anlamlı ölçümler yapabilmek için yeterince büyük bir temel sayma seviyesi sağlamalıdır. Ayrıca, spektrometre ilgilenilen dalga boyu veya enerji bölgesinde ölçüm yapabilmelidir. Bu nedenle, spektrometre seçiminde aşağıdaki dört faktör önemlidir:

- Rezolüsyon
- Cevap Fonksiyonu (karakteristik pik)
- Temel Sayma Seviyesi
- Enerji veya Dalga Boyu Aralığı

Bu faktörler birbirinden bağımsız değildir; örneğin, rezolüsyonu sabit tutmak, mutlak pik şiddetinin düşmesine neden olabilir.

XRF tekniğinin avantajları ve kullanım alanları

XRF tekniği, çok çeşitli avantajlara sahiptir:

- Tahribatsız Analiz: Numunelere zarar vermeden analiz yapılabilir.
- Multi-Element Analiz: Birden fazla elementi aynı anda analiz edebilme imkânı sağlar.
- Hızlı ve Güvenilir: Kısa sürede güvenilir sonuçlar elde edilebilir.
- Düşük Maliyet: Ekonomik bir analiz yöntemidir.
- Otomasyon Kolaylığı: Otomatik sistemler ile entegre edilebilir.

Bu avantajlar, XRF tekniğini bilim ve teknoloji alanlarında yaygın hale getirmiştir. XRF tekniği, atom-molekül fiziği, çevre kirliliği analizleri, radyasyon fiziği, astrofizik araştırmaları, eczacılık, kimya ve tıbbi araştırmalar, endüstride kalite kontrol, arkeolojide tarihi eserlerin incelenmesi ve yaşlarının belirlenmesi gibi birçok alanda kullanılır. Sonuç olarak, X-ışını floresans tekniği, element analizleri için güçlü, esnek ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknik, bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır.

2.5.1. ED-XRF spektrometresi

Enerji Ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi (ED-XRF)

ED-XRF spektrometreler, karakteristik fotonları enerjilerine göre ayırmak için dedektörün orantılılık özelliğini kullanır. Bu spektrometreler, aynı anda çeşitli elementlere ait bilgiyi aktarabilme yeteneğine sahiptir. Bu avantajlarına rağmen, rezolüsyonları WDXRF spektrometrelere kıyasla biraz daha düşüktür. Ancak, bilinmeyen elementleri tespit etme yetenekleri ve genel arıza problemlerinin azlığı nedeniyle tercih edilmektedirler. Özellikle hurda alaşım ayırımı ve adli bilimler gibi alanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar.

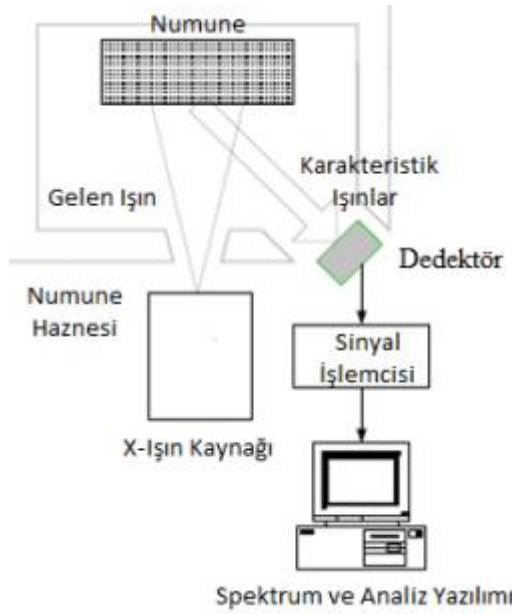
ED-XRF spektrometrenin yapısı ve özellikleri

- Uyarıcı kaynak, dedektör ve sayma sistemi temel bileşenleridir.
- Genellikle Si(Li) veya Ge(Li) dedektörler kullanılır.
- Dedektörlerin enerji çözünürlüğü dedektöre ve dedektör amplifikatörüne bağlıdır.
- Veri oluşturmak, pulsları ayırmak ve belirlemek için çok kanallı analizör kullanılır.
- Spektrum genellikle bir katot ışını tüpü ekranında gösterilir.
- Spektrum üzerinde çeşitli operasyonlar yapılabilir: sayma çıkarması, logaritmik veya lineer skalada spektrum gösterimi, spektral soyma (stripping), pik belirleme ve kantitatif analiz gibi. tercih edilme sebebini oluşturur.

Dedektör ve analiz sistemi

Enerji Dağılımlı X-ışını Floresans (ED-XRF) spektrometrelerde yaygın olarak Si(Li) veya Ge(Li) dedektörleri kullanılmaktadır. Bu dedektörler, altın kontaklı yaklaşık 0,02 mm

kalınlığında bir ön yüzey ve bunu takip eden 1 mm kalınlığında bir silikon veya germanyum ölü tabakaya sahiptir. Bu iki tabaka, düşük enerjili X-ışını fotonlarını emme özelliğine sahiptir. ED-XRF spektrometrelerinde, veri oluşturmak, sinyalleri ayırmak ve belirlemek için çok kanallı analizörler kullanılır. Çıkış, genellikle bir katot ışını tüpü ekranında gösterilir ve operatör (spektroskopist) çeşitli kanalların içeriğini enerji spektrumunda görebilir.



Şekil 2.7. ED-XRF Spektrometresi (Amptek Inc., 2024)

2.5.2. WDXRF spektrometresi

Dalga Boyu Ayırımı X-ışını Floresans Spektrometresi (WDXRF) numuneden yayımlanan karakteristik fotonları dalga boylarına göre ayırmak için tek kristal tarafından kırınım olayını esas alır. Bu sistemler, genellikle programlanmış oldukları elementleri ölçebilirler ve enerji ayırımı sistemlere kıyasla daha yüksek hassasiyete sahiptirler.

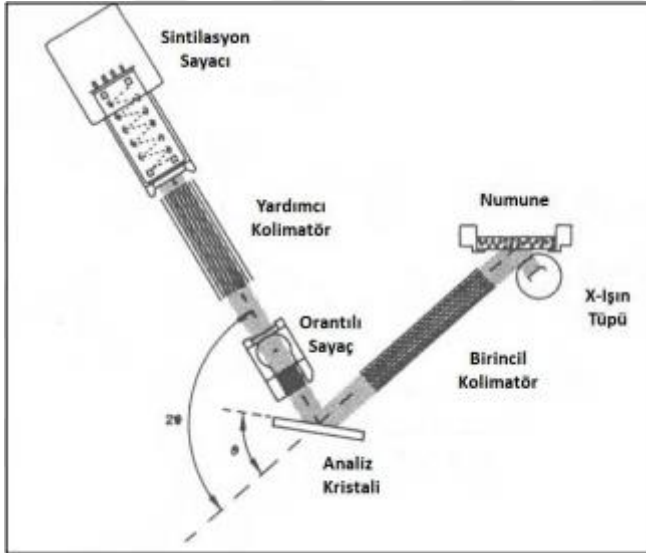
WDXRF spektrometrenin yapısı ve özellikleri

- Numuneden yayımlanan fotonlar, tek kristal tarafından kırınım olayı ile dalga boylarına göre ayrılır.
- Genellikle demirli ve demirsiz alaşımlar, yağlar, atıklar, tortular, cevherler, mineraller ve ince filmler gibi maddelerin analizinde kullanılırlar.
- Çok kanallı sistemlere kıyasla daha yavaş çalışırlar.

Dedektör ve analiz sistemi

WDXRF spektrometrelerde, rezolüsyon ve şiddet ölçümleri daha kontrol edilmiştir. Rezolüsyon genellikle 10-100 eV arasındadır ve dedektör seçimi büyük önem taşır. WDXRF sistemlerinde, dedektörler genellikle oda sıcaklığında dedektör özelliği gösteren CdT veya HgI₂ gibi materyallerdir. Rezolüsyon, analitik kristalin açılma dağılımına ve kolimatör diverjansına bağlıdır.

Yüksek hassasiyet, belirli elementleri programlanmış olarak ölçebilme, daha kontrollü rezolüsyon ve şiddet ölçümleri avantaj olarak sıralanabilirken; tek bir elementi aynı anda ölçme özelliğinin olmaması ve ED-XRF'a göre yüksek maliyetli olması dezavantajlarıdır.



Şekil 2.8. WDXRF Spektrometresi (Jenkins, 1999)

2.5.3. ED-XRF ve WDXRF spektroskopilerinin karşılaştırması

Her iki sistem de farklı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. ED-XRF, çoklu element analizi ve beklenmeyen elementleri seçmede kullanışlıdır, ancak düşük rezolüsyonu nedeniyle hassas analizler için ideal değildir. Öte yandan, WDXRF, belirli elementleri programlanmış olarak ölçme kabiliyeti ve yüksek hassasiyeti ile dikkat çeker. Uygulanacak olan analiz gereksinimlerine bağlı olarak, hangi sistemin tercih edileceği belirlenmelidir.

2.6. X-Işını Floresans Uygulama Tekniği

X-Işını Floresans (XRF) spektrometreleri, çevresel, jeolojik, biyolojik, kimyasal, fiziksel ve endüstriyel gibi çeşitli alanlarda numunelerin kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) element analizleri için yaygın olarak kullanılan analitik cihazlardır. XRF tekniği, atomik emisyon spektrometre (AES), atomik absorpsiyon spektrometre (AAS), parçacık uyarımlı X-ışını spektrometre (PIXE), toplam yansımali X-ışını spektrometre (TRXRF), sinkrotron uyarımlı X-ışını spektrometre (SSXRF), X-ışını floresans spektrometre (XRFS), enerji ayrımlı X-ışını floresans spektrometre (ED-XRFS) ve dalga boyu ayrımlı X-ışını floresans spektrometre (WD-XRFS) gibi çeşitli türleri içerir.

XRF tekniği, numuneye uygulanan bir primer radyasyon kaynağı genellikle bir radyoizotop ya da X-ışını tüpü kullanılarak gerçekleştirilir. Gelen fotonlar atomları uyarır ve iç tabaka elektronlarını koparır. Bu durumda, daha dış tabakadaki elektronlar bu boşluğu doldururken, iki tabaka arasındaki enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak yayımlanır. Bu süreç, karakteristik piklerin oluştuğu bir X-ışını spektrumu yaratır. Piklerin enerjileri numunedeki elementlerin belirlenmesini (kalitatif analiz), piklerin şiddeti ise elementlerin konsantrasyonlarının ölçülmesini sağlar (kantitatif analiz).

XRF tekniği, geniş bir uygulama yelpazesi sunar ve tahribatsız analiz imkânı, hızlı analiz süresi, numune hazırlama kolaylığı ve yüksek hassasiyet gibi avantajlara sahiptir. Başlıca kullanım alanları şunlardır:

Atom-molekül fiziği: Elementlerin atomik ve moleküler yapılarını incelemek.

Çevre kirliliği analizleri: Toprak, su ve hava kalitesinin izlenmesi.

Radyasyon fiziği ve astrofizik: Kozmik ve nükleer araştırmalar.

Eczacılık, kimya ve tıbbi araştırmalar: İlaç ve kimyasal bileşenlerin analizi.

Endüstride kalite kontrol: Metal, çimento, polimer ve plastik üretiminde kalite kontrol.

Arkeoloji: Tarihi eserlerin incelenmesi ve yaşlarının belirlenmesi.

Teknik özellikler ve avantajlar

XRF, neredeyse tüm periyodik Çizelge elementlerini inceleme imkânı tanır ve yüksek hassasiyet (ppm seviyesinde) sunar. Ayrıca, analizler genellikle düşük maliyetli ve otomatiktir. XRF sistemleri, enerji ayrımlı (ED-XRF) ve dalga ayrımlı (WDXRF) sistemler olarak ikiye ayrılır. ED-XRF, sodyumdan uranyuma kadar olan elementleri analiz edebilirken, WDXRF berilyumdan uranyuma kadar geniş bir aralığı kapsar. XRF ile yapılan analizlerde numunenin floresans verimi, tesir kesiti ve Coster-Kronig geçişleri gibi temel parametreler incelenebilir.

XRF sistemlerinde, düşük atom numaralı elementlerin tespiti, yüksek atom numaralı elementlere göre daha zordur. Bu durumun başlıca nedenleri şunlardır: Düşük atom numaralı elementlerde floresans veriminin azalması. X-ışını tüplerinden yayılan uzun dalga boylu X-ışını fotonlarının sayısının azalması. Analiz çizgisinin dalga boyunun artmasıyla soğurma etkisinin artması. Bu nedenlerden dolayı, düşük atom numaralı elementlerin analizi daha zor ve hassasiyet daha düşüktür. Ancak, yeni geliştirilen ultra-ince pencereci dedektörler ile oksijene ($Z=8$) kadar olan elementlerin karakteristik X-ışını spektrumları ölçülebilmektedir. WDXRF sistemlerinde flor ($Z=9$) ve özel kristaller kullanılarak berilyuma ($Z=4$) kadar olan elementler analiz edilebilir. Sonuç olarak, XRF spektroskopisi, geniş dinamik aralık, yüksek hassasiyet ve numune hazırlama kolaylığı gibi avantajlarıyla, çevresel analizlerden madencilığe, eczacılıktan endüstriyel kalite kontrolüne kadar geniş bir uygulama alanı sunar. XRF tekniği, hızlı ve doğru sonuçlar elde etmek için ideal bir yöntem olup, bilim ve teknolojinin birçok alanında vazgeçilmez bir araçtır.

XRF, geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır:

- Çevre Bilimi: Toprak, su ve hava örneklerinde kirletici analizleri.
- Jeoloji ve Madencilik: Cevher ve mineral analizleri.
- Malzeme Bilimi: Alaşım, polimer, seramik ve cam gibi malzemelerin bileşen analizleri.
- Arkeoloji: Tarihi eserlerin ve antik materyallerin kimyasal analizleri ve yaş tayinleri.
- Endüstri: Üretim süreçlerinde kalite kontrol ve proses izleme.
- Eczacılık ve Kimya: İlaç ve kimyasal bileşenlerin analizi.

XRF tekniği, bilim ve teknoloji alanlarında, çevresel analizlerden endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. ED-XRF ve WDXRF sistemleri, farklı avantaj ve dezavantajlara sahip olup, belirli uygulamalar için uygun spektral çözünürlük ve hassasiyet sunarlar. XRF'nin geniş uygulama alanı ve çok yönlülüğu, onu analitik kimyada önemli bir araç haline getirmektedir.

2.7. Nitel (Kalitatif) Analiz

2.7.1. Elektron spektroskopisi ve X-ışını floresans teknikleri

Elektron spektroskopisi ve X-ışını Floresans (XRF) teknikleri, elementlerin kalitatif analizlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü yöntemlerdir. Bu teknikler, dedekte edebildikleri aralıktaki elementlerin varlığını tespit edebilme kapasitesine sahiptir. Her iki yöntemde de kullanılan metotlar benzerdir, numunelerin spektrumları dalga boyu aralığında kaydedilir ve bu spektrumlarda belirli çizgi yayan elementler, şiddetleri ve dalga boylarından (enerjilerinden) tanımlanabilir. Karakteristik spektrumun ayrıntılı çizelgesi, bu analizlerin gerçekleştirilmesinde önemli bir rol oynar.

Spektral araştırmalar, bilgisayar kontrollü olduğunda ve enerji ayırmalı spektrometreler kullanıldığında analiz süreci oldukça hızlanır. Elektron mikroskoplarında bulunan çoklu spektrometreler, spektrumun farklı parçalarının aynı anda kaydedilmesiyle kalitatif analizlerin hızını arttırabilir. Bu durum, spektral verilerin daha hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır.

Numunelerin çeşitli şekillerde hazırlanması, bu numunelerin fiziksel ve kimyasal durumlarını değiştirebilse de (özellikle XRF'de), spektroskopi ve XRF analizleri genellikle numuneye zarar vermez. Uygun XRF spektrumu, sadece birkaç miligramlık numunelerden elde edilebilir ve spektrometre, toz parçacık büyüklüğündeki numunelerin analizini yapabilir. Bu durum, XRF'nin küçük miktarlardaki numuneler üzerinde bile etkili bir analiz yapabilmesini sağlar.

X-ışını spektrumunu yorumlamak, ortak bir duyuyu kullanarak oldukça kolaydır. Örneğin, eğer bir çizgi özel bir elementin $K\alpha$ çizgisi olarak tanımlanırsa, aynı elementin düzgün dalga boyunda uygun bir şiddetle oluşan $K\beta$ çizgisini kontrol etmek mümkündür. Başka

elementlerin girişimiyle bir karmaşıklık olursa, doğrulama L spektrumunda olabilir ya da yüksek mertebeden yansımaların dikkatli incelenmesiyle sağlanabilir. Tek bir çizginin varlığında bir elementin tanımlanması daima risklidir. Nispeten kısa dalga boyu bölgesinde, element düşük konsantrasyonda mevcut değilse, en güçlü çizgisi belirgin olacaktır. Karmaşıklığın diğer bir kaynağı da uydu (non-diyagram) çizgileridir; çoğu enerji ve dalga boyu çizelgeleri bu çizgileri içermez.

2.7.2. ED-XRF ve WDXRF sistemleri

Yaklaşık 0,8 Å'dan daha büyük dalga boylarında, Enerji Dağılımlı XRF (ED-XRF) spektrometrelerinin çözünürlüğü, Dalga Boyu Dağılımlı XRF (WDXRF) spektrometrelerinden daha düşüktür. ED-XRF sistemleri, zayıf emisyonları nispeten yüksek arka plan ve bitişik piklerden gelen üst üste binmeler ile karmaşık hale getirilir ve hassasiyetleri azalır. Bilgisayar tabanlı spektral teknikleri, zayıf emisyonları güçlendirmek ve üst üste binmiş spektrumların etkilerini azaltmak için kullanılabilir, ancak bu yöntemler daha çok kantitatif analizlere uygundur.

XRF'nin avantajları arasında geniş dinamik aralık, yüksek hassasiyet, az miktarda örnek gereksinimi, kısa analiz süresi ve tahribatsız analiz bulunur. Ancak, düşük atom numaralı elementlerin (örneğin, sodyum ve magnezyum) daha düşük hassasiyetle tespit edilebilmesi ve analiz için uygun standartların bulunmaması gibi dezavantajları da vardır. Sonuç olarak, XRF ve elektron spektroskopisi, geniş bir uygulama yelpazesinde güvenilir kalitatif analizler sağlayan güçlü tekniklerdir. Her iki yöntem de, numunelerin spektrumlarını detaylı bir şekilde analiz ederek, elementlerin varlığını ve konsantrasyonlarını belirlemeye olanak tanır. Spektral analizlerin bilgisayar destekli yapılması, analiz sürecini hızlandırarak daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bu yöntemlerin sunduğu avantajlar ve karşılaşılan zorluklar, analizlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle, XRF ve elektron spektroskopisi, analitik kimya ve malzeme bilimi gibi alanlarda vazgeçilmez araçlar olarak yerini korumaktadır.

2.8. Nicel (Kantitatif) Analiz

Nicel analiz teknikleri, materyallerin kimyasal bileşimlerinin miktarlarını belirlemek için kullanılır. Elektron spektroskopisi ve X-Işını Floresans (XRF) teknikleri, bu amaçla yaygın

olarak kullanılan yöntemler arasındadır. Bu bölümde, bu tekniklerin temel prensipleri, uygulama alanları, analiz süreçleri ve doğruluk seviyeleri üzerinde durulacaktır.

Elektron spektroskopisi ve XRF, numunelerin elementel bileşimlerini belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. Elektron spektroskopisinde, yüksek enerjili elektronlar numuneye çarptığında, karakteristik X-ışınları yayılır. XRF'de ise, numuneye yüksek enerjili X-ışınları gönderilir ve numunenin karakteristik X-ışınları yayması sağlanır. Her iki teknikte de yayılan X-ışınlarının enerjileri veya dalga boyları ölçülerek, numunedeki elementlerin miktarları belirlenir.

Numune derinliğinde ölçülen X-ışını yayılımı, numunede üretilen ve dedektör yolunda numuneyle etkileşen X-ışınlarından kaynaklanır. Bu nedenle, kimyasal bileşimdeki değişiklikler veya numuneler arasındaki fiziksel farklılıklar, ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir. Numune hazırlığı, ölçüm sürecinde doğruluğu artırmak için dikkatlice yapılmalıdır.

Numune hazırlığı ve kalibrasyon standartlarının doğru kullanımı, lineerlikten sapmaların minimize edilmesine yardımcı olur. Ancak, her zaman küçük sapmalar ve hatalar kaçınılmaz olabilir. Bu hatalar genellikle yüzdelik olarak küçük olsa da, analitik doğruluk açısından önemli olabilir.

Kantitatif analizde, numunedeki elementlerin kesin miktarları belirlenir. Bu, genellikle kalibrasyon eğrileri kullanılarak yapılır. Kalibrasyon eğrileri, bilinen konsantrasyonlardaki standart numuneler kullanılarak oluşturulur. Bu eğriler, numunenin X-ışını spektrumu ile elementel konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi gösterir.

XRF'de kantitatif analiz, genellikle yarı kantitatif analizden sonra yapılır. Yarı kantitatif analiz, numunedeki elementlerin yaklaşık miktarlarını belirlemek için kullanılır ve kantitatif analiz öncesinde deneyim kazanmak için faydalıdır. Bu süreç, analitik strateji planlamada ve gerekli ölçümleri yapmada kolaylık sağlar.

Nicel analizde doğruluk ve hassasiyet önemlidir. Analitik doğruluk, ölçülen değerlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu gösterir. Hassasiyet ise, tekrarlanan ölçümlerin tutarlılığını ifade eder. XRF ve elektron spektroskopisi, yüksek doğruluk ve hassasiyet

sağlayabilir. Ancak, zayıf emisyonlar, yüksek arka plan sinyali ve bitişik piklerden gelen üst üste binmeler gibi faktörler doğruluğu ve hassasiyeti etkileyebilir.

Bilgisayar tabanlı spektral teknikleri, zayıf emisyonları güçlendirmek ve üst üste binmiş spektrumların etkilerini azaltmak için kullanılabilir. Bu teknikler, kantitatif analizlerde doğruluğu artırmak için önemlidir.

Gelişmiş otomatik aletler, kantitatif analizlerin doğruluğunu ve hızını artırmak için kullanılır. Bu aletler, analitik süreçleri otomatikleştirerek, insan hatasını minimize eder ve daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlar. Otomatik sistemler, yüksek hassasiyet ve doğruluk gerektiren uygulamalarda özellikle faydalıdır. Sonuç olarak, elektron spektroskopisi ve XRF, nicel analizde yaygın olarak kullanılan güvenilir yöntemlerdir. Doğru numune hazırlığı ve kalibrasyon standartları, bu tekniklerin doğruluğunu ve hassasiyetini artırır. Otomatik analitik sistemlerin kullanımı, kantitatif analizlerin doğruluğunu ve hızını daha da artırır. Bu yöntemler, materyallerin kimyasal bileşimlerinin kesin miktarlarını belirlemede önemli araçlardır ve analitik kimyada geniş bir uygulama yelpazesi sunar.

2.9. XRF Spektrometresi Önemli Üniteleri ve İşlevleri

X-Işını Floresans (XRF) spektrometrisi, materyallerin elementel bileşimlerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir analitik tekniktir. Bu bölümde, XRF ünitesinin yapısı, bileşenleri ve işlevleri detaylı bir şekilde incelenecektir.

XRF ünitesi genellikle üç ana bileşenden oluşur: numune hazırlama ünitesi, X-ışını jeneratörü ve dedektör sistemi. Numune hazırlama ünitesi, örneklerin doğru bir şekilde hazırlanmasını ve homojen bir şekilde numunelendirilmelerini sağlar. X-ışını jeneratörü, yüksek enerjili X-ışınları üretmek için kullanılır ve numuneye yönlendirilir. Dedektör sistemi, numuneden yayılan karakteristik X-ışınlarını algılar ve bunların enerji seviyelerini ölçer.

XRF ünitesi, numuneye yüksek enerjili X-ışınları göndererek, numunedeki elementlerin atomlarını uyarır. Bu atomlar, uyarılmış durumdan daha düşük enerjili durumlara geçerken karakteristik X-ışınları yayarak radyasyon yayarlar. Dedektör sistemi, bu yayılan X-ışınları

yakalar ve onların enerji seviyelerini ölçer. Bu ölçümler, numunedeki elementlerin kimyasal bileşimlerini belirlemek için kullanılır.

XRF ünitesi, birçok farklı endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Madencilik, metalurji, çevre bilimi, arkeoloji ve malzeme bilimi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. XRF'nin ana avantajları arasında hızlı analiz süreleri çoklu element analizi yeteneği ve geniş numune uyumluluğu bulunur.

XRF ünitesi, birçok farklı uygulamada başarıyla kullanılmıştır. Örneğin, maden cevherlerinin analizi, metal alaşımlarının karakterizasyonu, çevresel numunelerin izlenmesi ve tarihsel eserlerin analizi gibi çeşitli uygulamaları vardır. XRF analizleri, yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayarak bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda önemli rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, XRF ünitesi, materyallerin elementle bileşimlerini belirlemek için güçlü bir araçtır. Yapısı, işlevleri, kullanım alanları ve avantajları, bu tekniklerin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğunu göstermektedir. XRF analizleri, bilimsel araştırmalarda, endüstriyel proseslerde ve çevresel izleme çalışmalarında önemli bilgiler sağlayarak, çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.10. Radyasyon Ölçüm Sistemleri (Dedektörler)

Radyasyon ölçüm sistemleri, radyasyonun tespiti ve ölçümü için kullanılan önemli araçlardır. Bu sistemler, radyasyonun varlığını algılayarak anlamlı elektrik sinyallerine dönüştüren dedektörlerden oluşur. Radyasyonun maddenin içine nüfuz ederek etkileşime geçmesi esas alınarak çalışır. Bu işlemde genellikle gazlar tercih edilirken, sıvı ve katı malzemeler de kullanılabilir.

Radyasyon ölçüm sistemleri, farklı radyasyon türlerine göre farklı dedektörler içerir. Örneğin, X-ışınlarının tespiti için gazlı dedektörler, sintilasyon dedektörleri ve yarı-iletken dedektörler geliştirilmiştir. Gazlı dedektörler, radyasyonla etkileşime giren gazın içerisindeki iyonların oluşturduğu akımları ölçerek çalışırken, sintilasyon dedektörleri, radyasyonla etkileşime geçen malzemenin ışık yaymasını ölçer. Yarı-iletken dedektörler ise radyasyonla etkileşime giren malzemenin elektriksel iletkenliğini ölçerek çalışır.

Bu farklı dedektörlerin kullanılması, radyasyon ölçüm sistemlerinin çeşitliliğini sağlar ve farklı uygulama alanlarına uygun çözümler sunar. Örneğin, gazlı dedektörler genellikle büyük ölçekli radyasyon tespit sistemlerinde kullanılırken, sintilasyon dedektörleri daha hassas ölçümler için tercih edilebilir. Radyasyon ölçüm sistemlerinin tasarımı ve performansı, radyasyonun türüne, ölçüm hassasiyetine ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak değişir. Bu sistemlerin doğru bir şekilde tasarlanması ve kalibre edilmesi, güvenilir ölçüm sonuçları elde etmek için önemlidir.

2.10.1. Gazlı dedektörler

Gazlı dedektörler, bir tüp içerisine doldurulmuş gazın radyasyonla etkileşmesi sonucunda iletkenliğindeki değişimi temel alan radyasyon sayaçlarıdır. Bu tip dedektörlerde tüpün içerisi argon, ksenon veya kripton gibi bir soygaz ile doldurulur. X-ışını, tüp içerisine geçirgen bir mika, berilyum (Be), alüminyum (Al) veya Mylar pencereden girer. Bir soygazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını fotonuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonları ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur. X-ışınının her bir fotonu bir soygaz atomuyla etkileşerek soygazın en dıştaki elektronlarından birini çıkarır. Bu "fotoelektron"un kinetik enerjisi çok yüksektir ve X-ışını fotonunun enerjisi ile elektronun soygaz atomundaki bağlanma enerjisi arasındaki farka eşittir. Yüksek enerjili bu fotoelektron gazdaki atomlardan birkaç yüz tanesini iyonlaştırarak fazla enerjisini kaybeder. Uygulanan bir potansiyelle hareketli elektronlar merkezdeki anot tele göçerken, yavaşlayan katyonlar metal katoda yönlendirilirler. Yönlendirilen iyonların oluşturduğu elektriksel sinyal bilgisayar tarafından analiz edilerek spektrumun uygun enerji kanalına atanır.

Bu sistem temel alınarak "iyonizasyon odaları", "orantılı sayıcılar" ve "Geiger tüpleri" olmak üzere üç tip X-ışını dedektörü geliştirilmiştir.

2.10.2. Sintilasyon (Pırıldama) Dedektörleri

Sintilasyon dedektörleri, radyasyonun tespiti ve ölçümü için kullanılan önemli bir dedektör tipidir. Bu dedektörler, radyasyonun etkisiyle bir kristal veya sıvı içerisinde meydana gelen ışık (sintilasyon) üretimine dayanır. Sintilasyon dedektörleri genellikle organik veya inorganik kristaller, sıvılar veya plastiklerden yapılmış olabilir.

Bu dedektörlerin çalışma prensibi, radyasyonun dedektör içerisindeki malzemeye etkileşime girmesi sonucunda ortaya çıkan ışık pulsu tarafından algılanır. Radyasyonun etkisiyle malzeme içerisindeki atomlar uyarılır ve daha yüksek enerji seviyelerine çıkar. Daha sonra, bu uyarılmış atomlar bir ışık fotonu yayarak temel enerji seviyelerine geri dönerler. Bu süreçte yayılan ışık fotonları, dedektör tarafından algılanır ve elektriksel sinyallere dönüştürülerek ölçüm yapılır.

Sintilasyon dedektörleri, radyasyonun tespiti için yüksek hassasiyet ve çözünürlük sağlar. Ayrıca, farklı türlerdeki radyasyonu örneğin, gama ışınları, alfa parçacıkları, beta parçacıkları ayırt etme yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle, tıp, nükleer fizik, nükleer tıp ve diğer birçok alan için yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

2.10.3. Yarı-iletken dedektörler

Yarı-iletken dedektörler, radyasyonun tespiti ve ölçümü için kullanılan bir diğer dedektör tipidir. Temel olarak, yarı-iletken dedektörler, yarı-iletken malzemelerin özelliklerini kullanarak radyasyonla etkileşime giren parçacıkların oluşturduğu elektriksel sinyalleri algırlar.

Bu dedektörlerin çalışma prensibi, yarı-iletken malzemelerin özellikle elektriksel iletkenliklerinin radyasyonun etkisi altında değişmesine dayanır. Radyasyona maruz kaldığında, yarı-iletken malzeme içindeki elektronlar enerji kazanır ve iletkenlik seviyelerinden çıkarak iletken bant seviyelerine geçerler. Bu elektron hareketi, dedektör içinde bir elektrik akımı oluşturur, bu da radyasyonun varlığını tespit etmek için kullanılabilir.

Yarı-iletken dedektörler, genellikle silikon veya germanyum gibi yarı-iletken malzemelerden yapılmıştır. Bu malzemeler, yüksek saflıkta üretilebilir ve radyasyona karşı duyarlılık gösterebilirler. Silikon dedektörler, özellikle yüksek enerjili radyasyon türlerini tespit etmek için kullanılırken, germanyum dedektörler genellikle düşük enerjili radyasyon türlerini tespit etmek için tercih edilir.

Yarı-iletken dedektörlerin avantajları arasında yüksek enerjili radyasyonun algılanması, yüksek çözünürlük, düşük arka plan gürültüsü, hızlı yanıt süresi ve dayanıklılık gibi

özellikler bulunur. Bu özellikler, yarı-iletken dedektörlerin nükleer tıp, nükleer fizik, parçacık fiziği ve endüstriyel radyografide gibi birçok alanda kullanılmasını sağlar.



3. MATERİYAL VE METOT

3.1. ED-XRF Sistemi

3.1.1. Enerji dağılımlı XRF spektrometre sistemi

Bu tez kapsamında kullanılan Enerji Dağılımlı XRF (ED-XRF) Spektrometre Sistemi, yüksek enerji ayırma kapasitesine sahip SDD (Silicon Drift Detector) yarı iletken dedektör ve 50 kVp X-ışın tüpü ile numune odaklama sisteminden oluşmaktadır.

X-123 SDD dedektörü, ön yükselteç, dijital sinyal işleme birimi ve bu birimlerin güç kaynağını tek bir cihazda birleştiren tümleşik bir yapıya sahiptir. Tüpten çıkan ve tüp materyalinin karakteristik enerjilerini içeren sürekli spektrum, numuneyi oluşturan atomları uyarır. Numune atomlarının oluşturduğu karakteristik X-ışınları dedektör ile etkileşerek yük pulsları oluşturur. Bu pulsların genlikleri, gelen radyasyonun dedektörde soğrulan enerjisi ile orantılıdır. Pulslar, dedektörün dijital işleme biriminde işlenir ve kaydedilir. Belirli bir kanaldaki sayım değerleri, o kanala denk gelen enerjideki etkileşimlerin sayısını verir. Karakteristik X-ışın enerjilerine karşılık gelen toplam net sayım, spektrum işleme yazılımı tarafından hesaplanarak kaydedilir ve analiz yazılımı bu sayımları kullanarak numune derişimlerini hesaplar.

Silisyum dedektörlerde temel gürültü kaynağı voltaj gürültüsüdür ve bu gürültü toplam kapasitansla doğru orantılı olup kısa şekillendirme zamanlarında artış gösterir. SDD dedektörlerin kapasitansı düşüktür ve dedektörün aktif hacminin büyüklüğünden bağımsızdır. Bu nedenle SDD dedektörler, özellikle düşük enerji bölgesinde ve yüksek sayım hızlarının gerekli olduğu durumlarda, geleneksel yarı iletken dedektörlere kıyasla daha iyi çözünürlüğe ve pik/background oranlarına sahiptir. Çözünürlüğün önemli olduğu hafif elementlerden oluşan numunelerin analizinde SDD dedektörler üstün performans sergiler.

ED-XRF sisteminin bileşenleri

Bir ED-XRF sistemi temel olarak üç ana bileşenden oluşur:

Radyasyon Kaynağı: X-ışını tüpü veya radyoaktif kaynak, numuneyi uyararak karakteristik X-ışınlarının salınmasını sağlar.

Dedektör: Gelen X-ışını fotonlarını tespit ederek, bunları elektrik sinyaline dönüştürür. Dedektör olarak genellikle yarı iletken malzemeler (Si(Li), Ge(Li)) kullanılır.

Destekleyici Elektronik: PV, amplifikatör ve bilgisayar gibi elektronik bileşenler, dedektörden gelen sinyalleri işleyerek analiz için uygun hale getirir.

ED-XRF çalışma prensibi

ED-XRF yöntemi, bir radyasyon kaynağından yayılan X-ışınlarının numuneye çarpması ve bu etkileşim sonucunda karakteristik X-ışınlarının salınması prensibine dayanır. Kaynaktan yayılan X-ışını fotonları numuneye çarptığında, enerjilerini atomdaki elektronlara aktarır ve elektronları yerlerinden çıkarır (fotoelektrik etki). Bu elektronların boşalttığı yerleri doldurmak için atomun daha yüksek enerji seviyelerinden elektronlar iner ve bu süreçte karakteristik X-ışını fotonları yayılır. Bu fotonlar, dedektör tarafından tespit edilerek analitik verilere dönüştürülür.

ED-XRF dedektörleri

ED-XRF sistemlerinde kullanılan dedektörler genellikle yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Bu dedektörler arasında en yaygın kullanılanlar:

Silikon (Si): Yüksek enerji çözünürlüğü ve oda sıcaklığında çalışabilme özelliği ile tercih edilir.

Germanyum (Ge): Yüksek durdurma gücü ve enerji çözünürlüğü sağlar, ancak düşük sıcaklıklarda (sıvı azot ile soğutularak) çalışması gerekir.

Kadmiyum Tellür (CdTe): Oda sıcaklığında çalışabilir ve yüksek durdurma gücü sunar. Bu dedektörler, özellikle tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Civa İyodür (HgI₂): Ticari olarak bulunabilir ve ED-XRF cihazlarında yaygın olarak kullanılır.

Dedektör özellikleri

Dedektör tipi: Silikon Drift Diyot (SDD)

Model: X-123 SDD Dedektör Alanı-Aktif

Dedektör Alanı: 25 mm² - 17 mm²

Dedektör Kalınlığı (Silisyum): 500 µm

Pencere Materyali: Silikon

Pencere Kalınlığı: 12.5 µm

FWHM(5.9 keV): 123 eV

X-Işın kaynağının özellikleri

Kaynak tipi: Transmisyon Hedefli X-Işın Tüpü

Model: Mini-X

Hedef Anod Materyali: Gümüş (Ag)

Tüp Voltajı: 10-50 kV

Pencere Materyali: Berilyum (Be)

Pencere Kalınlığı: 125 µm

Işınlama Açısı: 45°

oluşturduğu kabul edilirse, plakanın ilk dx kalınlığı içinden geçerken dN adet parçacığın demetten ayrılmış olduğu düşünülebilir. Bu durumda ifade negatif işaret alır:

$$\frac{dN}{N} = -n\sigma dx$$

Bu ifadenin integrali alındığında:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -n\sigma t$$

elde edilir.

N_0 , ince levhaya gelen parçacıkların sayısı

N , levhanın t kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Tesir kesiti σ ile gösterilir, birimi barndır. (1 barn = 10^{-24}cm^2 elde edilir. Burada N_0 , ince levhaya gelen parçacıkların sayısı ve N , levhanın t kalınlığını geçen parçacıkların sayısıdır. Tesir kesiti σ ile gösterilir ve birimi barn'dır (1 barn = 10^{-24}cm^2).

$$N = N_0 e^{-n\sigma t}$$

Ancak, $n\sigma t$ yeterince küçük olduğunda:

$$\frac{N}{N_0} \approx 1 - n\sigma t$$

ifadesi yazılabilir. Bu durumda, t kalınlığını geçerken soğurulan (ilgilenilen etkileşmeye giren) parçacıkların sayısı:

$$\Delta N = N_0 n\sigma t$$

olarak verilir. Buradan tesir kesiti için genel ifade çıkarılabilir:

$$\sigma = \frac{\Delta N}{N_0 n t}$$

Bu sonuç, tesir kesitinin malzeme ve gelen parçacık türüne bağlı olarak nasıl değiştiğini matematiksel olarak açıklar ve radyasyon-madde etkileşimlerinin kantitatif analizi için temel teşkil eder. X-ışını kaynakları ile bombardımana tutulan levhalardan geçen parçacık sayısı (N) ve gelen parçacık sayısı (N_0) hassas dedektörler ile ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak tesir kesiti hesaplamaları yapılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

3.1.3. K kabuğu x-ışını üretim tesir kesiti teorik ve deneysel hesabı

Bir atomun K tabakası, soğurma kıyısına yakın veya daha büyük enerjili fotonlarla uyarıldığında, K kabuğu fotoiyonizasyonu sonucu karakteristik X-ışınları yayılır. Bu X-ışınlarının üretim tesir kesitleri ($\sigma_{K\alpha,\beta}$) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\sigma_{K\alpha,\beta} = \sigma_{KP}(E) \cdot \omega_K \cdot F_{K\alpha,\beta}$$

Bu ifadede:

$\sigma_{KP}(E)$: Elementin E uyarma enerjisindeki K kabuğu fotoiyonizasyon tesir kesitidir.

ω_K : K kabuğu floresans verimidir.

$F_{K\alpha,\beta}$: X-ışını grubunun kısmi emisyon hızıdır.

Ayrıca $F_{K\beta} = 1 - F_{K\alpha}$ olup burada $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ $K\beta$ ve $K\alpha$ çizgilerinin şiddet oranıdır.

$F_{K\alpha}$ değerleri literatürden, özellikle Broll'un makalesinden alınmıştır.

Deneysel Tesir Kesiti Hesaplamaları

Tesir kesitinin deneysel hesabında şu parametreler önem arz etmektedir:

Kullanılan radyasyonun şiddeti (I_0),

Analiz için kullanılan numune miktarı (m).

Deneysel sisteme ait geometrik faktör (G).

X-ışınlarının madde içinden geçerken yeniden soğurulmasını tanımlayan soğurma düzeltmesi (β).

Dedektör verimliliği (ϵ).

Deneysel K kabuğu X-ışını üretim tesir kesiti (σ_{Ki}) aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G_{\epsilon_{Ki}} \beta_{Ki} m}$$

N_{Ki} , Numuneden yayımlanan karakteristik X-ışını şiddeti,

I_0 , Numuneye uyarıcı kaynak tarafından birim zamanda gelen radyasyon şiddeti

G , Kaynak-numune- dedektör konumuna bağlı geometrik faktör

ϵ_{Ki} , Yayımlanan karakteristik X-ışını enerjisinde dedektörün çalışma verimi,

β_{Ki} , Soğurma düzeltmesi faktörü,

m , Numune içindeki analitin madde miktarı

Karakteristik X-Işını şiddeti ilgili elementin tesir kesitine, uyarıcı radyasyonun şiddetine, elementin numune içindeki miktarına, geometrik faktöre, soğurma faktörüne ve dedektör verimliliğine bağlıdır. Şiddet ifadesi

$$N = I_0 G_{\epsilon_i} \beta_i m \sigma_i \omega_i$$

Olarak verilir. Bu ifadeden hareketle, K X-ışını üretim tesir kesiti şu şekilde yazılır.

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G_{\epsilon_{Ki}} \beta_{Ki} m} \quad (i = \alpha, \alpha_1, \alpha_2, \beta, \beta'_1, \beta'_2) \text{ ve L X-ışını üretim tesir kesiti:}$$

$$\sigma_{Li} = \frac{N_{Li}}{I_0 G_{\epsilon_{Li}} \beta_{Li} m} \quad (i = l, \alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$$

olarak verilir. Burada:

N : Birim zamanda ölçülen karakteristik X-ışını şiddeti.

I_0 , Numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti

G , Kaynak-numune ve numune-dedektör konumuna bağlı geometrik faktör

ϵ , X-ışınları enerjisinde dedektörün verimi,

β , Soğurma düzeltme faktörü

m , Toplam madde miktarı

ω_i , Analitin numune içindeki konsantrasyonu

Dedektör Verimi ve Soğurma Düzeltmesi

Dedektör verimi, deney geometrisi ve uyarıcı kaynak enerjisine bağlı olarak farklı değerler alır ve bu nedenle deney için hesaplanması gereken önemli bir unsurdur. Tez kapsamında $I_0 G \epsilon$ çarpanı şu şekilde belirlenmiştir:

$$I_0 G \epsilon = \frac{N_{Ki}}{m}$$

Elde edilen değerlerin karakteristik X-Işını enerjilerine bağlı olarak değişim grafiği incelenmiş ve bu değerler kullanılarak K X-Işını üretim tesir kesiti hesaplanmıştır.

Soğurma düzeltmesi faktörü (β) için ise şu ifade kullanılmıştır:

$$\beta(i) = \frac{1 - \exp\left(-\left(\frac{\mu}{\rho}(\gamma) \cos \theta_1 + \frac{\mu}{\rho}(i) \cos \theta_2\right) \rho D\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}(\gamma) \cos \theta_1 + \frac{\mu}{\rho}(i) \cos \theta_2\right) \rho D} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte, kaynaktan gelen radyasyon ve numuneden yayımlanan X-ışınları için toplam kütle azaltma katsayıları sırasıyla $\left(\frac{\mu}{\rho}\right) (\gamma)$ ve $\frac{\mu}{\rho}(i)$ olarak gösterilmiştir. Ayrıca θ_1 ve θ_2

sembolleri sırasıyla kaynaktan gelen γ ışını fotonları ve çalışılan numunelerden yayımlanan karakteristik X-ışını fotonlarının numunenin yüzey normali ile yaptıkları ortalama açılarıdır. Bu çalışmada θ_1 geliş açıları 45° ve numuneden çıkan X-ışınlarının numune yüzeyi ile yaptığı açı 0° olarak ayarlanmış ve tüm 3d grubu elementleri için sabit tutulmuştur.

Numunelerin uyarılması sonucunda meydana gelen karakteristik X-ışınları, numune içinden geçerken numune atomları tarafından soğurulmaktadır. Bu nedenle, dedektör tarafından ölçülen X-ışını şiddeti, yayımlanan şiddetten farklı olacaktır. Bu durum, şiddet ölçümlerine dayalı tüm çalışmalarda dikkate alınması gereken bir faktördür. Yayımlanan X-ışını şiddeti ($N_{yay.}$) ile ölçülen X-ışını şiddeti ($N_{ölç.}$) arasındaki ilişki şu şekilde bulunmaktadır.

$$N_{ölç.} = N_{yay.} \cdot \beta$$

Burada β , soğurma faktörü olup enerjiye, numune atomlarına X-ışınlarının numuneye giriş ve çıkış açılarına ve numune kalınlığına bağlıdır. Dolayısıyla numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını doğru şekilde belirlemek için ölçülen X-ışını şiddeti β soğurma düzeltmesi faktörü olarak adlandırılır. Şu şekilde ifade edilir.

$$\beta = \frac{1 - \exp\left(-\left(\frac{\mu}{\rho}(\gamma) \cos \theta_1 + \frac{\mu}{\rho}(i) \cos \theta_2\right) \rho D\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}(\gamma) \cos \theta_1 + \frac{\mu}{\rho}(i) \cos \theta_2\right) \rho D} \quad (3.2)$$

Bu ifade de:

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) (\gamma)$ kaynaktan gelen radyasyon için,

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) (i)$ yayımlanan karakteristik X-ışınları için numunenin toplam kütle azaltma katsayılarını ifade eder.

θ_1 ve θ_2 sırasıyla kaynaktan gelen radyasyonun ve yayımlanan karakteristik X ışınlarının numune yüzeyinin normali ile yaptıkları açılarıdır.

Çalışmamızda kullanılan deney geometrisinde θ_1 geliş açısı sürekli olarak 45° olarak sabit tutulmuş ve numuneden çıkan X-ışınlarının numune yüzeyi ile yaptığı açı $\cos(\theta_2) = 1$

olarak alınmıştır. $\rho D (g/cm^2)$ ise birim alan başına düşen madde miktarını, yani kalınlığı temsil eder ve tartılan numune miktarının, numune alanına bölünmesiyle hesaplanır.

3.1.4. K X-ışını şiddet oranı teorik ve deneysel hesabı

Çalışmamızda, $\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}$ şiddet oranı, teorik olarak K X-Işını tesir kesitlerinin oranı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu oran şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{\sigma_{K\beta}}{\sigma_{K\alpha}}$$

Bu denklemde, $\sigma_{K\alpha}$ ve $\sigma_{K\beta}$ üretim tesir kesitleri olup, ilgili denklemlerden hesaplanmıştır. K X-Işını şiddet oranı değerlerinin deneysel olarak hesaplanmasında ise aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{N_{K\beta} \cdot \epsilon_{K\alpha} \cdot \beta_{K\alpha}}{N_{K\alpha} \cdot \epsilon_{K\beta} \cdot \beta_{K\beta}}$$

Burada,

$N_{K\alpha}$ ve $N_{K\beta}$, dedektörde ölçülen karakteristik $K\alpha$ ve $K\beta$ X-ışınlarının şiddetleridir. $\epsilon_{K\alpha}$ ve $\epsilon_{K\beta}$, sırasıyla karakteristik $K\alpha$ ve $K\beta$ X-ışını enerjilerinde dedektör verimliliğini temsil eder.

$\beta_{K\alpha}$ ve $\beta_{K\beta}$, yayımlanan karakteristik X-Işınları için soğurma düzeltme faktörleridir. Genel olarak, bir elementin karakteristik X-Işını şiddeti şu bağıntı ile hesaplanır:

$$I = \frac{N}{\epsilon\beta}$$

Burada,

N ilgilenilen karakteristik X-Işınına ait pikin net alanını,

ϵ karakteristik X-Işını enerjisinde dedektör verimliliğini,

β aynı enerjide numuneye ait soğurma düzeltmesi faktörünü ifade eder.

Bu denkleme dayanarak, K X-Işını şiddet oranlarının deneysel olarak hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır:

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{N_{K\beta} \cdot \epsilon_{K\alpha} \cdot \beta_{K\alpha}}{N_{K\alpha} \cdot \epsilon_{K\beta} \cdot \beta_{K\beta}} \quad (3.3)$$

Burada, $N_{K\alpha}$ ve $N_{K\beta}$, karakteristik X-Işınlının dedektörde ölçülen şiddetleridir.

$\beta_{K\alpha}$ ve $\beta_{K\beta}$, karakteristik X-ışınları için soğurma düzeltmesi faktörleridir ve ilgili denklemlerden hesaplanmıştır.

$\epsilon_{K\alpha}$ ve $\epsilon_{K\beta}$, karakteristik X-ışınları için dedektör verimliliği olup, $I_0 G \epsilon$ 'nin enerjinin bir fonksiyonu olarak elde edilen fit denkleminde ilgili enerji yerine konularak elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan numunelerin K X-ışını şiddet oranları, Scofield'ın (Scofield, 1974) teorik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, teorik hesaplamalarla uyumlu olup deneysel doğrulamalar yapılmıştır.

3.1.5. K kabuğu floresans veriminin belirlenmesi

Floresans tesir kesiti, X-ışını üretim olasılığı ile orantılı bir büyüklüktür ve her element için karakteristik bir özellik gösterir. Bu kesit, belirli bir uyarıcı radyasyon tipi ve enerjisi altında ölçülür ve atomların yapısının, yaş tayininin ve miktar analizlerinin incelenmesinde kullanılır. Farklı moleküllerin farklı enerjileri, ligandlar ve merkez atomları arasındaki bağ mesafeleri hakkında bilgi sağlar (Jitschin vd., 1995).

Teorik hesaplama

K tabakası floresans verim ve tesir kesiti verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \epsilon_{Ki} \beta_{Ki} t_i} \quad (i = \alpha, \beta)$$

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K \omega_K f_{Ki} \quad (i = \alpha, \beta)$$

Burada,

σ_{Ki} , K tabakası için fotoelektrik tesir kesitidir.

N_{Ki} , ilgili enerjideki piklerin net alanlarıdır.

I_0 , numuneye birim zamanda gelen foton şiddetidir.

G , geometrik faktördür.

ϵ_{Ki} , K X-ışınlarının enerjisindeki dedektör verimidir.

β_{Ki} , Soğurma düzeltme faktörüdür.

$t_i (g/cm^2)$, numunenin kalınlığıdır ve birim alana düşen numune miktarını ifade eder.

σ_K , K tabakasına için fotoelektrik tesir kesitidir. Scofield'in Çizelgesundan alınmıştır.

ω_K , K tabakası için floresans verimi olup Krause'nin Çizelgesundan alınmıştır.

f_{Ki} , K tabakasından yayımlanan $K\alpha$ veya $K\beta$ X-ışını ihmalidir. (Broll'un makalesinden alınmıştır)

K Tabakası Floresans Verimi K tabakası floresans verim ve floresans tesir kesiti verilerinin değerlendirilmesinde şu bağıntılar kullanılmaktadır:

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K \omega_K f_{Ki} \quad (i = \alpha, \beta)$$

$$\omega_K = \sum \sigma_{Ki}$$

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K P(E) \omega_K f_{Ki} \quad (3.4)$$

Burada,

σ_{Ki} , ilgili enerjideki tesir kesitidir.

$\sigma_K P(E)$ bir elementin belirli bir uyarma enerjisindeki K kabuğu iyonizasyon tesir kesitidir.

3.1.6. K kabuğu boşluk geçiş ihtimallerinin hesaplanması

Bu çalışmada, K kabuğundan L kabuğuna olan boşluk geçişlerinin ihtimalleri incelenmiştir. Bu geçişler, atomların elektronik yapılarına ilişkin önemli bilgiler sunar ve teorik olarak hesaplanabilir. Teorik Hesaplama K kabuğundan L kabuğuna boşluk geçiş ihtimalleri, Schönfeld ve arkadaşları (1996) tarafından önerilen şu bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\eta_K = \frac{2 - \omega_K}{1 + \frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}}$$

Bu bağıntıda:

η_K : Toplam boşluk geçiş ihtimali,

ω_K , K kabuğu floresans verimidir ve Krause'nin verilerinden alınmıştır.

$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}$, K X-ışını şiddet oranıdır.

Floresans verimi (ω_K) ve X-ışını şiddet oranı $\left(\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}}\right)$ kullanılarak atomların farklı geçiş olasılıkları hesaplanabilir.

Deneysel Hesaplamalar

Deneysel çalışmalarda K X-ışını şiddet oranlarının belirlenmesinde aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{N_{K\beta} \cdot \epsilon_{K\alpha} \cdot \beta_{K\alpha}}{N_{K\alpha} \cdot \epsilon_{K\beta} \cdot \beta_{K\beta}} \quad (3.5)$$

$N_{K\alpha}$ ve $N_{K\beta}$, dedektörde ölçülen $K\alpha$ ve $K\beta$ karakteristik X-Işınlarının şiddetleridir.

$\beta_{K\alpha}$ ve $\beta_{K\beta}$, $K\alpha$ ve $K\beta$ X-ışınları için soğurma düzeltmesi faktörleridir

$\epsilon_{K\alpha}$ ve $\epsilon_{K\beta}$, $K\alpha$ ve $K\beta$ X-ışını enerjilerindeki dedektör verimliliğidir.

Bu çalışmada elde edilen veriler, K kabuğundan L kabuğuna olan boşluk geçiş ihtimallerinin teorik hesaplamalarını sağlamaktadır. Hesaplanan boşluk geçiş ihtimalleri, elementlerin atomik yapılarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur ve bu sonuçlar atomik geçiş mekanizmalarının derinlemesine incelenmesine olanak tanır.

3.2. Sayma Sistemi

ED-XRF sistemlerinin doğruluğu ve hassasiyeti, sayma sistemlerinin performansına büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle, XRF sayma sistemlerinin temel bileşenleri ve analitik performanslarının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

XRF sayma sistemi, aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

Dedektör: X-ışını fotonlarını algılayan ve elektrik sinyallerine dönüştüren bileşendir. Dedektörün seçimi, sistemin enerji çözünürlüğü ve hassasiyetini doğrudan etkiler. Silikon (Si) ve Germanyum (Ge) dedektörleri yaygın olarak kullanılır.

Ön Yükseltici ve Yükseltici: Dedektörden gelen zayıf elektrik sinyallerini yükselterek daha güçlü sinyallere dönüştürür. Bu, sinyal-gürültü oranının iyileştirilmesini sağlar.

Analog Dijital Dönüştürücü (ADC): Yükseltilmiş analog sinyalleri dijital verilere dönüştürür. ADC'nin çözünürlüğü, ölçüm hassasiyetini etkileyen kritik bir faktördür.

Yüksek Voltaj Kaynağı (HV): Dedektör ve ön yükseltici için gerekli olan yüksek voltajı sağlar.

Çok Kanallı Analizör (MCA): Dijital sinyalleri enerji spektrumuna göre sınıflandırır ve analiz eder. MCA, elde edilen spektrumun incelenmesine olanak tanır.

Bilgisayar Sistemi: Verilerin toplanması, analizi ve saklanması için kullanılır. Modern sistemlerde, kullanıcı dostu arayüzler ve gelişmiş veri işleme yazılımları mevcuttur.

Sayma Sisteminin Performansı ve Temel Sayma (Background) Şiddeti: Sayma sisteminin performansı, temel sayma (background) şiddetinin doğru bir şekilde ölçülmesine ve yönetilmesine bağlıdır. Temel sayma şiddeti, çeşitli katkıların toplamı olarak ifade edilebilir:

Saçılma ($B_i, \text{saçılma}$): Numunenin kendisinde birincil radyasyonun saçılmasından kaynaklanır. Bu saçılma, numune tutucu maddesinden veya çevredeki gazlardan da kaynaklanabilir.

Dedektör Katkısı ($B_i, \text{dedektör}$): Dedektör materyallerinin aynı enerji/dalga boyu bölgesindeki temel sayma katkısını gösterir.

Üst Üste Binme ($B_i, \text{üst üste binme}$): $j \pm i$ elementinin çizgileri ile i . elementinin analitik çizgileri arasındaki çözülmemiş üst üste binmiş çizgilerden kaynaklanır.

Boşluk Katkısı ($B_i, \text{boşluk}$): Numuneden kaynaklanmayan i . elementin pik şiddetine katkıda bulunan faktörlerdir.

Temel Sayma Şiddetinin Yönetimi ve İstatistiksel Analiz

Temel sayma şiddeti (B_i) deneysel olarak belirlenir ve bu ölçüm n kez tekrarlandığında, sonuçlar $\langle B_i \rangle$ ortalama bir değer civarında ve B standart sapma ile dağılır. Modern cihazlarda, sistematik ve rastgele hata kaynakları, genellikle istatistiksel sayımın doğal belirsizliğine kıyasla daha küçüktür. Poisson dağılımına uygun olarak, istatistiksel ölçümler yönetilir ve temel sayma oranı $R_B = \langle B_i \rangle / t$ olarak ifade edilir

En Düşük Tespit Sınırı (Limit of Detection, LOD) uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), tespit limitini "analitik bir boşluktan istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenebilen en düşük konsantrasyon seviyesi" olarak tanımlar. Ortalama temel sayma seviyesinden istatistiksel olarak önemli bir şekilde ayırt edilebilen en düşük net X-ışını şiddeti ($N_{i,LD}$) şu şekilde yazılabilir:

$$N_{i,LD} = k \langle B_i \rangle$$

Burada k , dikkate alınan önem seviyesine bağlı bir sabittir. Sayma konsantrasyon limiti ($C_{i,LD}$) aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$c_{i,LD} = \frac{N_{i,LD}}{S_i}$$

Burada S_i , belirli bir ışınlama süresi boyunca net sayma şiddetinin numune konsantrasyonuna (c_i) oranıdır. Eğer bilinen bir kütle (m_i) ışınlanıyorsa, en düşük tespit edilebilir kütle ($m_{i,LD}$) şu şekilde hesaplanır:

$$c_{i,LD} = \frac{N_{i,LD}}{S_i} \times \frac{m_i}{c_i}$$

Sayma sisteminin performansını iyileştirmek için birkaç strateji uygulanabilir:

Dedektör Kalitesinin Artırılması: Yüksek enerji çözünürlüğüne sahip dedektörler kullanmak, sinyal-gürültü oranını artırarak hassasiyeti artırır.

Gelişmiş Elektronik Bileşenler: Ön yükseltici ve yükseltici gibi elektronik bileşenlerin kalitesinin artırılması, sinyal kalitesini iyileştirir.

Veri İşleme Teknikleri: Gelişmiş algoritmalar ve yazılımlar kullanarak, temel sayma şiddeti ve pik üst üste binme etkileri minimize edilebilir.

Kalibrasyon ve Standartlar: Düzenli kalibrasyon ve uygun standartların kullanımı, ölçüm doğruluğunu artırır.

XRF sayma sistemleri, analitik performans ve doğruluğu belirleyen kritik bileşenlerdir. Temel sayma şiddetinin doğru yönetimi, en düşük tespit sınırlarının belirlenmesi ve sayma sisteminin bileşenlerinin optimizasyonu, ED-XRF sistemlerinin hassasiyetini ve güvenilirliğini artırır. Bu nedenle, sayma sistemlerinin detaylı bir şekilde anlaşılması ve iyileştirilmesi, XRF analizlerinin başarıyla gerçekleştirilmesi için hayati önem taşımaktadır.

3.3. Ayırma Gücü (Rezolüsyon)

X-ışını floresans (XRF) spektrometrisinde, dedektörlerin ayırma gücü ve pik genişliği, analitik performansın belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. Dedektör performansı, çeşitli faktörlerin etkisiyle değişir. Bu faktörler arasında dedektör materyalinin özellikleri, yük toplama işleminin etkinliği ve elektronik gürültü gibi unsurlar yer alır. Bu bölümde, yarı

iletken dedektörlerin pik genişliği ve ayırma gücüne etki eden bu faktörler ayrıntılı olarak incelenecektir.

Dedektör materyallerinin özellikleri

Dedektörlerin pik genişliğine (FWHM - Full Width at Half Maximum) yük oluşturma işleminin istatistikinden kaynaklanan katkı, her bir dedektör materyaline özgüdür. Tek kristal germanyumda (Ge) bant genişliği 77 K'de 0,67 eV'dir. Ge kristalinde serbest elektron-delik çifti oluşturmak için ortalama enerji $e=2.96$ eV'tur. Silikon (Si) için bu değer $e=3.76$ eV'tur. Çiftlerin ortalama sayısı $N=E_\gamma/e$ olarak ifade edilir, burada E_γ foton enerjisidir. Farklı uyarma tipleri arasındaki foton enerjisinin bölünmesi, çiftlerin sayısında istatistiksel bir dağılıma neden olur.

Yük taşıyıcılarının oluşumu ve istatistiksel dağılım

Dedektör hacminde tamamen soğurulan tek enerjili foton grupları, pulsların genliklerinin istatistiksel bir dağılımını üretir. Eğer her bir çift bağımsız olarak oluşturulursa, Poisson istatistiği uygulanabilir ve N 'nin dağılımının standart sapması $E^{1/2}$ olur. Ancak, elektron-deşik çiftlerinin oluşum istatistiği Poisson değildir. Fano tarafından geliştirilen teoriye göre, çiftlerin sayısındaki gözlenen ortalama karekök sapma $(F \cdot N)^{1/2}$ olarak tanımlanır. Burada F Fano faktörüdür. Fano faktörü, germanyum için 0.06 ve silisyum için 0.08'dir. Yarı iletken dedektörlerde iyi bir çözünürlük elde etmek için Fano faktörünün 1'den küçük olması gerekmektedir. Pik genişliğine bu katkı, $E_\gamma^{1/2}$ ile artar.

Yük taşıyıcılarının kaybı ve tuzaklanma

Pik genişliğine bir diğer katkı, yük taşıyıcılarının kaybindan kaynaklanır. Bu kayıplar, dedektörün karakteristiğine özgüdür ve genellikle yük tuzaklanması nedeniyle meydana gelir. Yük tuzaklanması, bir yük taşıyıcısının safsızlıklar ve kristal kusurlarıyla enerji aralığına giren durumlara yakalanması sonucu oluşur. Yük tuzaklanması, kristal ve standart soğutma yöntemlerinin özellikleri ile ilgilidir. Elektrik alan ise besleme voltajı ile ilgilidir ve voltaj arttıkça yük toplama verimliliği iyileşir. Bu nedenle, dedektörler genellikle maksimum voltaja yakın bir değere ayarlanır.

Toplam pik genişliğinin hesaplanması

Toplam pik genişliğinin karesi şu şekilde ifade edilir:

$$(\text{FWHM})^2 = \omega_i^2 + \omega_x^2 + \omega_{ie}^2$$

Burada ω_i yük oluşma istatistiğinden gelen katkıyı, ω_x , tuzaklanma gibi dedektör etkilerinden gelen katkıyı ve ω_{ie} , elektronik devrelerden gelen katkıyı temsil eder. Bu üç terimin her biri Gaussian dağılımına sahiptir. Dedektörün çözünürlüğü (R), aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$R = \frac{W}{E}$$

Bu denklemde W , yarı maksimumdaki puls genişliği ve E , ortalama genişliktir.

Pik genişliği ve enerji çözünürlüğü

Pikin yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM), enerji çözünürlüğünü belirleyen önemli bir parametredir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\text{FWHM} = W \times E$$

Bu bağıntı, dedektörlerin enerji spektrumundaki piklerin ayırt edilebilme yeteneğini gösterir. Yarı iletken dedektörler, yüksek enerji çözünürlüğü ile bilinir ve bu nedenle XRF analizlerinde yaygın olarak kullanılır. En çok kullanılan yarı iletken dedektörler Si ve Ge dedektörleridir.

Dedektörlerin performansını iyileştirme

Yarı iletken dedektörlerin performansını iyileştirmek için çeşitli stratejiler uygulanabilir:

Dedektör Materyalinin Seçimi: Ge ve Si dedektörler, yüksek enerji çözünürlüğü sağladıkları için tercih edilir.

Soğutma: Dedektörlerin düşük sıcaklıklarda (77 K veya altında) çalıştırılması, termal gürültüyü azaltarak enerji çözünürlüğünü artırır.

Elektrik Alanın Optimizasyonu: Besleme voltajının optimum seviyede ayarlanması, yük taşıyıcılarının daha verimli toplanmasını sağlar.

Safsızlıkların Minimizasyonu: Kristal kusurlarının ve safsızlıkların azaltılması, tuzaklanma etkisini minimize ederek pik genişliğini daraltır.

Gelişmiş Elektronik Sistemler: Yüksek kaliteli ön yükseltici ve yükseltici devreler kullanarak elektronik gürültü azaltılabilir.

Yarı iletken dedektörlerin pik genişliği ve ayırma gücü, yük taşıyıcılarının oluşma istatistiği, tuzaklanma etkileri ve elektronik devrelerin performansından etkilenir. Dedektör materyallerinin özellikleri, Fano faktörü ve soğutma yöntemleri, dedektör performansının belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu nedenle, XRF spektrometrisinde kullanılan yarı iletken dedektörlerin performansını optimize etmek için bu faktörlerin dikkatlice incelenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir.

3.4. Yüksek Voltaj Kaynağı

Yüksek voltaj kaynakları, yarı iletken dedektörlerin doğru ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için kritik bir rol oynar. X-ışını ve gamma-ışını dedektörlerinin gereksinim duyduğu voltaj değerleri, dedektör türüne ve tespit edilecek ışınların enerjisine bağlı olarak değişir.

Yüksek voltaj kaynaklarının fonksiyonu

Yüksek voltaj kaynakları, dedektör malzemesine gelen X-ışını fotonlarının etkisiyle oluşan elektron-deşik çiftlerini toplamak için gerekli elektrik alanını oluşturur. Bu kaynaklar, dedektörlerin çalışması için gereken negatif veya pozitif voltajı sağlar. Yüksek voltaj kaynaklarının temel işlevi, giriş voltajındaki değişikliklere rağmen çıkış voltajını sabit tutmaktır. Bu sayede dedektör, kararlı bir çalışma performansı sergiler (Tsoulfanidis, 1995)

Uygulanan voltajın belirlenmesi

Dedektörler için uygun çalışma voltajı, üretici firma tarafından belirlenir ve genellikle dedektör kataloglarında belirtilir. Dedektörün optimum performans gösterebilmesi için bu voltaj değerine uygun çalıştırılması gereklidir. Uygulanan voltaj değeri, tespit edilecek ışınların enerjisine bağlı olarak değişir. X-ışını dedektörleri için bu voltaj birkaç yüz volt değerinde iken, gamma-ışını dedektörleri için 3000V'un üzerine çıkabilir (Tsoulfanidis, 1995).

Dedektörlerin voltaj gereksinimleri

Dedektörlerin yüksek pozitif veya negatif voltaja gereksinim duyması, malzeme ve yapı özelliklerine bağlıdır. Yarı iletken dedektörlerde, fotonların etkisiyle oluşan elektron-delik çiftlerinin verimli bir şekilde toplanabilmesi için yeterli büyüklükte bir elektrik alan gereklidir. Bu elektrik alan, uygulanan yüksek voltaj sayesinde elde edilir. Voltajın büyüklüğü, dedektörün duyarlılığını ve enerji çözünürlüğünü doğrudan etkiler.

Voltaj ayarının dedektör performansına etkisi

Dedektöre uygulanan voltajın doğru bir şekilde ayarlanması, dedektörün performansı açısından büyük önem taşır. Uygulanan voltajın düşük olması durumunda, elektron-deşik çiftlerinin toplanma verimliliği azalır ve bu da enerji çözünürlüğünü olumsuz etkiler. Yüksek voltajın doğru bir şekilde ayarlanması, dedektörün maksimum duyarlılık ve doğrulukla çalışmasını sağlar. Bu nedenle, dedektörlerin çalışması için gereken voltaj değeri, üretici firmanın belirttiği katalog değerlerine uygun olarak ayarlanmalıdır.

Yüksek voltaj kaynaklarının teknolojik gelişimi

Yüksek voltaj kaynaklarının teknolojik gelişimi, dedektör performansının iyileştirilmesine yönelik önemli adımlar atılmasını sağlamıştır. Modern yüksek voltaj kaynakları, çıkış voltajının çok az değişeceği şekilde tasarlanmıştır. Bu kaynaklar, dedektörlerin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlarken, elektronik gürültüyü minimize eder ve enerji çözünürlüğünü artırır.

Yüksek voltaj kaynakları, yarı iletken dedektörlerin etkin çalışabilmesi için vazgeçilmez bileşenlerdir. Dedektörlerin optimum performans sergileyebilmesi için uygun voltaj değerlerinin doğru bir şekilde ayarlanması gereklidir. Üretici firmalar tarafından belirlenen katalog değerlerine uygun voltaj ayarı, dedektörlerin enerji çözünürlüğünü ve duyarlılığını artırır. Bu bağlamda, yüksek voltaj kaynaklarının doğru kullanımı, X-ışını ve gamma-ışını spektrometrisinde analitik doğruluğu ve güvenilirliği artıran önemli bir faktördür.

3.5. Ön Yükseltici

Ön yükseltici, yarı iletken dedektör sistemlerinde kritik bir bileşen olup, dedektör tarafından üretilen zayıf sinyallerin işlenmesi ve sayma sisteminin geri kalan kısmına iletilmesi için gereklidir.

Ön yükselticinin temel görevleri

Ön yükselticinin temel görevi, dedektörden çıkan zayıf sinyalleri alarak, sayma sisteminin geri kalan kısmına en iyi şekilde iletmektir. Dedektör sinyali genellikle milivolt mertebesinde ve bu zayıf sinyalin, kaydedilmeden önce, binlerce kez yükseltilmesi gerekmektedir. Bu işlem, sinyalin kablo ile taşınması sırasında elektronik gürültüde kaybolmasını önlemek için hayati öneme sahiptir.

Sinyal işleme ve gürültü azaltma

Dedektörden çıkan zayıf sinyal, kablo boyunca iletilirken belirli bir miktarda zayıflar ve elektronik gürültüye maruz kalabilir. Bu nedenle, ön yükseltici mümkün olduğunca dedektöre yakın bir konumda yerleştirilmelidir. Ön yükseltici, sinyalin elektronik gürültüde kaybolmasını önler ve sinyalin yükselticiye güçlü bir şekilde iletilmesini sağlar. Ayrıca, ön yükseltici sinyali şekillendirerek, dedektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür ve yükseltici ile dedektörün empedansını eşleştirerek sinyalin zayıflamasını azaltır (Tsoulfanidis, 1995).

Ön yükselticinin tasarım kriterleri

Ön yükseltici tasarımı, birkaç kritik faktöre dayanır:

Sinyal Bütünlüğü: Dedektörden gelen sinyalin orijinal yapısını koruyarak yükseltilmesi, sinyal bütünlüğünün korunması açısından önemlidir. Bu, ölçüm doğruluğunu artırır ve dedektör performansını optimize eder.

Gürültü Performansı: Elektronik gürültünün minimum düzeyde tutulması, sinyal-gürültü oranını iyileştirir ve dedektör sisteminin genel hassasiyetini ve doğruluğunu artırır.

Empedans Eşleştirme: Dedektör ve yükseltici arasında empedans uyumunun sağlanması, sinyal zayıflamasını önler ve iletim verimliliğini artırır.

Ön yükselticinin soğutulması

Ön yükselticiler genellikle dedektörün yakınında yerleştirildiği için, dedektör ile aynı şekilde soğutulurlar. Bu soğutma, hem sinyalin kararlılığını artırır hem de elektronik bileşenlerin uzun ömürlü olmasını sağlar. Soğutma işlemi, özellikle düşük sıcaklıklarda çalışan dedektör sistemlerinde (örneğin, kriyojenik dedektörler) büyük önem taşır.

Uygulama alanları ve teknolojik gelişmeler

Ön yükselticiler, çeşitli uygulama alanlarında kullanılır. X-ışını ve gamma-ışını spektrometrisinde, nükleer tıp, malzeme bilimi ve güvenlik taramaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Teknolojik gelişmeler, ön yükselticilerin daha düşük gürültü seviyelerine, daha yüksek kazanç değerlerine ve daha kompakt tasarımlara sahip olmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler, dedektör sistemlerinin genel performansını ve uygulama alanlarını genişletmiştir.

Ön yükselticiler, yarı iletken dedektör sistemlerinin performansını doğrudan etkileyen kritik bileşenlerdir. Dedektörden gelen zayıf sinyalleri işleyerek, sayma sistemine güçlü ve gürültüsüz bir şekilde iletilmesini sağlarlar. Sinyal işleme, gürültü azaltma ve empedans eşleştirme konularında sağladıkları faydalar, dedektör sistemlerinin genel doğruluğunu ve hassasiyetini artırır. Modern ön yükselticiler, teknolojik gelişmeler sayesinde daha etkin ve verimli hale gelmiştir, bu da geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmalarını sağlamaktadır.

3.6. Yükseltici

Yarı iletken dedektör sistemlerinde, dedektörden gelen zayıf sinyalleri işleyerek bunları analiz ve sayım için uygun hale getiren yükselticiler, sinyal işleme sürecinin kritik bileşenleridir.

Yükselticinin temel görevleri

Yükselticilerin iki temel görevi vardır: birincisi, ön yükselticiden gelen çıkış pulslarının genliklerini ayırt etmek ve bunları sayma işlemi için uygun voltaj seviyelerine yükseltmektir. İkincisi ise, bu pulsları, puls genliği ile X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi koruyarak işleme uygun bir forma dönüştürmektir (Debertin ve Helmer, 1988).

Sinyal işleme ve şekillendirme zamanı

Yükselticinin sinyal işleme kapasitesi, büyük ölçüde "shaping time" olarak bilinen şekillendirme zaman sabitine bağlıdır. Kullanıcı, spektrumdaki pikler için en iyi çözünürlüğü elde etmek amacıyla uygun bir şekillendirme zaman sabiti seçmelidir. Daha uzun bir zaman sabiti, sistemin daha uzun süre boyunca gürültüyü ortalamasını sağlayarak daha iyi bir sinyal-gürültü oranı sunar. Ancak, uzun zaman sabitleri aynı zamanda rastgele yüklerin daha fazla toplanmasına neden olabilir. Bu nedenle, yüksek sayma hızlarında (örneğin, 2000 s^{-1}) çalıştırılan sistemler için daha kısa zaman sabitleri tercih edilebilir.

Unipolar ve bipolar çıkışlar

Modern yükselticiler genellikle iki tür çıkış sunar: unipolar ve bipolar. Unipolar çıkışlar, sinyalin ilk kısmının tamamen pozitif veya tamamen negatif olduğu durumlardır ve genellikle en iyi sinyal-gürültü oranını sağlarlar. Bipolar çıkışlar ise, sinyalin hem pozitif hem de negatif bileşenlere sahip olduğu durumlardır. Kullanıcının, belirli uygulamalara bağlı olarak uygun çıkış türünü seçmesi gerekmektedir.

Yükselticinin performans kriterleri

Yükselticilerin performansı, birkaç önemli kriterle değerlendirilir:

Kazanç (Gain): Yükselticinin sinyali ne kadar büyütebildiğini belirler. Modern yükselticiler, sinyali 1000 kat veya daha fazla artırabilirler.

Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio): Yükselticinin, sinyalin orijinal formunu bozmadan gürültüyü en aza indirme yeteneğidir. Unipolar çıkışlar, genellikle daha iyi bir sinyal-gürültü oranı sunar.

Dinamik Aralık: Yükselticinin, düşük ve yüksek genlikli sinyaller arasındaki farkı işleyebilme kapasitesidir. Bu, dedektör sisteminin geniş bir yelpazedeki sinyalleri doğru bir şekilde işleyebilmesini sağlar.

Uygulama alanları ve teknolojik gelişmeler

Yükselticiler, nükleer tıp, malzeme bilimi, güvenlik taramaları ve çevresel radyoaktivite izleme gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Teknolojik gelişmeler, yükselticilerin daha düşük gürültü seviyelerine, daha yüksek kazanç değerlerine ve daha geniş dinamik aralıklara sahip olmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler, dedektör sistemlerinin genel performansını artırmakta ve yeni uygulama alanlarının önünü açmaktadır.

Yükselticiler, yarı iletken dedektör sistemlerinin işleyişinde kritik bir rol oynar. Ön yükselticiden gelen zayıf sinyalleri alarak, bu sinyalleri işlenebilir ve sayılabilir hale getirirler. Sinyal işleme, gürültü azaltma ve şekillendirme zaman sabiti gibi konular, yükselticilerin performansını doğrudan etkiler. Modern yükselticiler, teknolojik gelişmeler sayesinde daha etkin ve verimli hale gelmiş, bu da dedektör sistemlerinin genel doğruluğunu ve hassasiyetini artırmıştır.

3.7. Analog Dijital Dönüştürücü

Analog Dijital Çeviriciler (ADC'ler), modern nükleer spektrometrelerde ve çeşitli bilimsel ölçüm cihazlarında kritik bir rol oynar. Dedektörlerden ve yükselticilerden gelen analog sinyalleri dijital verilere dönüştürerek sayısal analiz ve işleme olanakları sağlar.

ADC'nin temel görevleri

ADC'nin birincil görevi, yükselticiden gelen analog pulsları dijital verilere dönüştürmektir. Bu süreç, sinyalin genliği ile orantılı olarak tam sayıya dönüştürülmesini içerir. Böylece, X-ışını fotonlarının enerjisi dijital bir formatta temsil edilerek bilgisayarlar ve diğer sayısal sistemler tarafından işlenebilir hale getirilir (Debertin ve Helmer, 1988).

ADC'nin çalışma prensibi

ADC'ler, analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürmek için çeşitli teknikler kullanırlar. Bu tekniklerin başında örnekleme (sampling) ve kuantizasyon (quantization) gelir. Örnekleme, analog sinyalin belirli aralıklarla ölçülmesi sürecidir. Bu işlem, sinyalin zamana bağlı sürekli değerlerini belirli noktalarda alarak bir dizi örnek oluşturur. Kuantizasyon ise bu örneklerin belirli dijital değerlere yuvarlanmasıdır; bu sayede her örnek bir tam sayı ile temsil edilir.

ADC türleri

ADC'ler, farklı uygulamalar ve ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli türlere sahiptir. En yaygın kullanılan ADC türleri şunlardır:

Flaş ADC (Flash ADC): Çok hızlıdır ve genellikle yüksek hız gerektiren uygulamalarda kullanılır. Ancak, çözünürlüğü diğer ADC türlerine göre düşüktür.

Sayıcı (Successive Approximation Register - SAR) ADC: Yüksek çözünürlük sunar ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır.

Sigma-Delta (Σ - Δ) ADC: Yüksek doğruluk ve düşük gürültü performansı sağlar; bu nedenle ses ve hassas ölçüm uygulamalarında tercih edilir.

ADC'nin performans kriterleri

ADC'nin performansı, birkaç önemli parametre ile değerlendirilir:

Çözünürlük: ADC'nin dijital çıktısının hassasiyetini belirler. Genellikle bit cinsinden ifade edilir; örneğin, 12-bit çözünürlük, 4096 farklı dijital değer anlamına gelir.

Örnekleme Hızı: ADC'nin analog sinyalleri ne kadar hızlı örnekeleyebildiğini belirtir. Örnekleme hızı, özellikle dinamik ve hızlı değişen sinyallerin doğru bir şekilde dijitalleştirilmesi için kritiktir.

Lineerlik: ADC'nin giriş sinyali ile dijital çıktı arasındaki doğrusal ilişkiyi koruma kapasitesidir. İdeal bir ADC, giriş sinyalinin her bir değeri için doğru dijital karşılığı verir.

Gürültü Performansı: ADC'nin sinyali dijitalleştirirken eklediği gürültü miktarını ifade eder. Düşük gürültü performansı, daha temiz ve doğru dijital sinyaller sağlar.

Uygulama alanları ve teknolojik gelişmeler

ADC'ler, nükleer tıp, malzeme bilimi, spektroskopi, tıbbi görüntüleme, iletişim sistemleri ve otomasyon gibi birçok alanda kullanılır. Teknolojik ilerlemeler, ADC'lerin çözünürlüğünü ve hızını artırarak daha geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir hale getirmiştir. Özellikle yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler, daha kompakt ve enerji verimli ADC tasarımlarına olanak tanımıştır.

ADC'ler, analog sinyallerin dijital formatta temsil edilmesi ve işlenmesi için vazgeçilmez araçlardır. Yükselticiden gelen zayıf sinyalleri dijital verilere dönüştürerek sayısal analiz ve işleme süreçlerine uygun hale getirirler. Çeşitli türleri ve performans kriterleri ile ADC'ler, modern bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda kritik bir rol oynar. Gelişen teknoloji, ADC'lerin daha yüksek çözünürlük, hız ve doğrulukla çalışmasını sağlayarak bu cihazların kullanım alanlarını ve etkilerini genişletmektedir.

3.8. Çok Kanallı Analizör (MCA)

Çok Kanallı Analizörler (MCA'lar), nükleer fizik, malzeme bilimi ve tıbbi görüntüleme gibi birçok bilimsel ve endüstriyel alanda kritik öneme sahip cihazlardır. Bu cihazlar, dedektörlerden kaydedilen sinyalleri analiz ederek, enerji spektrumlarının detaylı bir şekilde incelenmesine olanak sağlar. Bu çalışmada, MCA'ların temel işlevleri, çalışma prensipleri ve uygulama alanlarına odaklanılacaktır.

MCA'nın işlevleri ve çalışma prensibi

MCA'ların temel işlevi, dedektörlerden gelen analog sinyalleri dijital hale dönüştürerek, bu sinyalleri enerji düzeylerine göre farklı kanallara ayırarak sayısallaştırmaktır. Bu sayede, bir enerji spektrumu elde edilir ve belirli enerji aralıklarındaki sinyal miktarı belirlenir. MCA'lar genellikle Analog Dijital Çeviriciler (ADC'ler) tarafından sağlanan dijital verileri işler ve depolar. Bu süreç, her bir enerji seviyesini temsil eden bir kanal oluşturur ve dedektörden gelen sinyallerin enerji spektrumunu elde etmek için kullanılır.

Kalibrasyon ve veri analizi

MCA'ların doğru çalışabilmesi için kalibrasyon işlemi gereklidir. Bu işlem, standart radyasyon kaynakları kullanılarak gerçekleştirilir ve her bir kanalın belirli bir enerji aralığını temsil ettiği doğrulanır. Kalibrasyon, MCA'nın ölçüm doğruluğunu sağlamak için önemlidir ve düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır.

Elde edilen enerji spektrumları, çeşitli analizler için kullanılabilir. Spektrum analizi, dedektörden gelen sinyallerin enerji dağılımını inceleyerek örneklerin fiziksel özelliklerini belirlemeye olanak tanır. Örneğin, malzeme biliminde, bir numunenin elementel bileşimini belirlemek için kullanılabilir veya tıbbi görüntülemede, bir hastadan gelen radyasyonun dağılımını analiz etmek için kullanılabilir.

Uygulama alanları ve gelecek perspektifleri

MCA'lar, nükleer tıp, malzeme bilimi, çevresel radyasyon izleme ve nükleer enerji üretimi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler, MCA'ların çözünürlüğünü, veri işleme hızını ve hassasiyetini sürekli olarak artırmıştır. Bu gelişmeler, MCA'ların daha geniş bir uygulama alanına sahip olmasını sağlar ve özellikle yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi alanlarla entegrasyonu, elde edilen verilerin daha etkili bir şekilde analiz edilmesini sağlar.

MCA'lar, modern fizik araştırmaları ve endüstriyel uygulamalar için temel bir araç olarak kabul edilir. Dedektörlerden gelen sinyallerin doğru bir şekilde analiz edilmesini sağlayarak, önemli bilimsel ve teknolojik ilerlemelerin elde edilmesine katkıda bulunurlar. Gelecekte,

MCA'ların daha da geliştirilmesi ve çeşitli uygulamalarda kullanılması beklenmektedir, bu da onları fizik alanındaki önemli araçlardan biri yapmaya devam edecektir.

3.9. Spektrum ve Analiz Yazılımı

XRS-FP yazılımı, kalibrasyon ve analiz aşamalarını içeren, spektrum elde etme ve işleme işlemlerini tek bir platformda birleştiren bir araç olarak kullanılmıştır. Bu yazılım, elde edilen spektrumların nitel analizini gerçekleştirmek için kullanılmış ve belirli piklere karşılık gelen elementlerin manuel olarak tanımlanmasını sağlamıştır.

Elde edilen spektrumların kalitatif analizleri, yazılımın spektrum işleme modülü tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, elementlerin net floresans şiddetlerini belirlemek için kaçma piki, toplam pik ve arka plan düzeltmeleri gibi işlemleri içerir.

Bu yöntemler, elde edilen spektrumların detaylı bir analizini sağlayarak, numunenin içeriği hakkında önemli bilgilerin elde edilmesine imkân tanır.

3.10. Numune Hazırlama

Bu tezde beş adet numune kullanılmıştır. Bunlar 8,14,18,22, 24 ayar altınlardır. Her birinin kütlesi ve yüzey alanı farklıdır. Numunelerin önce ortalama ağırlıkları bulunmuş olup ışınlama öncesi yüzey alanları temizlenmiştir. Ardından sertifikalı standart çelik numunesi ve sertifikalı 24 ayar altın ile sistem kalibre edilmiştir. Sistem kalibre edildikten sonra numuneler sırayla dedektörün haznesine yerleştirilmiş ve ışınlama yapılmıştır. Yapılan ışınlamaların ardından altın numunelerinin içindeki diğer metaller tespit edilmiştir.

3.11. Temel Parametreler Kalibrasyonu

Analiz aşamasında uygulanan kalibrasyonun asıl amacı, spektrometre tarafından sağlanan elementel hassasiyetlerin belirlenmesidir. Bu, belirli bir standart numunenin belirli koşullar altında ışınlaması sonucunda ortaya çıkan floresans ışımasıyla ilgili ana parametrelerin hesaplanmasını içerir. Bu parametreler, spektrometreye özgü dedektör özellikleri, ışınlama geometrisi, kaynak spektrumu gibi faktörlerden oluşur.

Bu hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için, spektrometre için özgü dedektör özellikleri, ışınlama geometrisi, kaynak spektrumu gibi parametrelerin bilinmesi gereklidir. Ölçülen floresans şiddetlerinin hesaplanan floresans şiddetlerine oranlanmasıyla, her bir elementin belirli bir karakteristik çizgisine ait kalibrasyon sabitleri türetilir.

Daha sonra, bu kalibrasyon sabitleri analiz aşamasında farklı numunelerin incelenmesinde kullanılır. Bu sayede, ölçülen floresans şiddetleri, numunelerin içerdikleri elementlerin varlığı ve konsantrasyonu hakkında bilgi sağlamak için değerlendirilebilir. Bu kalibrasyon süreci, analizlerin doğruluğunu artırarak, numunelerin bileşimi hakkında güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlar.

3.11.1. Tek standartlı kalibrasyon

Her bir elemente özel tek bir kalibrasyon sabiti elde etmek için, numuneye uygun elementleri içeren tek bir standart (tip standart) kullanılmıştır. Bakır, Krom, Demir, Nikel, Çinko, Kobalt elementlerini içerisinde bulunduran Steel 316 ve altın elementini içerisinde bulunduran sertifikalı 24 ayar altın standart olarak kullanılmış ve bu elementlere ait kalibrasyon sabitleri belirlenmiştir. Elde edilen bu sabitler, aynı gruptaki diğer numunelerin analizlerinde kullanılmıştır. Bu sayede, analizlerin doğruluğu ve güvenilirliği sağlanmıştır.

3.12. Altın

Altın, insanlık tarihinde çok eski dönemlerden beri bilinmekte ve kullanılmaktadır. M.Ö. 4000 yıllarında, Doğu Avrupa'da dekoratif objeler olarak üretilip kullanılmaya başlanmıştır. Sümerler, M.Ö. 3000 yıllarında günümüzdeki takı modellerini yapmışlardır. M.Ö. 1500 yıllarında Mısır ve Nubia'daki geniş altın yatakları, bu bölgeleri o dönemde dünyanın en zengin ülkeleri haline getirmiştir. Altın, uluslararası para birimi olarak da kabul edilmiş ve tarihsel olarak ticaretin önemli bir aracı olmuştur.

Altın, yer kabuğunda oldukça nadir bulunan bir element olmasına rağmen, bir dizi önemli özelliğiyle dikkat çeker. Öncelikle, altın doğada bilinen en iyi iletkenlerden biridir ve bu özelliği elektronik, sağlık ve uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Ayrıca, altın, su ve oksijenle reaksiyona girmez, yüksek bir korozyon direncine sahiptir ve oksitlenmez. Bu özellikleri, altını uzun ömürlü ve dayanıklı bir malzeme haline getirir.

Altının kolay şekillendirilebilir olması, onu işleme açısından üstün kılar. Bu özellik, altını kuyumculuk ve mücevherat sanayisinin vazgeçilmez bir metali yapar. Tarih boyunca altın, gücün, güzelliğin ve ihtişamın sembolü olmuştur. Ancak altının en belirgin özelliklerinden biri, çağlar boyunca en güvenilir yatırım aracı olmasıdır. Değerinin zaman içinde istikrarlı kalması ve genellikle ekonomik belirsizlik dönemlerinde güvenli liman olarak kabul edilmesi, altının yatırım amaçlı kullanımını popüler hale getirmiştir.

Altının madencilikteki önemli bir dönüm noktası, 1887 yılında John Stewart McArthur'ın İngiltere'de siyanür liçi prosesiyle altın kazanımı patenti almasıyla gerçekleşmiştir. Bu yöntem, altın madenciliğinde önemli bir ilerleme sağlamıştır.

3.12.1. Altın ve altının tarihsel gelişimi

Altın günümüzde genellikle süs ve ziynet eşyalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, altının özelliklerinin daha yakından incelenmesiyle birlikte farklı uygulama alanları da gün yüzüne çıkmıştır. Bu alanlar, para basımı, madalya ve külçe üretimi gibi çeşitlilik gösterir.

Tarih boyunca altın, para basımında önemli bir rol oynamıştır. M.Ö. 670 yılında Lidya Kralı Kroisos tarafından para basımında kullanılan altın, tarih boyunca "kralların metali" olarak bilinmiştir. Ancak, altın paraların kullanımı zamanla farklı metal alaşımlarının tercih edilmesiyle değişiklik göstermiştir. Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra altın paraların kullanımı azalmış ve daha çok koleksiyoncular arasında popüler hale gelmiştir. Özellikle devlet kurumları ve merkez bankaları tarafından yatırım amacıyla kullanılan altın külçeleri ise genellikle 400 Oz. (yaklaşık 12 kg) ağırlığındadır ve %99.5 saflıkta olabilir.

Kuyumculuk endüstrisi, dünya genelinde üretilen altının büyük bir kısmını tüketmektedir. Saf altın, diğer metallerle alaşımlanarak kullanılır çünkü saf altın çok yumuşak ve kolay şekil değiştirebilir. Altın alaşımlarından yapılan takılar, farklı fiziksel özelliklere sahip olabilir ve takı türüne göre değişik beklentileri karşılayabilir.

Altının elektronik ve iletişim endüstrisindeki kullanımı, özellikle 1960'lardan itibaren artmıştır. Altının oksidasyona ve korozyona karşı direnci, yüksek iletkenlik özelliği ve mükemmel kontakt malzemesi olma özellikleri, onu elektronik uygulamalar için ideal hale

getirir. İnce altın teller veya kaplamalar, yarı iletkenlerin ve devrelerin birbirleriyle temasını sağlamak için kullanılır. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 40 milyon bilgisayar üretildiğinden, altının bilgisayar endüstrisindeki kullanımı giderek artmaktadır.

Altın mimaride, astronomide, uzay araştırmalarında ve uydularda folyo halinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılık endüstrisinde, altın güvenlik amaçlı hava yastıklarında kullanılır. Darbe anında altın kaplı temas malzemesi, hava yastığının patlamasını sağlar. Ayrıca, savaş uçaklarının kokpit pencerelerinde, elektrik akımını taşıyarak buğulanmayı önlemek için çok ince altın kaplamalı akrilik kullanılır.

Diş hekimliğinde, altın yaklaşık 3000 yıldır kullanılan en eski malzemelerden biridir. Saf altın teller yerine, genellikle %10 Cu içeren altın alaşımları kullanılır. Bu alaşımlar, porselen kaplamaya uygun olacak şekilde özel olarak geliştirilmiştir.

Tüm bu kullanım alanlarına ek olarak, altın madencilik endüstrisi de önemli bir yer tutar. Altın doğada sert kaya parçaları veya alüvyon kumlar içinde bulunur ve çeşitli maden kuyularında derin kazılarla çıkarılır. Türkiye, tarih boyunca altın endüstrisinde önemli bir rol oynamıştır ve günümüzde altın takı endüstrisi özellikle 1900'lü yıllardan sonra büyük bir gelişim göstermiştir. Bu gelişmeler, sektörde istihdamı artırmış ve Türkiye'nin altın ihracatında önemli bir konuma gelmesini sağlamıştır.

3.12.2. Altının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Altın, elementler arasında öne çıkan eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir metaldir. Bu derlemede, altının bu özelliklerini ve endüstriyel kullanımlarını ayrıntılı bir şekilde ele alacağız. Başlıca fiziksel özelliklerinin yanı sıra, kimyasal reaktivitesi ve endüstriyel uygulamaları da incelenecektir. Bu bilgiler, fizik yüksek lisans tezi gibi akademik çalışmalarda kullanılabilecek nitelikte olacak ve benzersiz bir derleme sunacaktır.

Fiziksel Özellikler: Altın, parlak sarı rengiyle tanınır ve katı halde bulunur. Kristal yapısı, kübik sistemde kristallenmiştir ve sertliği 2,5 ile 3,0 arasında değişir. Yoğunluğu 15 ile 19 g/cm³ arasında değişir ve madensel bir parlaklığa sahiptir. Altın, dövülebilir ve tel haline getirilebilir özelliklere sahiptir. Atom numarası 79'dur ve atom ağırlığı 196.967'dir. Ergime

noktası 1063 °C, kaynama noktası ise 2970 °C'dir. Elektrik ve ısı iletkenliği yüksektir ve 0,0001 mm inceliğe kadar dövülebilir.

Kimyasal Özellikler: Altın, kimyasal olarak oldukça inert bir metaldir. Hava şartlarından etkilenmez ve tek başına asitlerden etkilenmez. Ancak, kral suyu gibi güçlü oksidasyon ajanları altını çözebilir. Altın, halojenlerle tepkimeye girer ve oksidasyonla çözünebilir. Ayrıca, altın bileşikleri +1 ve +3 değerliklere sahiptir. Standart elektrot potansiyeli hidrojenden daha pozitifdir, bu da onu diğer metallerden daha inert hale getirir.

Endüstriyel Kullanımlar: Altın, endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kuyumculuk ve süs eşyası üretimi, tıp ve elektronik sanayii, kimya ve ilaç endüstrisi gibi birçok alanda kullanılır. Elektronik endüstrisinde, yüksek iletkenlik özelliği nedeniyle yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, altın alaşımları elektrik anahtar kontaklarında, telefon santrallerinde ve uzay araçlarında kullanılır.

3.13. Alaşımlar

Altın, insanlık tarihinde önemli bir yere sahip olan ve kuyumculuk, sanat ve endüstri gibi çeşitli alanlarda geniş bir kullanım alanına sahip kıymetli bir metaldir. Bu metalin özellikleri, saflık seviyesi ve alaşımlarının bileşimi, endüstriyel uygulamalarında ve mücevher yapımında kritik bir rol oynamaktadır. Bu derlemede, altın alaşımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

Safiyet seviyeleri ve karat sistemi:

Altın alaşımlarının safiyeti genellikle karat (k) sistemiyle ifade edilir. Bu sistemde, saf altın 24 karat olarak kabul edilirken, diğer metallerle karıştırıldığında karat değeri düşer. Örneğin, 18 karat altın alaşımı, 24 parçadan 18'inin saf altın olduğunu ifade eder. Safiyet seviyeleri genellikle 24, 22, 18, 14 ve 9 karat olarak belirtilir.

Renkli altın alaşımları:

Altın alaşımlarının rengi, içerdikleri diğer metallerin türüne ve oranına bağlı olarak değişir. Gümüş, bakır ve çinko gibi metallerin ilavesiyle farklı renk tonları elde edilebilir. Örneğin, gümüş ilavesi altın alaşımlarına beyazlık katar, bakır sarı ve kırmızı tonlarına neden olur.

Renk tonları, alaşım bileşimine göre değişir ve mücevherat endüstrisindeki estetik tercihlere cevap vermek için önemlidir.

Mekanik ve fiziksel özelliklerin etkisi:

Altın alaşımlarının mekanik ve fiziksel özellikleri, içerdikleri diğer metallerin türüne ve oranına bağlıdır. Bakır, gümüş ve diğer alaşım elementlerinin ilavesi, alaşımların sertliğini artırabilirken, dövülebilirlik ve işlenebilirlik gibi özelliklerini de etkileyebilir. Bu özellikler, mücevher yapımında ve endüstriyel uygulamalarda önemlidir.

Ticari kullanımlar ve endüstriyel önemi:

Altın alaşımları, kuyumculuk sektöründe yaygın olarak kullanılmakla birlikte, elektronik, tıp ve diğer endüstriyel alanlarda da çeşitli uygulamalara sahiptir. Elektronik bileşenlerin üretiminde yüksek iletkenlik özelliği nedeniyle tercih edilirler ve dişçilik alanında da sıkça kullanılırlar. Ayrıca, altın alaşımlarının biyomedikal uygulamalarda antibakteriyel özelliklere sahip olduğu da araştırılmaktadır.

3.11.1. Alaşım hesapları

Saf altın, doğası gereği oldukça yumuşak bir metaldir. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 2.5, Vickers sertlik skalasına göre ise 40 Hv olarak ölçülmüştür. Altının bu yumuşaklığı, şekil verebilme özellikleri açısından dezavantaj oluşturur. Bununla birlikte, mekanik işlemlerle altının sertliğini artırmak mümkündür. Haddelenerek tavllanmış saf altının oda sıcaklığındaki çekme mukavemeti 131 MPa, elastik modülü 80 GPa ve şekil değiştirme oranı %45'tir. Çapı 10 μm 'den küçük telleri soğuk olarak çekmek ve kalınlığı 0.2 μm olan folyoları döverek üretmek yalnızca altın ile mümkündür. Yüksek yoğunluğuyla altın, aynı zamanda iyi bir elektrik iletkenidir ve yumuşaklığından ötürü çok yüksek parlaklığa sahiptir. Altının mekanik işlemlerle sertliğinin artırılması mümkün olsa da, saf altını sertleştirmenin en iyi yöntemi alaşımlamadır. Alaşımlama sayesinde çeşitli renklerde altın alaşımları elde edilebilir. Saf altının tane boyutunu kontrol etmek, atmosferik ortamda 305°C sıcaklıkta tavlama ile mümkündür. Renkli altın alaşımları, bileşimlerine bağlı olarak 500-700°C sıcaklık aralığında tavllanır ve tavlama sonrası oksidasyonu engellemek amacıyla alaşıma su verilerek işlem tamamlanır. İki ve üç fazlı alaşımların yaşlandırılması ise 260-315°C

sıcaklık aralığında yapılmakta olup, alaşım bileşimine göre 100-425°C sıcaklıklarında da yaşlandırma yapılabilmektedir. Yaşlandırma süresi 5 dakika ile 2 saat arasında değişmekte olup, artan yaşlandırma süresiyle sertlik artmaktadır. Ancak, daha uzun yaşlandırma süreleri aşırı yaşlanmaya sebep olarak sertliğin düşmesine yol açar. Tavlama sıcaklığının artmasıyla beraber, kuyumculukta kullanılan altın alaşımlarının bazı mekanik özelliklerindeki değişimler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Değerli metaller, kuyumculukta saf hallerinde kullanılmazlar. Bunun sebebi, saf metallerin işlenmeye uygun olmamasıdır. Doğadan elde edilen saf altına kuyumculukta "has" denir. Has altın, çok yumuşak olduğundan kuyumculukta kullanılmaz; bu nedenle içine bakır, nikel, çinko gibi çeşitli katkı maddeleri eklenir ve belirli oranlarda altın alaşımları elde edilir. Bu katkı maddeleri belirli hesaplamalarla belirli oranlarda eklenir ve elde edilen altın alaşımının içindeki saf altın oranına "ayar" denir. Ayar veya karat, altın alaşımındaki saf altının 1/24 oranında gösterilmesidir. Yani saf altın veya kuyumcu tabiriyle has altın 24 ayar olarak kabul edilir. Bu ölçü birimi günümüzde daha hassas bir ölçü birimi olan "milyem" ile değerlendirilir. Milyem, altın saflığının 1/1000 olarak gösterilmesidir. 24 ayar saf altın 1000 milyem olarak kabul edilir. Aşağıda farklı ayar ve karatların milyem karşılıkları verilmiştir:

24 ayar: 1000 milyem

22 ayar: 917 milyem

21 ayar: 875 milyem

20 ayar: 833 milyem

19 ayar: 792 milyem

18 ayar: 750 milyem

17 ayar: 708 milyem

16 ayar: 667 milyem

15 ayar: 625 milyem

14 ayar: 583 milyem

13 ayar: 542 milyem

12 ayar: 500 milyem

11 ayar: 458 milyem

10 ayar: 417 milyem

9 ayar: 375 milyem

8 ayar: 333 milyem

7 ayar: 292 milyem

6 ayar: 250 milyem

5 ayar: 208 milyem

4 ayar: 167 milyem

3 ayar: 125 milyem

2 ayar: 83 milyem

1 ayar: 41.66 milyem

İmalatta, TSE tarafından hazırlanan T.S. 7000'e göre aşağıdaki 8 tip ayarın kullanımı zorunludur:

24 ayar: 1000 milyem

22 ayar: 917 milyem

21 ayar: 875 milyem

18 ayar: 750 milyem

14 ayar: 583 milyem

10 ayar: 417 milyem

9 ayar: 375 milyem

8 ayar: 333 milyem

Değerli metallerin ağırlığını ifade etmek için "has (saf) ağırlık" ve "toplam ağırlık" kavramları kullanılır. Bir alaşımın milyemini belirtmek için teorik olarak herhangi bir ölçek kullanmak mümkündür. Pratik nedenlerden dolayı milyem binler ile ifade edilmiştir. Buna göre, has altın 1 000/1 000 milyemdir. 750/1 000 milyemlik bir alaşım ise her 1 000 gramında 750 gram has altın bulundurur.

Değerli taşların ağırlığını ifade etmek için gram büyük bir ağırlık birimi olduğundan, "karat" kullanılır. Günümüzde teknik karat tam olarak 0,2 gramdır.

Bir alaşımın milyemini hesaplamak için has ağırlık, toplam ağırlığa bölünüp 1000 ile çarpılır. Altının ayarlanması, mevcut altının ayarını düşürmek veya yükseltmek amacıyla yapılır. Ayar düşürme işleminde, belirli hesaplamalarla bakır, nikel, çinko gibi katkı maddeleri eklenir. Ayar yükseltme işleminde ise has veya yüksek ayarlı altın eklenir. Bu işlemler belirli matematiksel formüller kullanılarak gerçekleştirilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektroskopisi (ED-XRF) yöntemi kullanılarak altın ayarı tespiti yapılmıştır. Çalışmalar, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiş ve 8, 14, 18, 22 ve 24 ayar altın numuneleri analiz edilmiştir.

Farklı ayarlarda (8, 14, 18, 22 ve 24 ayar) altın numuneleri incelenmiş ve oluşturulan kalibrasyon eğrisi kullanılarak altın ayarı analizi gerçekleştirilmiştir. Analizlere başlamadan önce, her altın numunesindeki farklı metallerin analizi için Steel 316 örnek çelik kullanılmış, altın oranının tespiti içinse standart 24 ayar altın referans olarak alınmıştır.

Analizlerde kullanılan dedektör, gümüş anotlu X-123 SDD tipindedir. Numuneler, 45 derecelik açı ve X ışını kaynağına Tungsten filtre konularak ışınlanmıştır. En yüksek verimi elde etmek için 35 keV enerji, 20 mikroamper ve en uygun istatistikler ve sayım şiddeti alınacak sürede ışınlama yapılmıştır. Bu koşullar sağlanarak hata payı en düşük seviyeye indirgenmiştir.

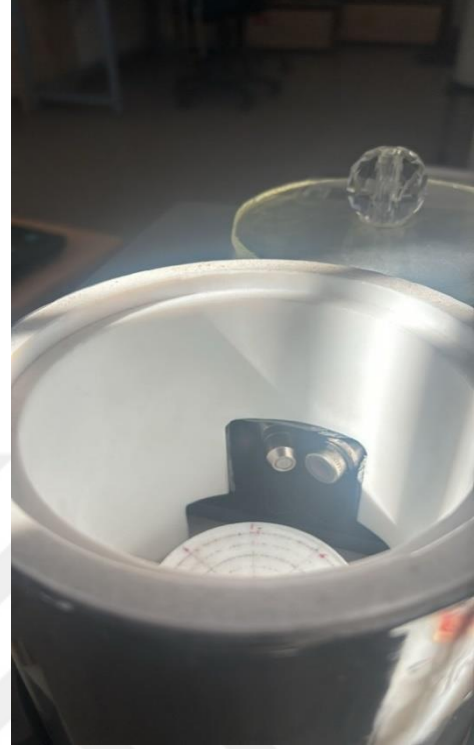
İlk olarak, X-ışını üretilmiş ve bu X-ışınları ile elektronlar çarpıştırılmıştır. Çarpışma sonucu, fotonlar elektronları yerlerinden kopararak fotoelektrik etki oluşturmuştur. Dedektör, maksimum 50 keV ve 200 mikroamper aralığında çalışmaktadır. Çalışılan dedektörün özellikleri nedeniyle K ve L kabukları analiz edilmiştir. Dedektörün ayırma gücü 132 eV olup, MCA (Çok Kanallı Analizör) 2048 kanala sahiptir.

Altın numunelerinin analizi

Altın numunelerinin analizi, her bir numunenin içeriğindeki altın ve diğer metal elementlerin oranlarını belirlemek için yapılmıştır. Analizler, Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektroskopisi (ED-XRF) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneği

Resim 4.1. Deney düzeneği tepeden görünüm



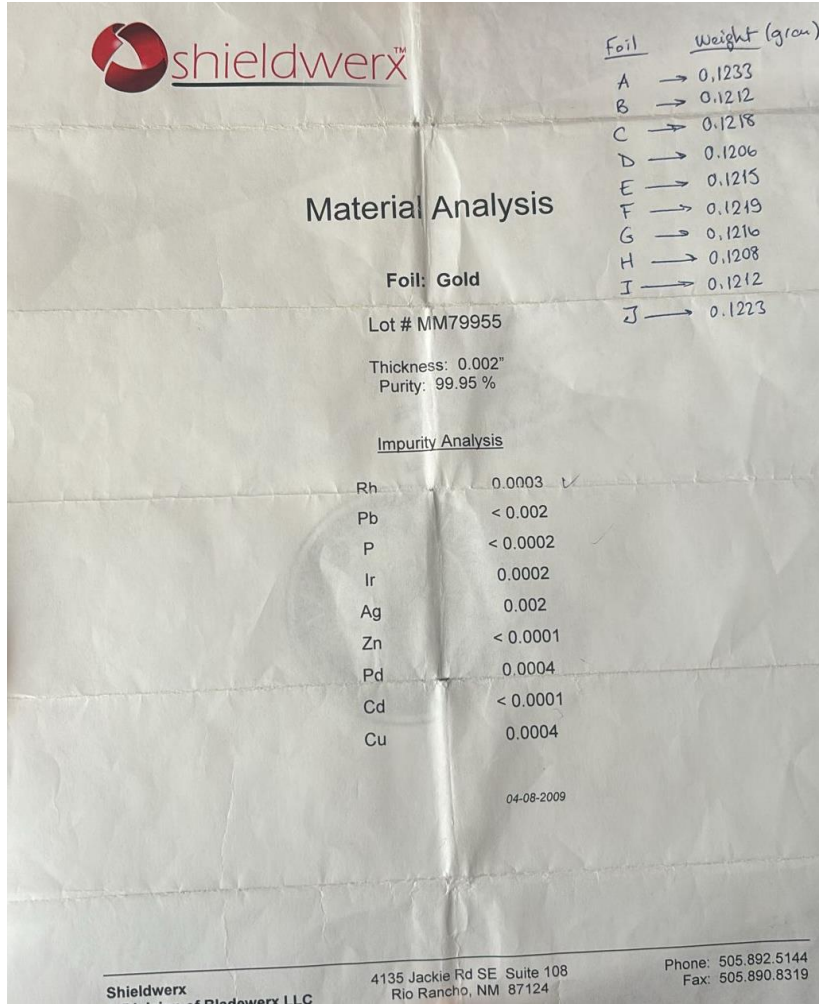
Resim 4.2. Işınlama penceresi



Resim 4.3. Numune ile ışınlama



Resim 4.4. Deney düzeneği tam set



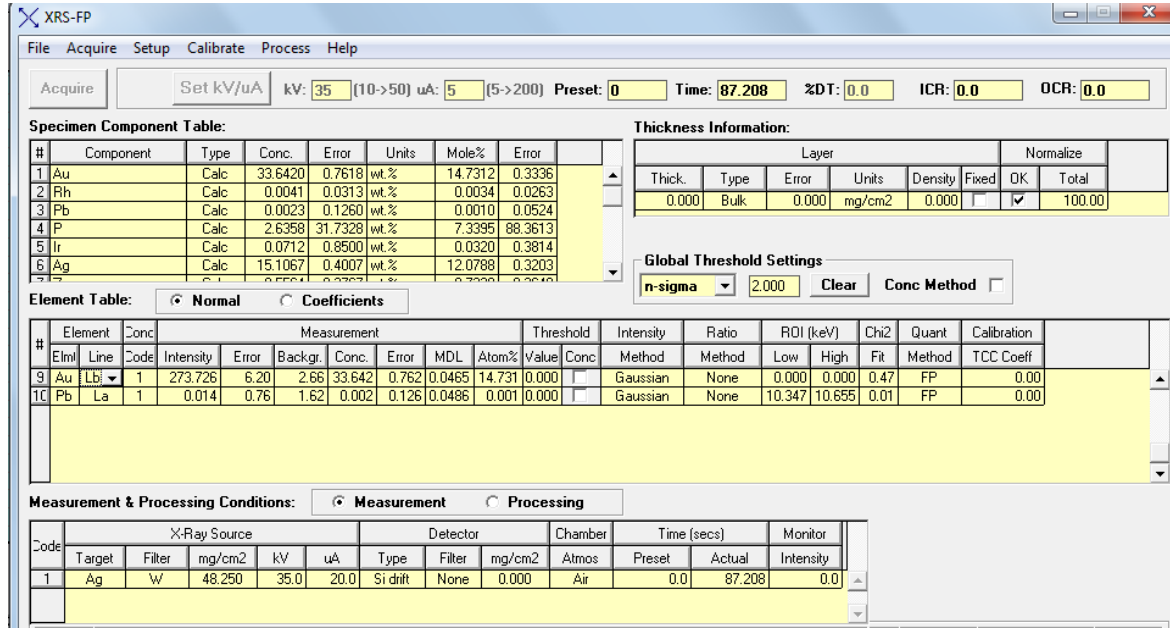
Resim 4.5. 24 Ayar sertifikalı altın foil analiz değerleri



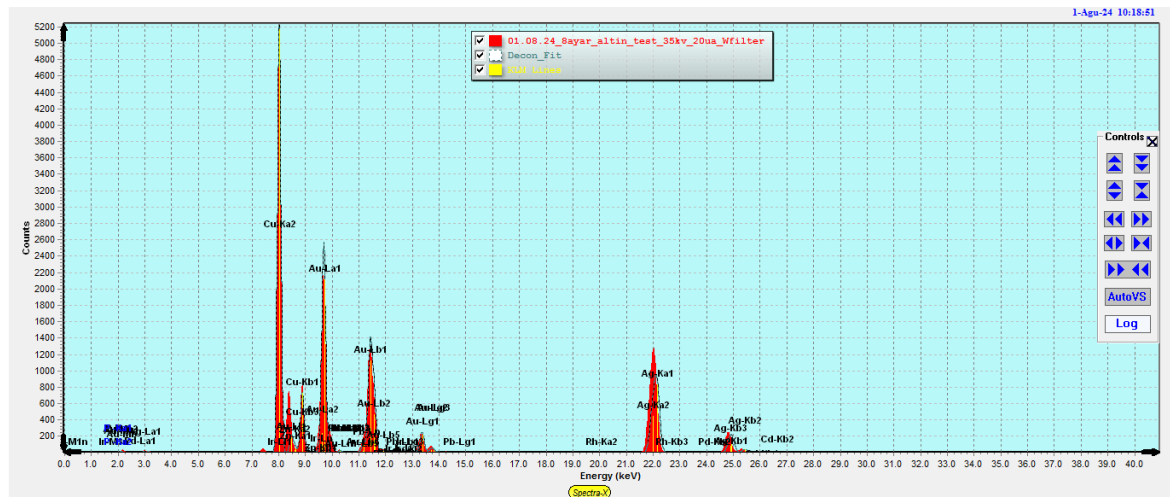
Resim 4.6. Deneyde kullanılan 24 ayar sertifikalı altın foili

4.1. 8 Ayar Altın Analizi

8 ayar altın numunesinin içeriğinde %33,3 saf altın, kalan %66,7'sinin diğer metallerden oluştuğu bilinmektedir. XRS-FP yazılımı ile analiz sonucunda, numunenin içeriğindeki diğer metal yüzdeleri sisteme sertifikalı G foil değerleri girilerek belirlenmiştir.



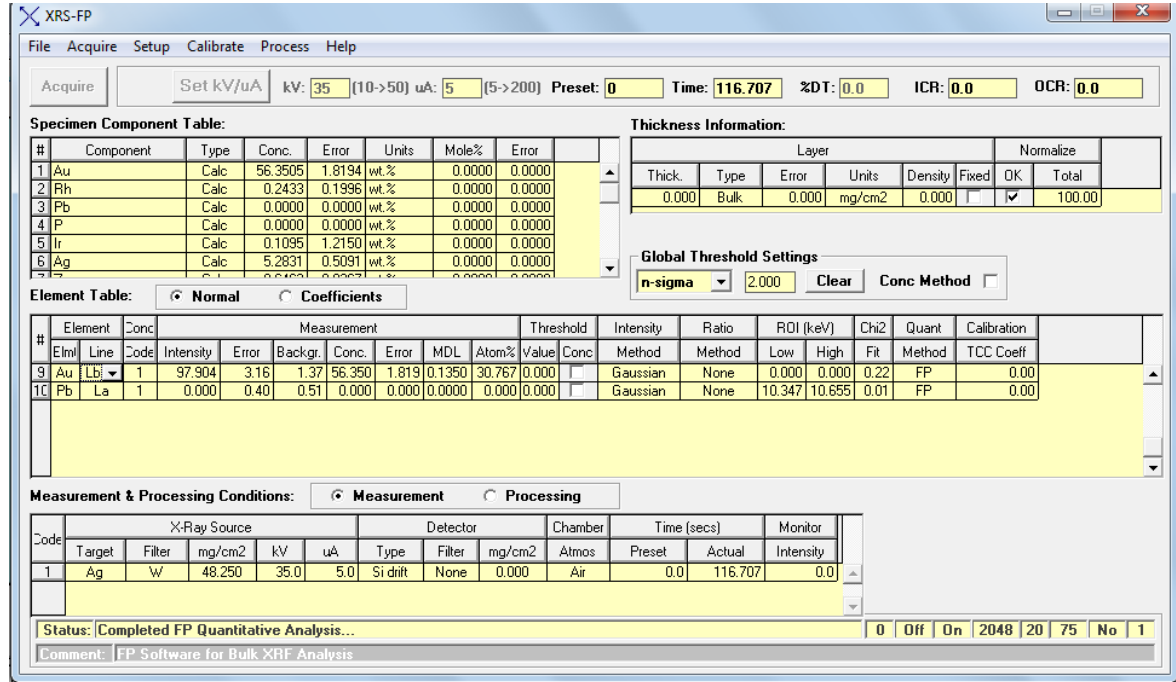
Şekil 4.1. 8 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz



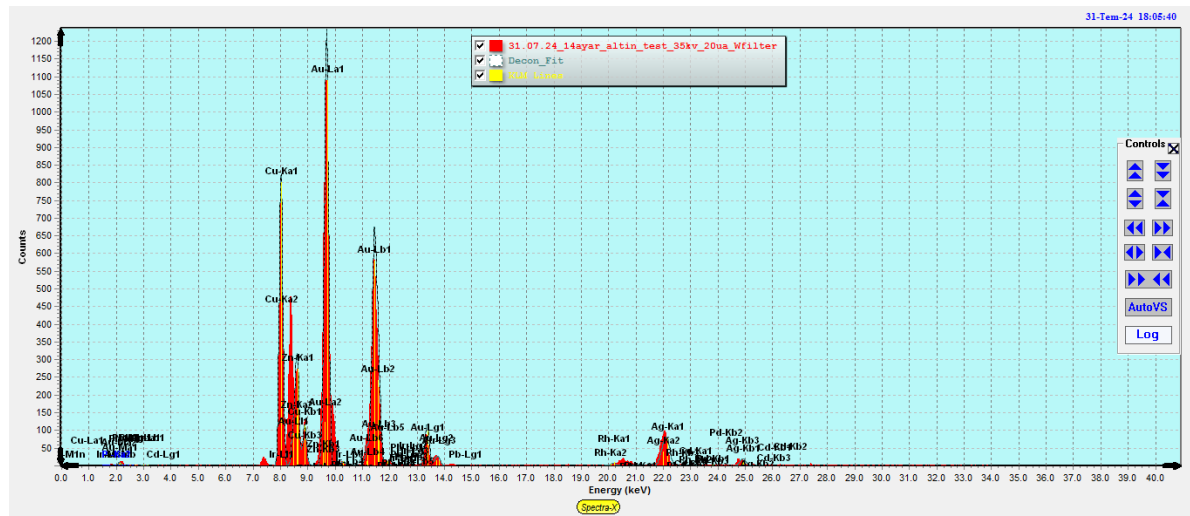
Şekil 4.2. Spectra ile 8 ayar altın analizi

4.2. 14 Ayar Altın Analizi

14 ayar altın numunesinin içeriğinde %58,3 oranında saf altın içerirken, kalan %41,7'nin diğer metallerden oluştuğu bilinmektedir. XRS-FP yazılımı ile analiz sonucunda, numunenin içeriğindeki diğer metal yüzdeleri sisteme sertifikalı G foil değerleri girilerek belirlenmiştir.



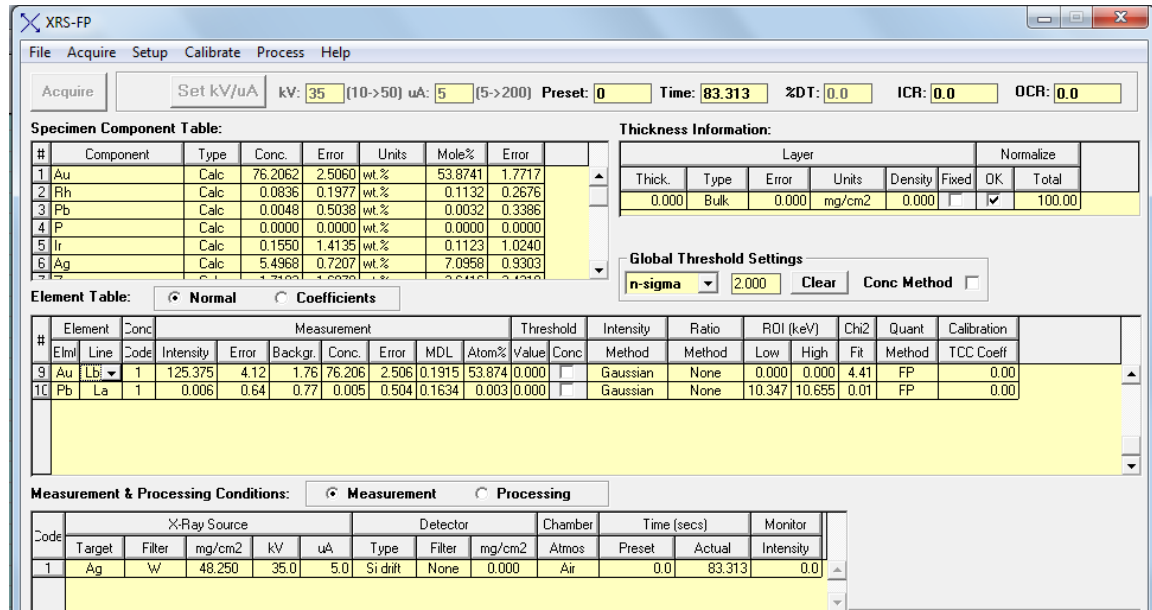
Şekil 4.3. 14 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz



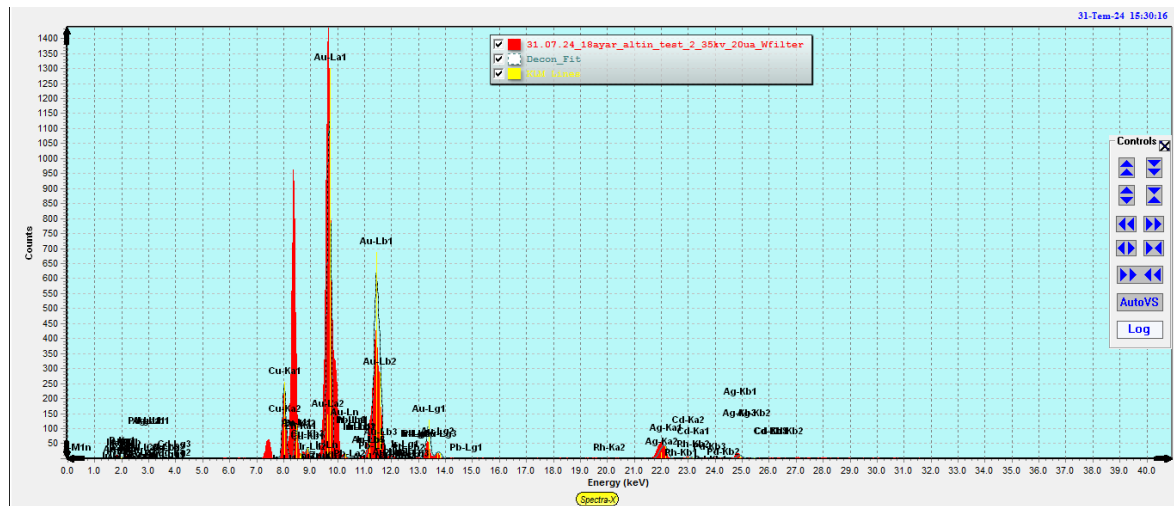
Şekil 4.4. Spectra ile 14 ayar altın analizi

4.3. 18 Ayar Altın Analizi

18 ayar numunesinin içeriğinde, %75 oranında saf altın içerirken, kalan %25'inin diğer metallere oluştuğu bilinmektedir. XRS-FP yazılımı ile analiz sonucunda, numunenin içeriğindeki diğer metal yüzdeleri sisteme sertifikalı G foil değerleri girilerek belirlenmiştir.



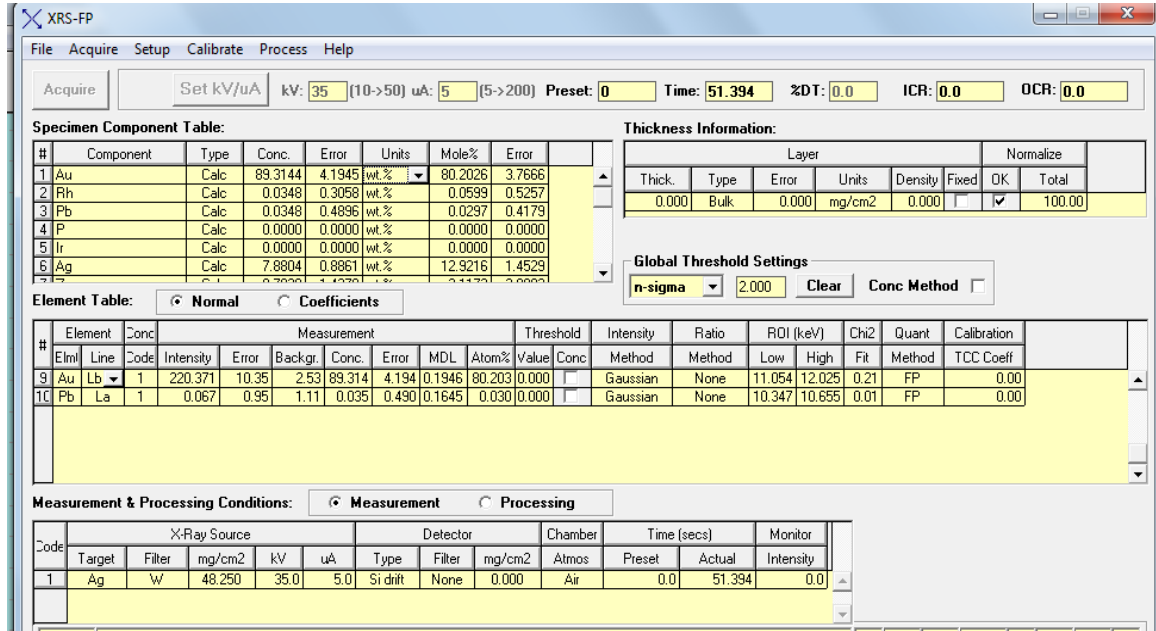
Şekil 4.5. 18 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz



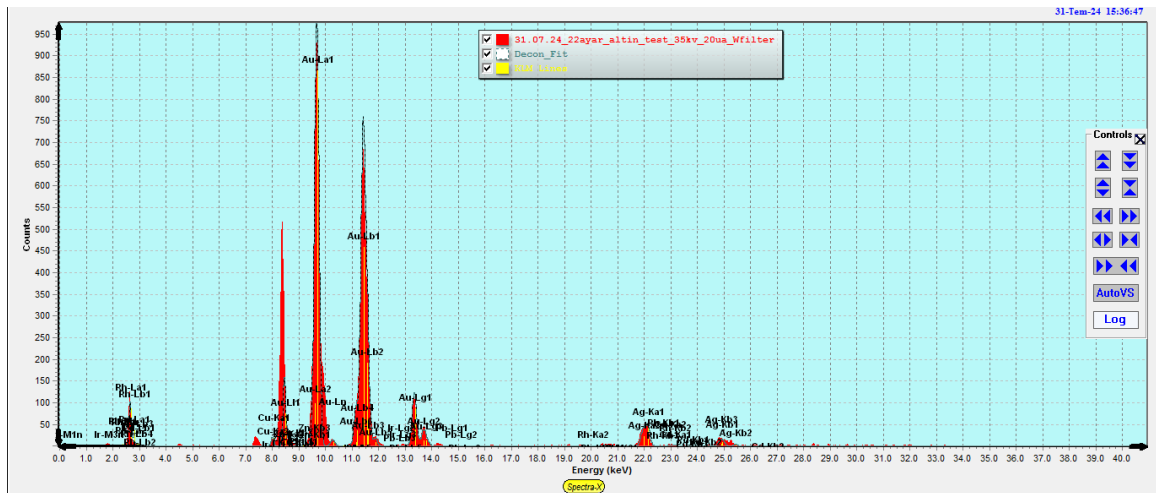
Şekil 4.6. Spectra ile 18 ayar altın analizi

4.4. 22 Ayar Altın Analizi

22 ayar altın numunesi, %91,7 oranında saf altın içerirken, kalan %8,3'ün diğer metallerden oluştuğu bilinmektedir. XRS-FP yazılımı ile analiz sonucunda, numunenin içeriğindeki diğer metal yüzdeleri sisteme sertifikalı G foil değerleri girilerek belirlenmiştir.



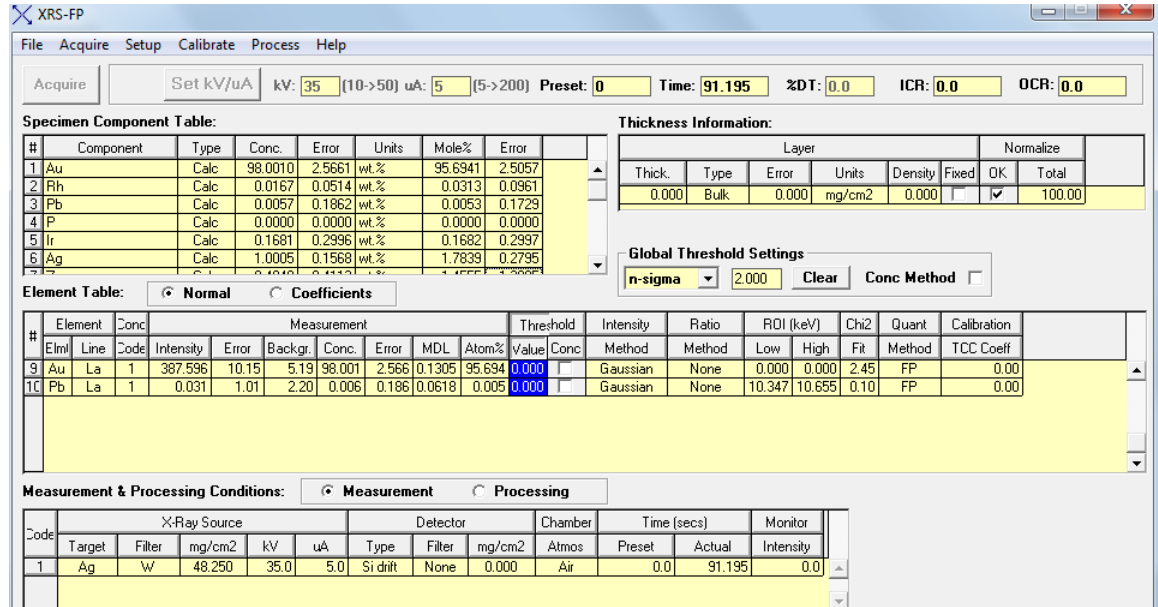
Şekil 4.7. 22 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz



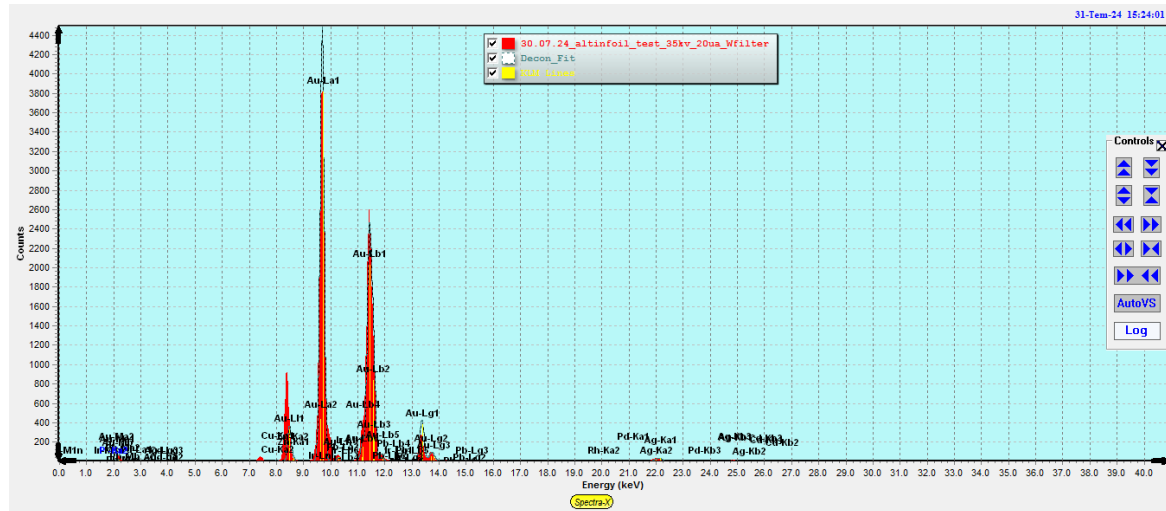
Şekil 4.8. Spectra ile 22 ayar altın analizi

4.5. 24 Ayar Altın Analizi

24 ayar altın numunesi, %99,9 oranında saf altın içerdiği bilinmektedir. Numune olarak sertifikalı 24 ayar foil altın numunesi kullanılmıştır.



Şekil 4.9. 24 Ayar altın XRS-FP ile elementel analiz

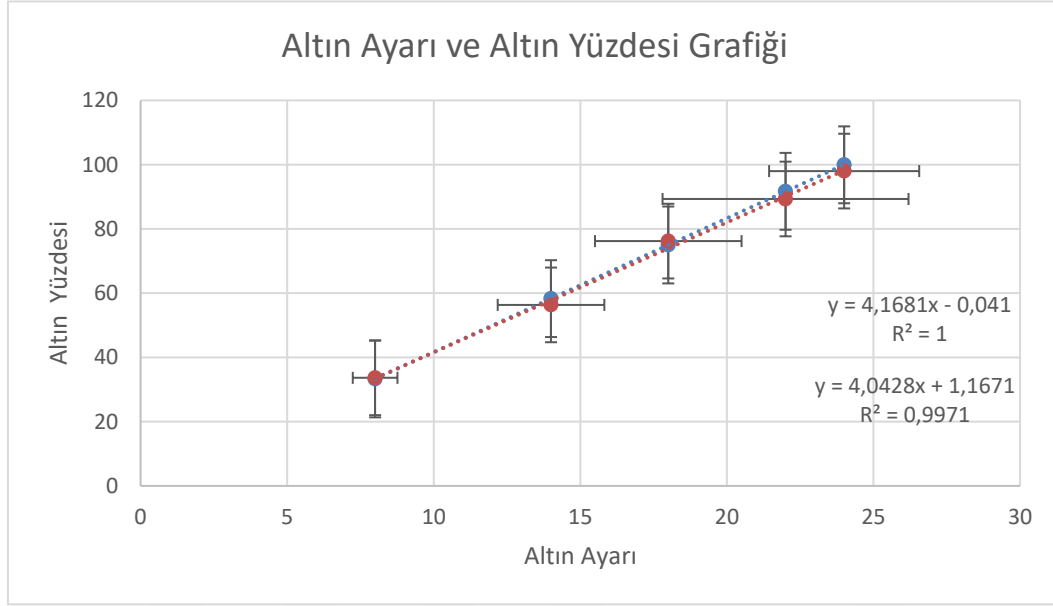


Şekil 4.10. Spectra ile 24 ayar foil altın analizi

Analiz sonuçlarına göre, saflık oranı bilinmeyen bir altın numunesinin içeriği aşağıdaki grafiğe göre belirlenebilir.

Çizelge 4.1. Analiz Sonuçları:

Altın Ayarı	Safılık Oranı	Numune Safılık Oranı	Deney Hata Payı
8	33,3	33,642	0,762
14	58,3	56,351	1,819
18	75	76,206	2,5
22	91,7	89,314	4,195
24	99,95	98,001	2,56



Şekil 4.11. Altın ayarı ve altın yüzdesi grafiği



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Enerji Dağılımlı X-Işını Floresans Spektroskopisi (ED-XRF) yöntemi kullanılarak altın numunelerinin ayar tespiti yapılmıştır. Çalışmada, 8, 14, 18, 22 ve 24 ayar olmak üzere beş farklı ayarda altın numuneleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu yöntemin altın ayarını belirlemede yüksek hassasiyet ve güvenilirlik sunduğunu göstermektedir.

Analizler sırasında, altın numunelerinin içeriğindeki farklı metallerin yüzdeleri belirlenmiştir. 8, 14, 18, 22 ve 24 ayar altın numunelerinin bilinen değerlerine yakın değerler bulunmuştur.

Sertifikalı 24 ayar altın foil kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre numunelerin içindeki saf altın oranları:

8 ayar altın için saf altın oranı %33,6420 bulunmuş olup hata payı %0,7618.

14 ayar için saf altın oranı %56,3505 bulunmuş olup hata payı %1,3340.

18 ayar için saf altın oranı %76,2062 bulunmuş olup hata payı %1,8194.

22 ayar için saf altın oranı %89,3144 bulunmuş olup hata payı %4,1945.

24 ayar için saf altın oranı %98,0010 bulunmuş olup hata payı % 2,5661.

ED-XRF yöntemi, atomların kabukları arasındaki enerji farklarından kaynaklanan karakteristik X-ışınlarının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Dedektör maksimum 50 keV ve 200 mikroamper aralığında çalışmakta olup, K ve L kabuğunda analizler gerçekleştirilmiştir. .

Analiz sonuçları, her bir numunenin kimyasal bileşiminin detaylı bir profilini sunmuş ve altın dışındaki elementlerin kesin oranlarını belirlemiştir. Bu analizler, farklı ayarlardaki altın numunelerinin içeriğindeki metallerin oranlarının güvenilir bir şekilde tespit edilmesini sağlamıştır.

24 Ayar Altın: 24 ayar altın numunesi %2,5661 hata payıyla, %98,0010 saflıkta bulunmuştur. Bu sonuç, 24 ayar altının pratikte saf altın olarak kabul edilmesiyle tutarlıdır ve ED-XRF yönteminin yüksek doğruluğunu göstermektedir.

22 Ayar Altın: 22 ayar altın numunesi %4,1995 hata payıyla %89,3144 saflıkta bulunmuş olup, geri kalan %11'lik kısmın diğer metallerden oluştuğu tespit edilmiştir. Bu alaşım, 22 ayar altının mekanik özelliklerini artırmak amacıyla kullanılır ve literatürde belirtilen tipik bileşimlerle uyumludur.

18 Ayar Altın: 18 ayar altın numunesi %2,5 hata payıyla %76,2062 saflıkta bulunmuş olup, kalan %24'lik kısmın diğer metallerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu sonuç, 18 ayar altının tipik bileşimiyle örtüşmektedir.

14 Ayar Altın: 14 ayar altın numunesi % 2,8194 hata payıyla %56,3505 saflıkta bulunmuş olup, kalan %44'lik kısmın diğer metallerden oluştuğu belirlenmiştir. 14 ayar altının yaygın olarak bilinen alaşım oranlarıyla uyumludur

8 Ayar Altın: 8 ayar altın numunesi %0,7618 hata payıyla %33,6420 o saflıkta bulunmuş olup, kalan % kısmın diğer metallerden oluştuğu belirlenmiştir Bu bileşim, 8 ayar altının ekonomik ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bir alaşım olduğunu göstermektedir.

Örneğin, 24 ayar altının %98 saflıkta olması, bu tür altın için beklenen değerlerle örtüşmektedir. Benzer şekilde, 22 ayar altının %89 saflıkta olması ve içindeki diğer metallerin oranları, 22 ayar altın alaşımlarında yaygın olarak kabul edilen değerlere uygundur. 18, 14 ve 8 ayar altın numunelerinin saflık dereceleri ve içerdiği metallerin oranları da literatürdeki verilerle tutarlıdır.

Bu çalışma, ED-XRF yönteminin altın alaşımlarının kimyasal bileşimlerinin belirlenmesinde etkili bir araç olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, ED-XRF yöntemi altın ayarının tespitinde yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlayan güvenilir bir tekniktir. Bu bulgular, altın ve diğer değerli metallerin analizinde ED-XRF yönteminin kullanımını desteklemektedir.

Sonuç olarak, ED-XRF yöntemi ile yapılan bu çalışma, altın numunelerinin ayar tespitinde yüksek hassasiyet ve doğruluk sağlamıştır. Elde edilen bulgular, ED-XRF yönteminin

kuyumculuk ve değerli metal analizleri gibi alanlarda güvenilir ve etkin bir teknik olduğunu doğrulamaktadır. Bu yöntemin kullanımı, altın ayarının yanı sıra diğer metal elementlerin oranlarının da hızlı ve kesin bir şekilde belirlenmesine olanak tanımaktadır.

ED-XRF yöntemi ile yapılan analizler, altın numunelerinin saflık derecelerini ve içerdikleri diğer elementlerin oranlarını yüksek hassasiyetle tespit edebilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde belirtilen verilerle uyumlu olup, yöntemin güvenilirliğini pekiştirmektedir.





KAYNAKLAR

- Akduman, O. (2019). *Toz ve metalik formdaki numunelerin temel parametreler yöntemi kullanılarak ED-XRF spektroskopisi ile kantitatif analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ankara, 85-93.
- Aksoy, C. (2012). *Bazı elementler ve bileşiklerin floresans parametreleri ve FeSeI-xTex süperiletken ince filmlerin yapısal analizi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 85-96.
- Al-Kubati, A.B.H. (2020). *X-ışını floresans (XRF) yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 45-52.
- Arık, E. (2013). *Domates yapraklarının XRF tekniği ile elemental analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2-3.
- Arslan, T. (2010). *X-ışınları ve kullanım alanları*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 46-52.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Apaydın, G., Cengiz, E., Aylıkçı, V. ve Bakkaloğlu, F. Ö. (2009). Influence of alloying effect on X-ray fluorescence parameters of Co and Cu in CoCuAg alloy films. *Chemical Physics Letters*, 475, 135-142.
- Başaran, H.Ö. (2010). *Altın cevherlerinin ateş analizlerinde kullanılan curuflaştırıcıların etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 78-93.
- Bilici, E. (2020). *Bazı bor bileşiklerinde koherent ve gerisaçılma şiddet oranının ortalama atom numarası ile değişiminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 46-48.
- Bilici, T. (2012). *Bazı şifalı bitkilerin WDXRF ve taşınabilir ED-XRF spektrometreler ile elemental analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağrı, 65-72.
- Bohlen, A. V. (2004). Total reflection X-ray fluorescence spectrometry - A versatile tool for ultra-micro analysis of objects of cultural heritage. *e-PRESERVATION Science*, 1, 23-34.
- Brouwer, P. (2003). *Theory of XRF*. PANalytical, Almelo, Hollanda, 1-8.
- Cengiz, E. (2011). *3. sıra geçiş elementi bileşiklerinin K ve L X-ışını floresans parametreleri*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 122-136.
- 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.

- Durak, R. (1997). *X-ışını flöresans spektrometri ders notları-1*. Yayımlanmamış ders notları, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 1-5.
- Ekinci, N., Ekinci, R., Polat, R. ve Budak, G. (2004). Analysis of trace elements in medicinal plants with energy dispersive X-ray fluorescence. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 260, 127-131.
- Fusco, M. Speakman, R.J. (2010). *The application of X-ray fluorescence (XRF) spectrometry in the characterization of glass degradation in beaded African art*. *The Bead Forum*, 56, 1-12.
- İnternet: X-ray attenuation, Web: [http://www.nrg-nl.com/docs/nrglib/2004/44395i11-X-ray attenuation.pdf](http://www.nrg-nl.com/docs/nrglib/2004/44395i11-X-ray%20attenuation.pdf), Son Erişim Tarihi: 17/03/2024.
- İnternet: Ampek Inc. (2024). Web: <http://www.amptek.com>, Son Erişim Tarihi: 26/03/2024.
- İnternet: Amptek. Quantitative Analysis Software for X-Ray Fluorescence. Web: <https://www.amptek.com//media/Ametekamptek/Documents/Resources/Products/Specs/Xrs-fp-specs.Pdf?La=en&revision=b201c5d6-b81d-4c0b-bd2b-d7ed3dd740503>, Son Erişim Tarihi: 21.08.2023.
- İnternet: Jewelry Secrets. "What Is The Content Of 14kt Gold?". Web: <https://www.jewelry-secrets.com/Blog/what-is-the-content-of-14kt-gold/>, Son Erişim Tarihi: 31.07.2023.
- İnternet: Kamufinans. Milyem Nedir? Ons Nedir? Milyem Ne İşe Yarar? 1 Gram Kaç Milyem Eder?. Web: <https://www.kamufinans.com/Milyem-nedir-ons-nedir-milyem-ne-ise-yarar-1-gram-kac-milyem-eder>, Son Erişim Tarihi: 01.07.2024.
- İnternet: KTU, "Nitel ve Nicel Analiz Laboratuvarı Uygulamaları". Web: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/kimya_5e892.pdf, Son Erişim Tarihi: 31.07.2023,
- İnternet: Thermofisher. "5 Precious Metals Analysis Methods". Web: <https://www.thermofisher.com/blog/metals/5-precious-metals-analysis-methods/>, Son Erişim Tarihi: 02.08.2023,
- İnternet: XDB (2024). Web: http://xdb.lbl.gov/Section1/Sec_1-2.html, 2024, Son Erişim Tarihi: 17/03/2024.
- Janssens, K., Vittiglio, G., Deraedt, I., Aerts, A., Vekemans, B., Vincze, L., Wei, F., Deryck, I., Schalm, O., Adams, F., Rindby, A., Knöchel, A., Simionovici, A. ve Snigirev, A. (2000). Use of microscopic XRF for non-destructive analysis in art and archaeometry. *X-Ray Spectrometry*, 29(1), 73-91.
- Jenkins, R., Gould, R.W. Gedcke, D. (2000). *Applications of X-ray spectrometry*. *Applied Spectroscopy Reviews*, 35(1-2), 129-150.
- Jotanović, A.A., Memić, M.B., Suljagić, Š.A. and Huremović, J.B. (2012). Comparison of x-ray fluorescent analysis and cupellation method for determination of gold in gold jewellery alloy. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, 38, 13-18.

- Karabulut, K. (2015). *Ag-Cu ince film alaşımlarına ait X-ışını floresans parametrelerinin ED-XRF yöntemiyle ölçülmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 102-105.
- Karydas, A. G., Brecolaki, X., Pantazis, T.H., Aloupi, E., Argyropoulos, V., Kotzamani, D., Bernard, R., Zarkadas, C.H. and Paradellis, T.H. (2005). *Importance of in-situ ED-XRF measurements in the preservation and conservation of material culture*. In M. Uda, G. Demortier, & I. Nakai (Eds.), *X-rays for Archaeology* (pp. 17-53). New York: Springer.
- Kortright, J.B., Thompson, A.C. (2011). *X-Ray Energy Emission Energies. X-Ray Data Booklet*, 35-39.
- Kromatografik Sistemler. (2011). *Kromatografik sistemler: Temel prensipler ve uygulamalar*. 1. Baskı, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, 102-106.
- Küçükaksoy, İ. ve Doğan, Y. (2017). Altın fiyatlarını etkileyebilecek faktörlerin incelenmesi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(2), 1-20.
- Milazzo, M. Cicardi, C. (1997). Simple methods for quantitative X-ray fluorescence analysis of ancient metal objects of archaeological interest. *X-Ray Spectrometry*, 26, 211–216.
- Rousseau, R. M. (2006). *Corrections for matrix effects in X-ray fluorescence analysis-A tutorial. Spectrochimica Acta, Part B*, 61, 759-777.
- Saydam, M. (2009). *Co, Ni, Cu, Zn komplekslerinin K X-ışını floresans parametreleri üzerine kimyasal etkiler*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 108-122.
- Selçuk, S. (2018). Mücevherat sektöründe kullanılan kimyasalların insan sağlığı üzerindeki etkileri. *International Journal of Interdisciplinary and Intercultural Art*, 3(4), 179-191.
- Senemtaş, E. (2008). *Enerji ayrımlı X-ışını floresans spektrometresi ile dedeksiyon limitinin tayini*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 26-32.
- Sezgin, M. Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13, 146-165.
- Yaylı, M. (2013). *Farklı marka ofis kağıtlarında XRF yöntemiyle element analizi*. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 85-93.





EK-1. ED-XRF ile Altın Ayarı Tespit Edilmesi – Türk Fizik Derneği



Gaziantep Bilim Akademi



ED-XRF ile Altın Ayarı Tespit Edilmesi

Damla Dicle CATAK¹, Aynur ÖZCAN¹

¹Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Fizik Ana Bilim Dalı, 06560 Teknikokullar, Ankara, Türkiye

31 Ağustos - 04 Eylül 2023

EK-2. Katılım Sertifikası



EK-3. Turkish Physical Society 39 International Physics Congress



TURKISH PHYSICAL SOCIETY 39th INTERNATIONAL PHYSICS CONGRESS

August 31- September 4, 2023

BODRUM / TURKEY

Book of Abstracts & Book of Programme

Editors

**Baki AKKUŞ, Gülfem SÜSOY DOĞAN, Ertan GÜDEKLİ,
Değer SOFUOĞLU, Aylin ÇALIŞKAN**

EK-4. Turkish Physical Society 39 International Physics Congress Program İçeriği

TÜRK FİZİK DERNEĞİ 39. ULUSLARARASI FİZİK KONGRESİ, 31 AĞUSTOS- 4 EYLÜL 2023, BODRUM/TÜRKİYE
 TURKISH PHYSICAL SOCIETY 39TH INTERNATIONAL PHYSICS CONGRESS, AUGUST 31 – SEPTEMBER 4, 2023, BODRUM/TURKEY

Nuclear Physics

09OP1	Abbas Alpaslan Koçer Isparta Radon Laboratory-Radon Control System	257
09OP2	Aydan Altıkulaç Radiological Effects of Phosphophyps Released by Phosphate Fertilizer Production	258
09OP3	Aydan Altıkulaç Determination of Natural Potassium Content of Hazelnut Samples by Gamma Spectrometric Method	259
09OP4	Bahar Tüysüz Progress in Protective Glass Shielding for Mamography Scans	260
09OP5	Büşra Başaran Synthesis and characterization of Dy ³⁺ doped Ba ₃ CdSi ₂ O ₈ for thermoluminescence dosimetry	261
09OP6	Çiğdem Tarakçı Finite Temperature Density Functional Theory: Investigation of Pairing and Normal Densities in Ca Hypernucleus	262
09OP7	Damla Dicle Çıtak Determination of Gold Setting by ED-XRF Analysis	263
09OP8	Duygu Şen Baykal Characterization of Gamma-ray Transmission Factor Values for Some Borosilicate Glass Samples Through MCNPX Code	264
09OP9	Elif Kemah Ground-State Magnetic Moments of ^{237,239} Np Isotopes	265
09OP10	Erkan İlik An overview of Lanthanide doped glasses through characteristic material properties in radiation shielding applications	266
09OP11	Esranur Yalçınkaya Investigation of Giant Dipole Resonance (GDR) in pseudo-mirror ¹⁶⁸ Hf and ¹⁶⁰ Er nuclei	267
09OP12	Ghada ALMisned Neutron absorption properties of Zircalloys as fuel rod and fuel coating materials in nuclear reactors: A Monte Carlo simulation study	268
09OP13	Gizem Öztürk Investigation of some oxide compounds in glass synthesis on shielding properties for cosmic radiation through the OLTARIS program	269

DETERMINATION OF GOLD SETTING BY ED-XRF ANALYSIS

AYNUR ÖZCAN, DAMLA DİCLE ÇATAK
GAZİ UNIVERSITY

Gold can be found in different proportions in the content of jewelry or jewelry. The ratio of gold in jewelry is known as the golden carat. Also called imitation or fake: There are also non-golden, gold-looking jewelry and jewelry inside. Some historical artifacts obtained during historical excavations also contain gold, and in some cases their health also needs to be examined. The aim of this study is to determine whether the jewels and precious artifacts containing or made of gold are real gold and the setting of the gold used is determined without destroying the material. To determine a new "standardized" analysis method with ED-XRF spectrometer for the determination of gold tuning and counterfeit, imitation gold materials used in various fields. Energy-differentiated X-ray spectrometer (ED-XRF) will be used to determine the amount of gold and other elements in the gold jewelry. ED –XRF was chosen because it is a suitable method for high-precision elemental analysis across a wide range of elements. The ED – XRF test setup to be used has a silver-targeted X-Ray tube with a maximum power of 4 W, capable of operating with a voltage of 10 – 50 kV and current in the range of 5 – 200 μ A. The system provides detection with SDD (Silicon Drift Detector) with a resolution that detects X-rays in the range of 1 - 25 KeV with an efficiency of over 25% and can provide 125 eV YYTG (Full Width at Half Height) at 5.9 KeV.

This study is included in the 8660 Projects of Gazi University Scientific Research Projects. ID, FYL-2023-8660 Project Code, Master's Thesis Project.



Gazili olmak ayrıcalıktır...