

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Zn VE Cr ELEMENTLERİNİN OLUŞTURDUĞU ALAŞIMLARIN X-IŞINI  
FLUORESANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE ALAŞIM ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet DOĞAN**

**HAZİRAN 2012  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Zn ve Cr ELEMENTLERİNİN OLUŞTURDUĞU ALAŞIMLARIN X-IŞINI  
FLUORESANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE ALAŞIM ETKİSİ**

**Muhammet DOĞAN**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2012**

**Tezin Savunma Tarih : 06.06.2012**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Fizik Ana Bilim Dalında**  
**Muhammet DOĞAN Tarafından Hazırlanan**

**Zn VE Cr ELEMENTLERİNİN OLUŞTURDUĞU ALAŞIMLARIN X-IŞINI  
FLUORESANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE ALAŞIM ETKİSİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22/05/2012 ve 1457 sayılı kararıyla  
oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Halit KANTEKİN**  
**Üye : Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU**  
**Üye : Doç. Dr. Gökhan APAYDI**

**Prof. Dr. Saadettin KORKMAZ**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

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

Çalışmalarım esnasında her türlü imkânı sağlayan K.T.Ü. Fizik Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof.Dr. Ekrem Yanmaz'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Fizik Bölümünde gerekli yardımı ve ilgiyi esirgemeyen hocalarım Sayın Doç. Dr. Gökhan APAYDIN'a, Doç. Dr. İsmail Karahan ve Yrd. Doç. Dr. Erhan Cengiz'e; Arş. Gör. Volkan AYLIKÇI' ya ve Arş. Gör. Nuray Küp AYLIKÇI' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle bu günlere gelmemi sağlayan aileme ve eşime en içten saygı, teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Muhammet DOĞAN  
Trabzon 2012

## TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Zn ve Cr Elementlerinin Oluşturduğu Alaşımların X-Işını Flouresans Parametreleri Üzerine Alaşım Etkisi" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU 'nun sorumluluğunda tamamladığımı verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili labaratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06/06/2012

Muhammet DOĞAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi .....	4
1.2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması .....	6
1.2.1.1. Fotoelektrik Olayı .....	6
1.2.1.2. Çift Oluşumu.....	7
1.2.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması.....	9
1.2.2.1. Koherent Saçılma .....	9
1.2.2.2. İnkohherent Saçılma .....	10
1.2.2.2.1. Compton Saçılması .....	11
1.3. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısımları .....	12
1.3.1. Lineer Soğurma Katsayısı .....	12
1.3.2. Kütle Soğurma Katsayısı .....	13
1.3.3. Soğurma Kısımları .....	14
1.3.4. Karakteristik X-Işınlarının Oluşumu ve Enerji Seviyeleri.....	16
1.4. Floresans Verim ve Coster-Kronig Geçişleri.....	20
1.5. <sup>241</sup> Am Radyoizotop Kaynağı.....	21
1.6. Geçiş Metallerinin Genel Özellikleri .....	22
1.7. Alaşımalar .....	23
1.8. Elektrokimyasal Depolama.....	25
1.8.1. Elektrokimyasal Depolamayı Etkileyen Faktörler .....	27

1.9.	Alaşım Etkisini Açıklamada Kullanılan Bazı Temel Kavramlar .....	28
1.9.1.	Metalik Bağ .....	28
1.9.2.	Hibritleşme .....	30
1.9.3.	Perdeleme Etkisi .....	30
1.9.4.	Kovalent Karakterli Metal Bağları .....	31
1.9.5.	Elektronegatiflik .....	31
2.	YAPILAN ÇALIşMALAR .....	32
2.1.	Foton Dedektörlerinin Genel Karakteristikleri .....	32
2.1.1.	Yarıiletken Dedektörler .....	33
2.1.2.	Yarıiletken Dedektörlerin Fiziksel Özellikleri .....	34
2.2.	Rezolüsyon (Ayrırma Gücü) .....	37
2.3.	Sayma Sistemi .....	41
2.3.1.	Yüksek Voltaj Kaynağı .....	41
2.3.2.	Ön Yükseltici .....	42
2.3.3.	Yükseltici .....	42
2.3.4.	Analog Dijital Dönüştürücü .....	43
2.3.5.	Çok Kanallı Analizör (MCA) .....	43
2.4.	Dedektör Verimi .....	43
2.4.1.	Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi .....	44
2.4.2.	$I_0Ge$ 'nin Tayini .....	46
2.4.3.	Ultra-LEGe Dedektörün Verim Eğrisinin Tayini .....	47
2.5.	Numunelerin Kütle Azaltma Katsayıları ve Soğurma Düzeltmesi Faktörleri ....	48
2.6.	Numunelerin Hazırlanması .....	50
2.7.	Deney Geometrisi, Numunelerin Uyarılması ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması .....	50
2.8.	K X-ışını şiddet Oranları, Floresans Verimleri, Floresans Tesir Kesitleri ve Çizgi Genişliklerinin Hesaplanması .....	51
3.	BULGULAR .....	54
3.1.	Numunelerin Uyarılmasıyla Elde Edilen X-ışınları ve Spektrumları .....	54
3.2.	K X-ışını şiddet Oranları, Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verim Değerleri .....	55
3.3.	K Kabuğu Seviye Genişlikleri, $K_{\alpha 1}$ ve $K_{\alpha 2}$ Çizgi Genişlikleri .....	66
4.	SONUÇLAR .....	76
5.	ÖNERİLER .....	83

6.	KAYNAKLAR .....	84
	ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Zn VE Cr ELEMENTLERİNİN OLUŞTURDUĞU ALAŞIMLARIN X-IŞINI  
FLUORESANS PARAMETRELERİ ÜZERİNE ALAŞIM ETKİSİ

Muhammet DOĞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLU  
2012, 87 Sayfa

Bu çalışmada  $Zn_xCr_{1-x}$  alaşımlarında bulunan Zn ve Cr elementlerinin K tabakası floresans tesir kesiti ve floresans verimi,  $K_\beta/K_\alpha$  X-ışını şiddet oranı, K seviyesi çizgi genişlikleri ED-XRF tekniği kullanılarak araştırıldı.  $Zn_xCr_{1-x}$  alaşımlarındaki kompozisyon konsantrasyonlarının banyo çözeltisi içerisindeki pH değerlerine, banyo sıcaklığına ve jelatin miktarına olan bağlılığı gösterildi. Numuneler  $^{241}Am$  radyoizotop halka kaynağından yayımlanan 59.5 keV enerjili  $\gamma$ -ışınları ile uyarıldı ve numunelerden yayımlanan karakteristik K X-ışınları, rezolüsyonu 5.9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü ile sayıldı. Bu çalışmada elde edilen değerler teorik değerlerle karşılaştırıldı.  $K_\alpha$  tesir kesitinin dışında K kabuğu X-ışını floresans parametreleri üzerine önemli değişiklikler gözlemlendi. Bu değişiklikler Zn elementinin 3d seviyesinden ya da dış kabuk elektronlarından Cr elementine geçen elektronlarla ve her iki metalin valans elektronlarının tekrar düzenlenmesi ile açıklandı.

**Anahtar Kelimeler:** Alaşım Etkisi, Floresans Tesir Kesiti, Floresans Verim, K X-ışını Şiddet Oranı

Master Thesis

SUMMARY

ALLOYING EFFECT ON THE X-RAY FLUORESCENCE PARAMETERS OF  
 $Zn_xCr_{1-x}$  ALLOYS

Muhammet DOĞAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Physics Graduate Program  
Supervisor: Prof. Engin TIRAŞOĞLU  
2012, 87 Pages

In this study, the alloying effect on the  $K_\beta/K_\alpha$  X-ray intensity ratio,  $K_\alpha$  and  $K_\beta$  X-ray production cross-sections, fluorescence yields and K X-ray line widths of Zn and Cr elements in  $Zn_xCr_{1-x}$  were investigated by the ED-XRF technique. It was shown that the concentration of compositions for  $Zn_{1-x}Cr_x$  alloys depends on the pH values, the bath temperature and glycine ratios in the bath solutions. The samples were excited by 59.5 keV  $\gamma$ -rays emitted from  $^{241}Am$  radioisotope source and K X-rays emitted from samples were counted by means of Ultra-LEGe detector which has the resolution 150 eV at 5.9 keV. The obtained values in this study have been compared with theoretical values. Significant changes on the K X-ray fluorescence parameters are observed except for  $K_\alpha$  X-ray production cross-section values. These changes were explained by the transfer of 3d electrons or outer shell electrons from Zn to Cr and the reorganization of electrons in both metals.

**Key Words:** Alloying Effect, Fluorescence Cross-section, Fluorescence Yield, K X-ray Intensity Ratio

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi.....	5
Şekil 2. Fotoelektrik olay; a) Etkileşmeden önce, b) Etkileşmeden sonra.....	7
Şekil 3. Çift oluşumu olayı.....	8
Şekil 4. Compton Saçılması .....	12
Şekil 5. Zn Elementi için gelen foton enerjisinin fonksiyonu olarak verilen fotoelektrik, koherent, inkoherent saçılma tesir kesitleri ve soğurma kıyıları .....	16
Şekil 6. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu (a) Karakteristik K .....	18
Şekil 7. Am-241 elementinin deneysel bozunma şeması (Beling, Newton .....	22
Şekil 8. (a) Yerdeğiştirme alaşımı (b) Örgüler arası alaşım (c) Başka örgüden türeyen yerdeğiştirme alaşımı (Tunalı ve Özkar, 2005) .....	25
Şekil 9. Tipik bir elektrodopolama düzeneği .....	25
Şekil 10. Düzlem Ge(Li) dedektör .....	35
Şekil 11. Düzlem p-tipi yüksek saflıkta Ge dedektör.....	36
Şekil 12. Dedektör ve bölümleri .....	40
Şekil 13. X-ışınları floresans ölçüm sistemi diyagramı .....	41
Şekil 14. <sup>241</sup> Am radyoaktif kaynağı kullanılarak elde edilen I <sub>0</sub> Ge'nin enerji ile değişimi	48
Şekil 15. X-ışınları floresans (EDXRF) ölçümleri için deney geometrisi .....	51
Şekil 16. Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub> alaşımındaki Zn elementine ait K X-ışını spektrumları .....	54
Şekil 17. Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub> alaşımındaki Cr elementine ait K X-ışını spektrumları.....	55

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri....	19
Tablo 2. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	56
Tablo 3. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	56
Tablo 4. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	56
Tablo 5. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	57
Tablo 6. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	57
Tablo 7. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	58
Tablo 8. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	58
Tablo 9. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	58
Tablo 10. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	59
Tablo 11. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	59
Tablo 12. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	59
Tablo 13. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}$ tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .....	60
Tablo 14. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının floresans verim değerlerinin karşılaştırılması .....	60
Tablo 15. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının floresans verim değerlerinin karşılaştırılması .....	61
Tablo 16. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının floresans verim değerlerinin karşılaştırılması .....	61
Tablo 17. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının floresans verim değerlerinin karşılaştırılması .....	62
Tablo 18. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının floresans verim değerlerinin karşılaştırılması .....	62

Tablo 19. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının fluoeresans verim değerlerinin karşılaştırılması.....	63
Tablo 20. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması .....	63
Tablo 21. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	64
Tablo 22. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	64
Tablo 23. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması .....	65
Tablo 24. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Tablo 25. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\beta}/K_{\alpha}$ şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Tablo 26. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	66
Tablo 27. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	67
Tablo 28. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	67
Tablo 29. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	68
Tablo 30. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Tablo 31. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Tablo 32. pH değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	69
Tablo 33. Sıcaklık değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	70
Tablo 34. Jelatin değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	70
Tablo 35. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	71
Tablo 36. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	71
Tablo 37. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	72
Tablo 38. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	72

Tablo 39. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	73
Tablo 40. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının $K_{\alpha 1}$ kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması .....	73
Tablo 41. pH değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	74
Tablo 42. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	74
Tablo 43. Jelâtin değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması .....	75
Tablo 44. Deneysel hata kaynağı ve miktarları .....	82

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a_K$	: K tabakası için Auger olayının meydana gelme ihtimali
$\bar{a}_x$	: Ortalama Auger verimi
$E$	: Gelen fotonun enerjisi
$E_b$	: K tabakasının bağlanma enerjisi
$E_e$	: K tabakasından sökülen elektronun enerjisi
$E_\gamma$	: Gelen fotonun enerjisi
$E'$	: Çıkan fotonun enerjisi
$F$	: Fono faktörü
FWHM	: Bir pulsun yarı maksimumdaki tam genişliği
$F(x,Z)$	: Atomik form faktörü
$F_{ij}$	: X-ışınlarının yayımlanma kesri
$f_{ij}(A,R)$	: Işımalı-ışımatsız Coster-Kronig geçiş ihtimaliyeti
$I$	: Geçen ışının şiddeti
$I_0$	: Gelen ışının şiddeti
$I_{K_i}/I_{K_j}$	: K X-ışını şiddet oranları ( $i=\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \beta$ )
$N_{Kx}$	: Karakteristik X-ışınlarının dedektörde ölçülen şiddetleri
$P_E$	: Kaynağın bozunma hızı
$R$	: Dedektör rezölasyonu
$r_e$	: Klasik elektron çapı
$t$	: Maddenin kalınlığı
$V$	: Ortalama genişlik
$Z$	: Atom numarası
$\mu$	: Lineer soğurma katsayısı
$\mu/\rho$	: Toplam soğurma katsayısı
$\phi/\rho$	: Fotoelektrik kütle soğurma katsayısı
$\kappa/\rho$	: Çift oluşum kütle soğurma katsayısı
$\Phi$	: Koherent saçılma açısı
$\sigma_R$	: Atom başına toplam koherent saçılma tesir kesiti
$\sigma_K$	: K kabuğu için fotoelektrik tesir kesiti
$\sigma_K(E)$	: Toplam K kabuğu X-ışını iyonizasyon tesir kesiti

$\sigma_C$	: İnkohherent saçılma tesir kesiti
$\sigma_C^Z$	: Z atom numaralı element için tesir kesiti
$\sigma(x,Z)$	: Atomik saçılma tesir kesiti
$\sigma/\rho$	: Saçılma kütle soğurma katsayısı
$\omega_i$	: L alt kabuğu fluoresans verimi
$\omega_K$	: K tabakasına ait fluoresans verim
$\bar{\omega}_x$	: Ortalama fluoresans verim
$\bar{\omega}_L$	: Ortalama L tabakası fluoresans verimi
W	: Yarı maksimumdaki puls genişliği
$\varepsilon(E)$	: E enerjili bir foton için dedektör verimi
$\Omega$	: Katı açısı
$\beta(E)$	: E enerjisinde yayımlanan ışınlar için soğurma düzeltmesi faktörü
$\rho D$	: Birim alan başına düşen madde miktarı
$\Gamma_i$	: $L_i$ alt kabuğunun toplam genişliği
$\Gamma(X_i-Y_j)$	: Kısmi genişlik
$\Gamma_R(L_iX)$	: Işımalı seviye genişliği (geçiş hızlarının toplamı)
$\Gamma(L_i)$	: $L_i$ seviyesi için toplam seviye genişliği
$\eta_K$	: K tabakasında oluşturulan boşluk sayısı
$\Gamma_K$	: K kabuğu seviye genişliği
$\Gamma_{K\alpha 1}$	: $K_{\alpha 1}$ çizgi genişliği
$\Gamma_{K\alpha 2}$	: $K_{\alpha 2}$ çizgi genişliği



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Atomların ve moleküllerin fiziksel ve kimyasal yapılarını belirlemede kullanılan en etkili spektroskopik yöntemlerden bir tanesi X- ışını floresans (XRF) spektroskopisidir. Bu yöntem hızlı, çok elementli ve yıkıcı olmayan analizler için güçlü bir yöntemdir. Ayrıca dedeksiyon gücünün yüksek olması sebebiyle elementlerin eş zamanlı dedekte edilmesine olanak sağlar. (Cengiz, 2011) Bu spektroskopinin temel prensibi, genellikle X-ışınlarının soğurulması, saçılması ya da yayımlanması esasına dayanmaktadır. Atomların üzerine düşürülen foton, proton, elektron veya iyon demetlerinin atom tarafından soğurulması ve yayımlanması esnasında iç yörüngelerinden bir elektron sökebilir. Bunun sonucunda atomda elektronlar yeniden düzenlenir ve bazı kabuklarda boşluklar meydana gelir. K kabuğunda meydana gelen bir boşluk, ya L kabuğundan ya da M, N ve O kabuklarından geçişler ile doldurulabilir. Bu geçişler sırasında karakteristik X- ışınları yayınlanır. Karakteristik X-ışınlarının her elementte farklı özellik göstermesi sebebiyle atomik parametre ölçümlerinde farklılıklar arz edecektir. Elementlere ait atomik parametrelerin, özellikle de tesir kesiti parametresinin ( $\sigma_{K,L}$ ) doğru olarak tespit edilmesi, başta atom ve molekül fiziği, medikal fizik ve XRF yöntemi kullanılarak örneklerin kalitatif ve kantitatif analizlerinde oldukça önemlidir. Ayrıca, elementlerin K, L ve M kabuklarına ait floresans tesir kesitleri ve floresans verim değerlerinin bilinmesi; bilimsel araştırmalarda özellikle nükleer santrallerde ve diğer nükleer tesislerde radyasyondan korunma, radyoaktif maddelerin muhafazası, uzay çalışmalarında, hatta cep telefonlarının kullanımı ve üretilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte atom ve moleküllerde elektron ve kütle yoğunluğu, kütle soğurma katsayısı azalması gibi sabitlerin elde edilmesinde ve buna benzer birçok alanda kullanılmaktadır (Apaydın, 2006).

Geçiş elementleri olarak bilinen ve periyodik tablonun 3d grubunda bulunan elementlerin diğer elementlerle oluşturduğu bileşiklerin ve kendi aralarında oluşturduğu alaşımların birçok uygulamaları, geçiş elementlerinin valans elektronik yapısı üzerine kimyasal ve alaşım etkisi ile ilgili teorik, deneysel ve yarı deneysel yöntemlerin gelişimini sağlamıştır. Literatürde 3d grubu elementleri ile ilgili çok sayıda çalışma vardır. Ti-Cu arasında bulunan 3d grubu elementlerinin  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranları hesaplanmış ve elde edilen değerlere göre valans elektronik yapısı incelenmiştir (Raj vd. 2002). Fe ve Ni

alaşımlarında Fe ve Ni elementlerine ait  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranları 59.54 keVlik  $\gamma$ -ışınları ile uyarılarak hesaplanmıştır. 3d elektron yoğunluğu şiddet oranlarına bağlı olarak elde edilmiştir. Meydana gelen değişiklikler 3s ve (4s,4p) valans orbitallerinin tekrar düzenlenme sürecine uğradığı varsayılarak açıklanmıştır(Raj vd. 2000). Ti, Cr, Ni ve bunların kendi aralarında oluşturduğu alaşımların  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranları hesaplanmıştır. Saf elementlere göre ortaya çıkan azalma ve artmalar Cr'dan Ni'e ve Ti'dan Ni'e geçen 3d elektronları ile açıklanmıştır (Bhuinya vd. 1992).

Fluoresans verim üzerine alaşım etkisi NiSi (Kalaycı, 2005),  $Cr_xNi_{1-x}$  ve  $Cr_xAl_{1-x}$  (Büyükkasap, 1997) alaşımlarında, alaşımları oluşturan elementlerin elektronegatiflik değerlerindeki farklılıklardan yola çıkarak yorumlanmıştır.  $Cr_xNi_{1-x}$  ve  $Cr_xAl_{1-x}$  alaşımlarında bulunan elementler için ışımali ve ışımsız boşluk transferi değerleri deneysel olarak ölçülmüş ve boşluk transferi üzerine alaşım etkisi incelenmiştir (Söğüt, 2006).

Zn ve Co alaşımlarının K-kabuğu X-ışını floresans parametreleri ve ışımali Auger oranları (Aylıkçı vd., 2009), pH değerleri farklı tutularak üretilen Zn-Co alaşımlarının Kb tesir kesitleri deneysel ve yarı deneysel olarak hesaplanmıştır(Aylıkçı vd., 2011). Al, Ni ve Mo'denden oluşan süper alaşımların K kabuğu X-ışını tesir kesitleri ve ışımali Auger oranları hesaplanmıştır(Aylıkçı vd., 2010). Co-Cu-Ag alaşımları içerisinde Co ve Cu'nun X-ışını floresans parametreleri Am-241 ve Fe-55 nokta kaynakla uyarılarak ölçülmüştür. Scofield'in teorik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan farklılıklar valans kabuğunun tekrar düzenlenmesi ve 3d seviyesinden elektron geçişi ile açıklanmıştır

Alaşım etkisi ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranlarından yola çıkarak alaşımlarda bulunan Ti, Cr, Fe ve Co elementlerinin valans bandı elektronik yapısı incelenmiştir ve 3d seviyesine ait elektron sayısındaki değişimin şiddet oranı değerine etkisi yorumlanmıştır (Pawłowski vd., 2002).  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranı üzerine alaşım etkisi  $V_xNi_{1-x}$  alaşımında incelenmiştir ve alaşımı meydana getiren elementlerin deneysel şiddet oranlarının, saf V ve Ni elementlerinin şiddet oranı değerlerinden farklı olduğu gözlenmiştir. Şiddet oranlarındaki değişim elementlerin farklı elektronik konfigürasyonu için hesaplanan teorik sonuçlar kullanılarak yorumlanmıştır (Raj vd., 1999). K X-ışını şiddet oranlarındaki değişimlerden yararlanarak alaşımı oluşturan metallerin valans elektronik yapısını inceleme çalışmaları Ni ve Si elementleri için yapılmıştır.  $Ni_3Si$ ,  $Ni_2Si$  ve NiSi stokiyometrik alaşımlarındaki Ni elementinin 3d elektron yoğunluğu teorik olarak hesaplanmış ve bu değerler MCDF (multiconfiguration Dirac-

Fock) yöntemi kullanılarak normalize edilmiş şiddet oranı değerleri ile karşılaştırılmıştır (Kalaycı vd., 2007).

Atomdan elektron söküp, iyonlaşma meydana getiren her olay bir uyardır. Atomun bağlı iç yörünge elektronları, hızlandırılmış elektronlarla, protonlarla, nötron ve  $\alpha$ -parçacıklarıyla, X-ışını tüpünden yayınlanan X-ışınları ile radyoaktif kaynak tarafından yayımlanan fotonlarla ve ikincil X-ışınları gibi uyarıcılarla dış yörüngelere uyarılması sonucunda atomun K tabakasında boşluk oluşur. Bu olay ışımali geçiş denilen karakterisitik X-ışınları meydana gelmesi ve ışımasız geçişler (Auger) şeklinde sonuçlanabilir. Işımal ve ışımasız geçişler ile boşluk yaşam süresindeki değişimler, karakteristik X-ışını piklerinin çizgi genişliklerini de etkiler. Literatürde atom numarası  $26 \leq Z \leq 47$  aralığında olan elementler için  $K\alpha_{1,2}$  çizgilerinin doğal genişlikleri incelenmiş ve Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Ge elementlerinin  $K\alpha_1$  çizgilerinde asimetric çizgilerin varlığı tespit edilmiştir (Allison, 1933). Bir diğer çalışmada ise 3d gurubu elementleri Cr, Fe, Co, Ni ve Cu için  $K\alpha_{1,2}$  x-ışını spektrumu incelenmiş ve hesaplamalarda üç alternatif yaklaşım uygulanmıştır. Çalışmada geçiş elementlerinin çizgilerinin asimetric biçiminin atom numarası ile birlikte arttığı ve demir için maksimum olduğu tespit edilmiştir. Elementlerin spektrumlarında gözlenen bu asimetricliğin sebebi, Cr ve Fe için çoklu yapı (multiplet structure) ve Ni ile Cu için ışımali Auger olayının bir sonucu olarak ifade edilmiştir (Sorum, 1986). Bu çalışmadan başka Cr elementi ve oluşturduğu bileşiklerin  $K\alpha_{1,2}$  X-ışını spektrumu incelenmiş ve  $K\alpha_1$  ile  $K\alpha_2$  çizgi genişliklerinin, bileşiğin kristal simetrisine bağlı olduğu tespit edilmiştir.  $K\alpha_1$  ve  $K\alpha_2$  çizgi genişliklerinin Cr bileşiklerinin kristal simetrisine bağlılığı, Cr elementindeki çiftlenmemiş elektron sayısı ile ilişkilendirilmiştir (Mukoyama, 2000). Fe bileşiklerinin  $K\alpha$  X-ışını çizgi genişliği üzerine yük transfer etkisi çalışılmıştır. Yapılan çalışmada demiroksit bileşiklerinin spektrumunun çizgi genişliklerinde gözlenen daralmaların sebebinin, değiş-tokuş etkileşmesinden kaynaklanan çoklu yarılmalardan değil, oksijenden demire olan yük transferi olduğu ifade edilmiştir. Yani demiroksit bileşiğinin iç kabuğunda bulunan boşluk, oksijenin 2p seviyesinden demirin 3d seviyesine yük transferine yol açar ve yük transferi sonucu  $1s^{-1}$  durumundaki çiftlenmemiş 3d elektronlarının sayısı taban durumundaki çiftlenmemiş 3d elektronlarının sayısından daha az olur. Çiftlenmemiş elektron sayısındaki azalma bileşikteki demir elementine ait  $K\alpha$  çizgi genişliğinde bir daralmaya neden olur (Kawai vd., 1994).

Yük transferinin belirli bir elementin X-ışını çizgi genişliğine etkisinden başka, fotoelektron spektroskopisinde gözlenen çizgi genişlikleri üzerine kimyasal etkiler araştırılmış ve çizgi genişliklerinde gözlenen değişimin sebebi boşluk yaşam süresindeki değişime atfedilmiştir. Bu değişim ise, valans bandındaki elektron yoğunluğunun azalması sonucu elektronların kabuğa bağlanma enerjilerinin artması ve daha sonra boşluk yaşam süresindeki uzamanın fotoelektron çizgi genişliğinin artışına yol açması şeklinde açıklanmıştır (Friedman vd., 1972). Bu açıklamaya benzer bir sonuç, X-ışını enerji seviyelerinin genişliklerini Auger geçişleri ile ilişkisini inceleyen bir çalışmada tespit edilmiştir. Çalışmada belirli bir seviye için Auger geçiş olasılığı büyük olduğunda, bu durumdaki atomun yaşam süresinin kısaldığı ve bunun çizgi genişliklerinde artışa yol açacağı ifade edilmiştir (Cooper, 1943).

Bu çalışmada Zn ve Cr elementlerinin elektrokimyasal depolama yöntemi ile çözelti içerisindeki jelatin, pH ve sıcaklık parametreleri farklı tutularak meydana getirdiği alaşımlar için K X-ışını şiddet oranları, tesir kesitleri, floresans verimleri ve çizgi genişliği üzerine alaşım etkisi incelenmiştir. Numuneler 50 mCi'lik <sup>241</sup>Am radyoaktif halka kaynağı kullanılarak uyarılmış, Zn ile Cr elementleri ve meydana getirdiği alaşımlar için K X-ışını şiddet oranları, floresans verimleri, floresans tesir kesitleri deneysel; çizgi genişlikleri ise yarı deneysel olarak hesaplanmıştır.

Numunelerden yayımlanan karakteristik X-ışınlarının sayılmasında rezolüsyonu 5,9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe katıhal dedektörü kullanılmıştır. Ultra-LEGe dedektörü için 59,5 keV enerjili foton yayımlayan 50 mCi'lik <sup>241</sup>Am radyoaktif kaynağı kullanılarak verim eğrisi tespit edilmiştir.

## 1.2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Elektromanyetik radyasyon bir madde üzerine düşürülecek olursa, madde içerisine giren ışın, atomların bağlı ve serbest elektronları ve çekirdeği ile çeşitli etkileşimler yapar. Bu etkileşim sonucunda iki temel olay meydana gelir. Bunlardan birincisi, elektromanyetik radyasyonun enerjisinin bir kısmını kaybederek oluşan (inkoherent veya Compton) veya hiç kaybetmeden oluşan (koherent) saçılma olayı, diğeri ise elektromanyetik radyasyonun tamamen soğurulması sonucu meydana gelen fotoelektrik olay ve çift oluşumdur.

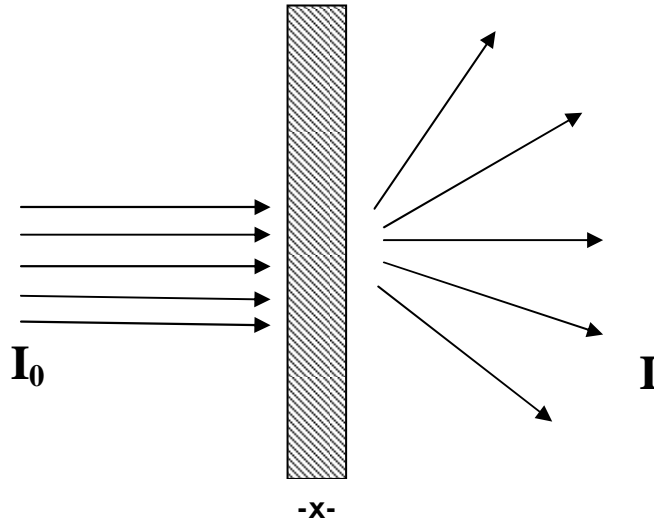
Bir radyasyon demeti x kalınlığındaki bir maddeden geçirilecek olursa, gelen demet ve madde arasındaki etkileşmelerin kompleks bir sonucu olarak, çıkan radyasyon

demetinin şiddetinde bir azalma olduğu gözlenir (Şekil 1). Madde ile gelen demet arasındaki azaltma olayları ve türü için hedef materyalin kalınlığı ve atom numarasının değeri de önemli bir etkidir. Soğurucu materyal belli bir kalınlıktan daha ince olduğunda, bütün parçacıklar soğurucu materyali geçer ancak soğurucu materyal belli bir kalınlıktan daha büyük ise parçacıklar bütün enerjisini kaybeder ve soğurucu materyalden çıkamaz (Apaydın, 2002).

Şiddeti  $I_0$  olan gama ışınlarının  $x$  (cm) kalınlığındaki bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti;

$$I = I_0 \exp(-\mu\rho x) \quad (1)$$

ile verilir. Burada  $\mu$  ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) toplam kütle soğurma katsayısı,  $\rho$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) ise yoğunluktur.



Şekil 1. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi

## 1.2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması

### 1.2.1.1. Fotoelektrik Olayı

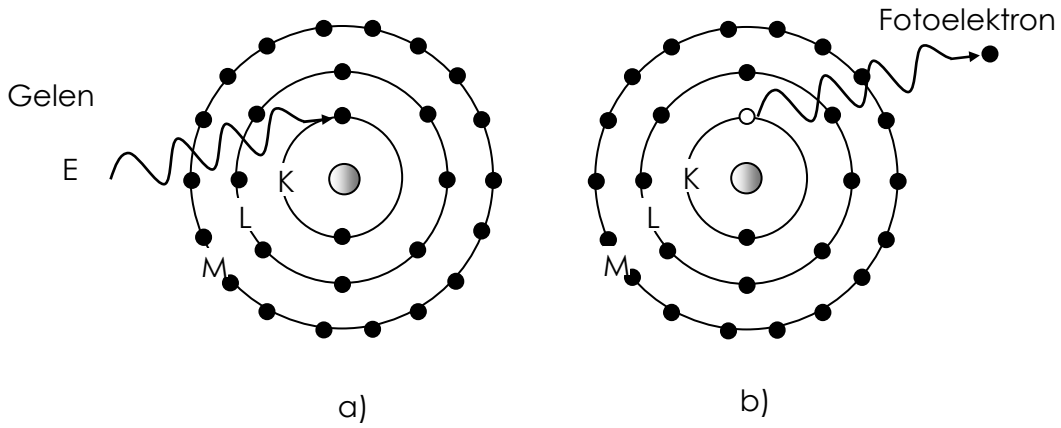
Fotoelektrik etki, bir foton ile atomun bağlı bir elektronu arasındaki etkileşimdir. Bu etkileşimin sonucu olarak fotonun tüm enerjisi elektron tarafından soğurulur ve elektron serbest hale geçer. Bu olaya fotoelektrik olay, serbest hale geçen elektrona da fotoelektron denir. K tabakası elektronlarından birinin fırlatılmasıyla sonuçlanan bir fotoelektrik olay şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir.

K tabakasından sökülen elektronun enerjisi  $T_{fe}$

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $E_\gamma$ , gelen fotonun enerjisi,  $E_b$  ise K tabakasının bağlanma enerjisidir. Fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisine ne kadar yakın ise fotonun soğurulma ihtimaliyeti o kadar büyüktür. Foton enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden daha küçük olduğunda fotoelektrik olayın meydana gelme olasılığı azalır.

K kabuğunda meydana gelen boşluk, atomun üst tabaka elektronları tarafından doldurulur. Bunun sonucu olarak iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını olarak adlandırılır. Bu karakteristik X-ışını, tüm enerjisini kaybedinceye kadar tekrar fotoelektrik etkileşme yapabilir ya da enerjisini atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisine verir ve elektronu atomdan sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir.



Şekil 2. Fotoelektrik olay; a) Etkileşmeden önce, b) Etkileşmeden sonra

### 1.2.1.2. Çift Oluşumu

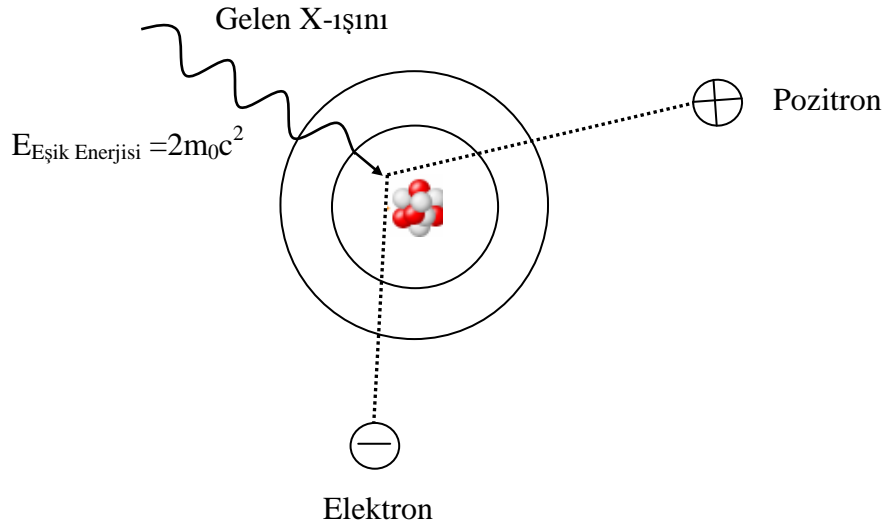
Çift oluşumu, bir çekirdek ile bir foton arasındaki etkileşimdir. Çekirdeğin etki alanına giren foton yok olur ve bir elektron-pozitron çifti oluşur. Bu etkileşimin sonucu olarak çekirdek herhangi bir değişikliğe maruz kalmamasına rağmen, onun varlığı çift oluşumunu gerçekleştirmek için gereklidir (Tsoulfanidis, 1995). Elektron ve pozitronun kütleleri birbirine eşit fakat zıt işaretlidir. Aynı zamanda bu olay çekirdek etrafında olduğundan hiçbir korunum ilkesi bozulmuş olmaz. Yani, hem yük hem çizgisel momentum ve hem de toplam enerji korunmuş olur. Çift oluşumu olayının gerçekleştirilebilmesi için fotonun enerjisi, elektronun durgun enerjisinin (1,022 MeV) iki katından daha büyük olmalıdır.

Enerjinin korunumundan, elektron ve pozitron parçacıklarının kinetik enerjisi;

$$T_{e^-} + T_{e^+} = E_{\gamma} - (mc^2)_{e^-} - (mc^2)_{e^+} = E_{\gamma} - 1,022\text{MeV} \quad (3)$$

denklemleriyle verilir. Bir elektron-pozitron çiftinin oluşumu için gerekli olan bu enerji, elektron ve pozitron arasında paylaşılır. Şekil 3'te bir X-ışını fotonun çekirdeğin Coulomb alanında bir pozitron ve bir elektrona dönüşmesi olayı gösterilmiştir. Çift oluşumu olayının sonunda meydana gelen elektron ve pozitron komşu atomlar tarafından yavaşlatılır ve

pozitron son olarak bir elektronla reaksiyona girerek yok olur. Eğer bu olay, pozitronun kinetik enerjisinin tümü tamamen kaybolduktan sonra meydana gelirse yaklaşık  $m_0c^2=511$  keV enerjili iki foton oluşturulacaktır. Momentumun korunması için bu iki foton birbirine göre zıt yönlerde yayımlanır.



Şekil 3. Çift oluşumu olayı

X-ışını floresans tekniğinde uyarma için genellikle 1,02 MeV'den daha küçük enerjili fotonlar kullanıldığından çift oluşum olayının meydana gelmesi bu çalışmada söz konusu değildir.



## 1.2.2. Elektromanyetik Radyasyonun Saçılması

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucunda oluşan olaylardan diğeri de koherent ve inkoherent saçılmadır. İnkoherent saçılmada fotonlar ile elektronlar arasında ki saçılmalar rastgeledir. Bu tür saçılma serbest ya da bağlı elektronlar içerir ve elektronların zayıf şekilde bağlı olduğu düşük atom numaralı elementlerde yüksek oranda meydana gelir. Koherent saçılma ise elastik saçılmanın bir sonucudur ve elektronların sıkıca bağlı olduğu yüksek atom numaralı elementlerde yüksek oranda meydana gelmektedir (Tertain ve Claisse, 1982).Koherent Saçılma

### 1.2.2.1. Koherent Saçılma

Koherent saçılma gelen fotonun enerjisinde ve fazında bir değişiklik olmadan meydana gelen saçılma olarak tanımlanır. Koherent saçılmada gelen ve saçılan fotonların fazları arasında bir ilişki vardır. Atom tarafından saçılan radyasyonun toplam şiddeti her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamından yararlanılarak bulunur. Koherent saçılmaya örnek olarak Thomson, Delbrück, Rayleigh ve Nükleer Rezonans saçılmalar verilebilir. Atom tarafından saçılan radyasyonun şiddetini bulmak için her bir bağlı elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı alınır.

Atom başına toplam koherent saçılma tesir kesiti,

$$\sigma_R^Z = \pi r_e^2 \int_0^\pi [F(x, Z)]^2 (1 + \cos^2 \Phi) \sin \Phi d\Phi \quad (4)$$

ile verilmektedir. Bu bağıntıda  $F(x, Z)$ , elektron dağılım modellerine (Hartree-fock veya Thomas-Fermi modelleri) dayanarak teorik olarak hesaplanan ve  $Z$  yörünge elektronları tarafından saçılan dalgalar arasındaki faz farklarını açıklayan atomik form faktörü;  $\Phi$ , koherent saçılma açısı;  $x$  ise dalga boyu ve açığa bağlı olan bir parametredir. Gelen demet yönünde herhangi bir faz farkı söz konusu olmadığı için, bu yöndeki saçılma şiddeti en büyüktür. Saçılma genliği bir elektronun  $Z$  katıdır ve saçılma şiddeti  $Z^2$  ile orantılıdır. Diğer yönlerde saçılan şiddetler daha düşüktür ve koherent saçılma açısının artan değerleri için azalan  $[F(x, Z)]^2$  niceliğine orantılıdır (Tertian ve Claisse, 1982).

### 1.2.2.2. İnkohherent Saçılma

Gelen foton ile saçılan fotonun enerjik olarak farklı olduğu saçılmaya inkohherent saçılma denir. İnkohherent saçılmada gelen foton ile saçılan fotonun dalga boyları ve fazları dikkate alınmadan, gelen fotonun enerjisine, saçılma açısına ve Z atom numarasına bağlı olarak hesaplanabilir.

Serbest bir elektronun  $\Phi$  açısında saçılma tesir kesiti Klein-Nishina denklemiyle verilir.

$$\frac{d\sigma_C}{d\Omega} = \frac{1}{2} r_e^2 \left( \frac{h\nu'}{h\nu} \right)^2 \left( \frac{h\nu}{h\nu'} - \frac{h\nu'}{h\nu} - \sin^2 \phi \right) \quad (5)$$

Bu bağıntıda  $\sigma_C$ , inkohherent saçılma için tesir kesiti;  $\Omega$ , katı açı ve  $r_e = e^2/mc^2$  klasik elektron yarıçapıdır.

Toplam saçılma tesir kesiti;

$$\sigma_C^Z = \pi r_e^2 \int_0^\pi S(x, Z) H(\alpha, \phi) \sin \phi d\phi \quad (6)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Burada  $\sigma_C^Z$ , Z atom numaralı elemente ait tesir kesiti; S(x,Z), inkohherent saçılma fonksiyonudur. İnkohherent saçılma fonksiyonu atom içindeki elektronlardan saçılan dalgalar arasındaki faz farkını açıklar. Ayrıca bu bağıntıda yer alan H( $\alpha$ ,  $\phi$ ) ise;

$$H(\alpha, \phi) = [1 + \alpha(1 - \cos \phi)]^{-2} \left[ 1 + \cos^2 \phi + \frac{\alpha^2 (1 - \cos \phi)^2}{1 + \alpha(1 - \cos \phi)} \right] \quad (7)$$

formülü ile verilir.

İnkohherent saçılma; Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılması olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu saçılmalarından en etkin olanı Compton saçılmasıdır (Tertian ve Claisse, 1982).

### 1.2.2.2.1. Compton Saçılması

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

$$T_c = E_\gamma - E_{\gamma'}$$
 (8)

bağıntısından elde edilir. Burada  $E_\gamma$  gelen fotonun enerjisi,  $E_{\gamma'}$  saçılan fotonun enerjisidir. (8) denkleminde momentum ve enerjinin korunumu ile ilgili eşitlikler kullanılarak saçılma açısı  $\theta$ ' nın fonksiyonu olarak saçılan fotonun enerjisi hesaplanır.

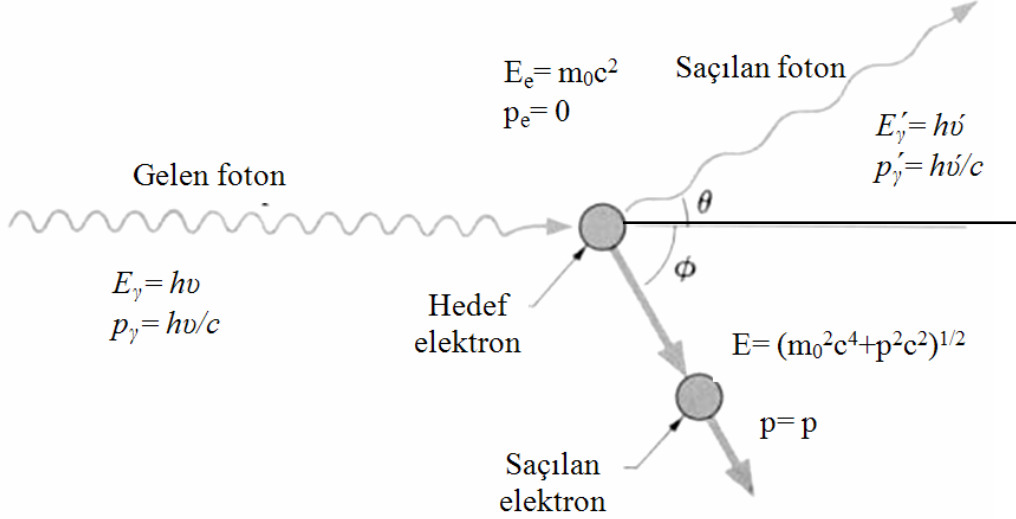
$$E_{\gamma'} = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2}$$
 (9)

Burada  $m_0c^2$  elektronun durgun kütle enerjisidir (511 keV). (8) ve (9) denklemlerini kullanarak elektronun kinetik enerjisi elde edilir:

$$T = \frac{(1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2}{1 + (1 - \cos\theta)E_\gamma / m_0c^2} E_\gamma$$
 (10)

Çarpışmadan sonra elektronun ve fotonun, maksimum ve minimum enerjisi radyasyon ölçümleri için önemlidir.  $\theta = \pi$  olduğu zaman saçılan foton minimum enerjiye, elektron maksimum enerjiye sahip olur.  $\theta = 0$  olduğu zaman ise saçılan foton maksimum enerjiye, elektron minimum enerjiye sahip olur ve bu saçılmanın olmadığını gösterir. Buradan saçılan fotonun minimum enerjisinin sıfırdan büyük olduğu sonucuna varılır. Dolayısıyla,

Compton saçılmasında gelen fotonun bütün enerjisini elektrona vermesi imkânsızdır (Tsoulfanidis, 1995). Şekil 4'te Compton olayı gösterilmektedir.



Şekil 4. Compton Saçılması

### 1.3. Soğurma Katsayıları ve Soğurma Kısılları

#### 1.3.1. Lineer Soğurma Katsayısı

Belli bir enerjide bir fotonun (X-ışını,  $\gamma$ -ışını, bremsstrahlung, vs.) Z atom numaralı bir madde tabakasından geçerken soğurulma veya saçılmaya uğrama olasılığı lineer soğurma katsayısı  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) cinsinden nicel olarak ifade edilebilir.

Monokromatik X-ışını demeti soğurucu maddenin  $dt$  kalınlığını geçerken, X-ışını demetinin şiddetinde  $dI$  kadar azalma meydana gelir. Demetin şiddetindeki azalma miktarı soğurucu kalınlığı  $dt$  ile orantılıdır.

$$dI \propto -I dt \quad (11)$$

$$dI = -\mu I dt \quad (12)$$

Lineer soğurma katsayısı,  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) birim kalınlık başına, birim alandaki soğurulmaya karşılık gelmektedir. Bu nicelik atom numarası (Z) ve foton enerjisi (E)'ye bağlıdır.

Denklemdaki negatif işaret, kalınlık arttıkça şiddetin azalacağını ifade etmektedir.  $\mu$ , fotoelektrik ( $\tau$ ) ve saçılma ( $\sigma$ ) işlemlerinin etkilerini içerir ( $\mu = \tau + \sigma$ ). Buradan

$$\frac{dI}{I} = -\mu dt \quad (13)$$

ifadesinin sonlu t kalınlığı üzerinden integral alındığında

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^t \mu dt \quad (14)$$

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (15)$$

“Lambert Yasası” olarak bilinen ifade elde edilir. Bu yasa yardımıyla lineer soğurma katsayısı

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)}{t} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (16)$$

olarak elde edilir.

### 1.3.2.Kütle Soğurma Katsayısı

Soğurmanın derecesi, bir sistemin yol uzunluğuna ve ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Bu sebepten dolayı, soğurucunun kalınlığını ifade etmek için kütle soğurma katsayısını yoğunluk ve lineer kalınlık olarak ( $\rho t$ ) ifade etmek daha uygun olmaktadır.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad \left( \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \quad (17)$$

Bu ifadede  $\mu_m$  birim kütle başına birim alandaki soğurulmayı ifade etmektedir. Kütle soğurma katsayısı kimyasal ve fiziksel durumlardan bağımsız olup elementlerin atomik bir

özelliğidir. Sadece dalga boyu (enerji) ve atom numarasının bir fonksiyonudur. Ayrıca kütle soğurma katsayısı bileşik, çözelti ve karışımlar için muhtevaya ait değerlerden hesaplanabilir. Bu durumda  $\mu/\rho$ ; bileşiği oluşturan elementlerin soğurma katsayılarının ağırlıklı ortalamalarıdır. Hedefin ağırlık kesirleri  $W_1, W_2, \dots$  ise bunlara karşılık  $\mu_1/\rho_1, \mu_2/\rho_2, \dots$  hesaplandığında toplam kütle soğurma katsayısı;

$$\mu/\rho = W_1(\mu_1/\rho_1) + W_2(\mu_2/\rho_2) + \dots \quad (18)$$

olarak bulunabilir.

X-ışınlarının toplam soğurma katsayıları hesaplanırken sadece soğurulmadan değil, maddeyi geçerken saçılmadan ve çift oluşumundan kaynaklanan X-ışını şiddetindeki azalmalar dikkate alınmalıdır.

$$\mu/\rho = (\tau/\rho) + (\sigma/\rho) + (\pi/\rho) \quad (19)$$

Bu ifadede  $(\mu/\rho)$ ; toplam kütle soğurma katsayısı,  $(\tau/\rho)$ ; fotoelektrik soğurma katsayısı,  $(\sigma/\rho)$ ; saçılma soğurma katsayısı ve  $(\pi/\rho)$ ; çift oluşum katsayısıdır.

### 1.3.3. Soğurma Kıyıları

Bir element veya bileşiğin kütle soğurma katsayısı, soğurulan X-ışınlarının enerjisiyle ya da dalga boyuyla değişir. Kütle soğurma katsayısının seçilen herhangi bir soğurucu için dalga boyuna karşı grafiği çizildiğinde daha uzun veya yumuşak dalga boyuna doğru genel bir artış gözlenir. Ancak bu değişim sürekli değildir ve sürekliliğin bozulduğu bu kırılma aralıkları soğurma kıyıları olarak adlandırılır.

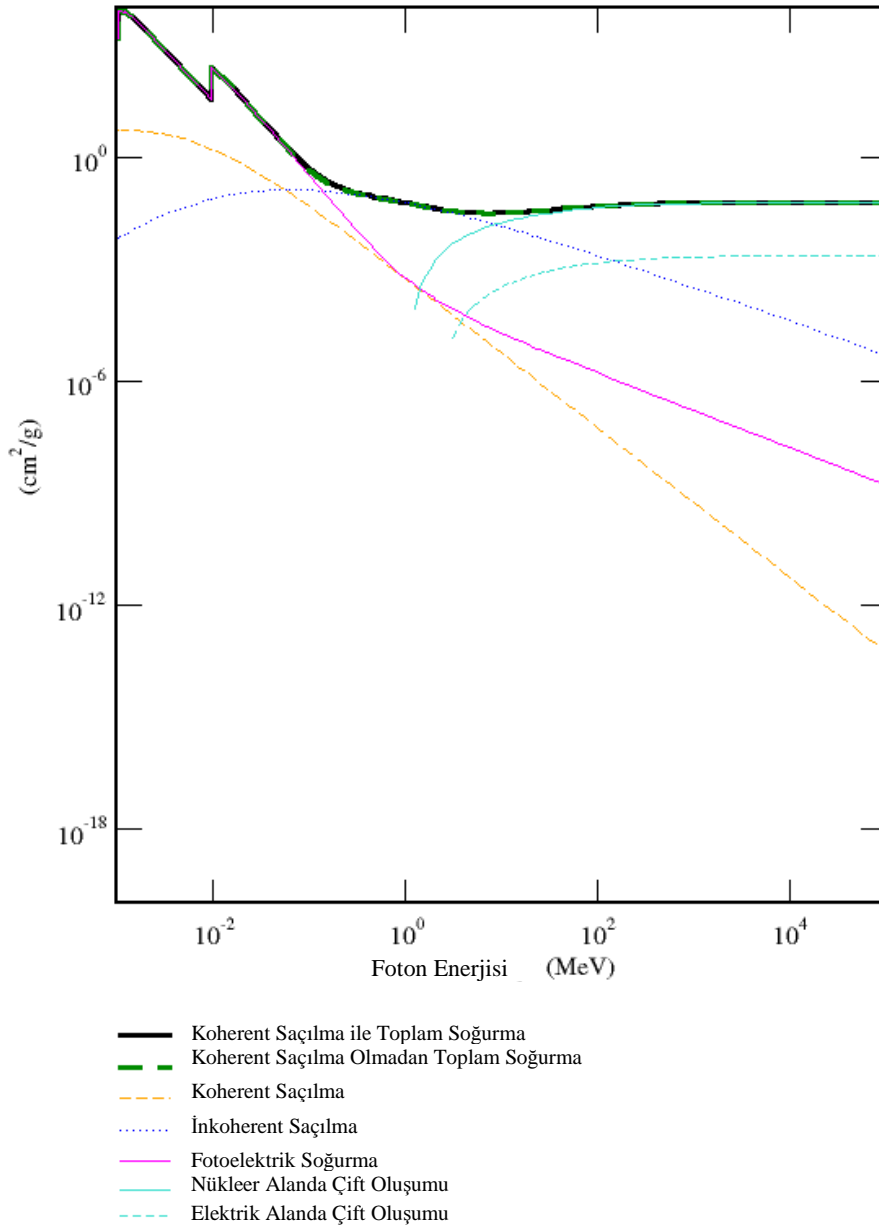
Bir atomda verilen bir seviyeden elektron sökebilmek için gerekli maksimum dalga boyu yani minimum foton enerjisi ilgili elementin o seviyedeki soğurma kıyısı olarak bilinir. Her element uyarma potansiyeli sayısınca soğurma kıyısına sahiptir. Soğurma kıyısı her element için çekirdeğe yaklaştıkça artar.

Her bir elementin soğurma kıyıları ile karakteristik spektrumları arasında açık bir ilişki mevcuttur. K, L, M spektral serileri ve bunların dışındaki serilerde bulunan en kısa dalga boylarında soğurma kıyıları vardır. En yüksek enerji çizgisi normal olarak K

spektrumunda bulunur. Ayrıca soğurma kıyısına karşılık gelen enerjiler özel spektral seriler için tam olarak kritik uyarma potansiyeline karşılık gelmektedir yani soğurma kıyısı enerjileri her bir geçiş seviyesi için elektronların bağlanma enerjilerine eşittir.

Soğurma kıyısından daha büyük enerjili fotonlar fotoelektrik soğurma yoluyla büyük oranda soğurulmuş olacaktır. Ancak soğurma kıyısının hemen altında daha düşük enerjili fotonlar bu geçiş seviyesinde iyonlaşmaya neden olacak yeterli enerjiye sahip olamayacak ve büyük oranda soğurulmayacaktır.

Karakteristik yayma çizgilerinin uyarılması için, bir foton uygun soğurma kıyısına eşit ya da daha büyük enerjiye sahip olmalıdır. Şekil 5'te Zn elementi için gelen foton enerjisinin fonksiyonu olarak fotoelektrik, koherent, inkoherent saçılma tesir kesitleri ve soğurma kıyıları verilmiştir.



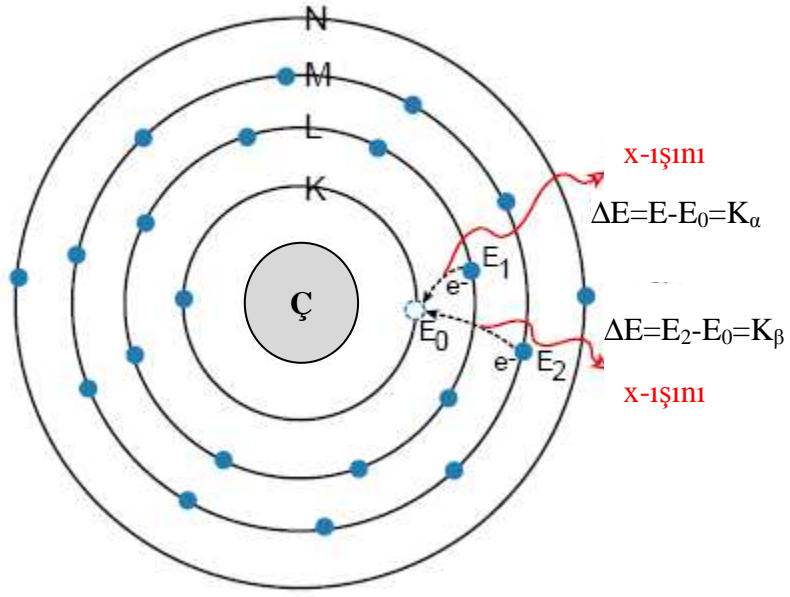
Şekil 5. Zn Elementi için gelen foton enerjisinin fonksiyonu olarak verilen fotoelektrik, koherent, inkohherent saçılma tesir kesitleri ve soğurma kıyıları

#### 1.3.4.Karakteristik X-Işınlarının Oluşumu ve Enerji Seviyeleri

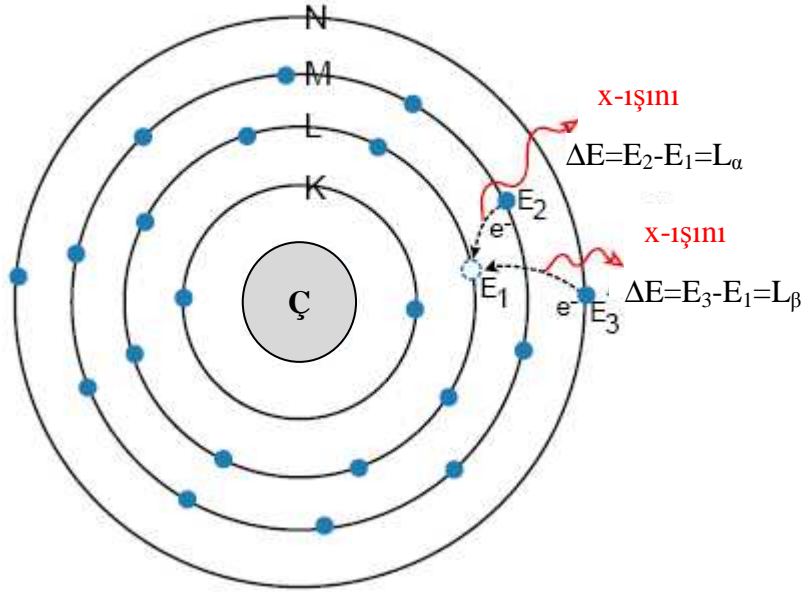
Klasik atom modeli; orbitallerde veya kabuklarda gruplanmış elektronlarla, pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlardan oluşmaktadır. En içteki kabuk K kabuğu olarak adlandırılır ve dışarı doğru gidildikçe sırasıyla L kabuğu, M kabuğu ve benzeri olarak



adlandırılır. L kabuğunun  $L_I$ ,  $L_{II}$  ve  $L_{III}$  olmak üzere 3 alt kabuğu vardır. M kabuğunun  $M_U$ ,  $M_{II}$ ,  $M_{III}$ ,  $M_{IV}$  ve  $M_V$  olarak 5 alt kabuğu vardır. K kabuğu 2, L kabuğu 8 ve M kabuğu 18 elektron içerebilir. Bir elektronun enerjisi bulunduğu kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır. Bir atom yeteri kadar enerjiye sahip elektronlar ve X-ışını fotonlarıyla etkileştiği zaman atomdan bir elektron koparılabilir. Bir kabuk içerisinde örneğin K kabuğunda, bir boşluk meydana getirilerek, atom daha yüksek enerjili kararsız bir duruma getirilir. Atom orijinal konfigürasyonlu eski haline geri dönmeyi ister ve bunu K kabuğundaki bir boşluğun L kabuğundaki elektronlarla doldurulduğu gibi, daha dışarıdaki kabuklardan bir elektron geçişiyle de yapılabilir. L kabuğundaki bir elektron K kabuğuna geçtiği zaman enerji fazlalığı X-ışınları olarak yayımlanır. Yayımlanan X-ışınlarının enerjisi, boşluğun bulunduğu kabuğun enerjisi ile boşluğu dolduran elektronun bulunduğu kabuğun enerji farkına bağlıdır. Her bir atom kendine özgü bir enerji seviyesine sahiptir. Bu nedenle yayımlanan radyasyon atom için ayırt edici bir özelliktir. Bir atom, bir enerjiden (veya çizgiden) daha çok enerji yayımlar, çünkü farklı boşluklar oluşturulabilir ve bu boşluklar farklı kabuklarda bulunan elektronlarla doldurulabilir. Yayımlanan çizgilerin toplamı element için karakteristiktir ve aşağı yukarı elementin parmak izidir (Brouwer, 2003). Karakteristik X-ışınlarının oluşumu şekil 6' da gösterilmektedir. K kabuğunda oluşturulan bir boşluğun üst ana kabukların alt kabuklarındaki elektronlarla doldurulmasıyla yayımlanan fotonlar Siegbahn ve International Union of Applied and Pure Chemistry (IUAPC) gösterimlerine göre Tablo 1'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. Karakteristik X-ışınlarının oluşumu (a) Karakteristik K X-ışınının oluşumu (b) Karakteristik L X-ışınlarının oluşumu

Tablo 1. X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K_{\alpha 1}$	K-L <sub>III</sub>	$L_{\beta 17}$	L <sub>II</sub> -M <sub>III</sub>
$K_{\alpha 2}$	K-L <sub>II</sub>	$L_{\gamma 1}$	L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>
$K_{\beta 1}$	K-M <sub>III</sub>	$L_{\gamma 2}$	L <sub>I</sub> -N <sub>II</sub>
$K_{\beta 2}'$	K-N <sub>III</sub>	$L_{\gamma 3}$	L <sub>I</sub> -N <sub>III</sub>
$K_{\beta 2}''$	K-N <sub>II</sub>	$L_{\gamma 4}$	L <sub>I</sub> -O <sub>III</sub>
$K_{\beta 3}$	K-M <sub>II</sub>	$L_{\gamma 4}'$	L <sub>I</sub> -O <sub>II</sub>
$K_{\beta 4}'$	K-N <sub>V</sub>	$L_{\gamma 5}$	L <sub>II</sub> -N <sub>I</sub>
$K_{\beta 4}''$	K-N <sub>IV</sub>	$L_{\gamma 6}$	L <sub>II</sub> -O <sub>IV</sub>
$K_{\beta 5}'$	K-M <sub>V</sub>	$L_{\gamma 8}$	L <sub>II</sub> -O <sub>I</sub>
$K_{\beta 5}''$	K-M <sub>IV</sub>	$L_{\gamma 8}'$	L <sub>II</sub> -O <sub>6</sub>
$K_{\beta 5}'''$	K-N <sub>III</sub>	$L_{\gamma 13}$	L <sub>I</sub> -P <sub>II</sub>
$L_1$	L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>	$L_{\gamma 13}'$	L <sub>I</sub> -P <sub>III</sub>
$L_{\alpha 1}$	L <sub>III</sub> -M <sub>V</sub>	$L_{\eta}$	L <sub>II</sub> -M <sub>I</sub>
$L_{\alpha 2}$	L <sub>III</sub> -M <sub>IV</sub>	$L_{\lambda}$	L <sub>III</sub> -M <sub>I</sub>
$L_{\beta 1}$	L <sub>II</sub> -M <sub>IV</sub>	$L_S$	L <sub>III</sub> -M <sub>III</sub>
$L_{\beta 2}$	L <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>	$L_t$	L <sub>III</sub> -M <sub>II</sub>
$L_{\beta 3}$	L <sub>I</sub> -M <sub>III</sub>	$L_U$	L <sub>II</sub> -N <sub>IV</sub>
$L_{\beta 4}$	L <sub>I</sub> -M <sub>II</sub>	$L_v$	L <sub>II</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 5}$	L <sub>III</sub> -O <sub>IV,V</sub>	$M_{\alpha 1}$	M <sub>V</sub> -N <sub>VII</sub>
$L_{\beta 6}$	L <sub>III</sub> -N <sub>I</sub>	$M_{\alpha 2}$	M <sub>V</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 7}$	L <sub>III</sub> -O <sub>I</sub>	$M_{\beta}$	M <sub>IV</sub> -N <sub>VI</sub>
$L_{\beta 7}'$	L <sub>III</sub> -N <sub>VI,VII</sub>	$M_{\gamma}$	M <sub>III</sub> -N <sub>V</sub>
$L_{\beta 9}$	L <sub>I</sub> -M <sub>V</sub>	$M_{\xi 1}$	M <sub>V</sub> -N <sub>III</sub>
$L_{\beta 10}$	L <sub>I</sub> -M <sub>IV</sub>	$M_{\xi 2}$	M <sub>IV</sub> -N <sub>II</sub>
$L_{\beta 15}$	L <sub>III</sub> -N <sub>VI</sub>		

#### 1.4. Floresans Verim ve Coster-Kronig Geçişleri

Bir atomun herhangi bir tabakasinda oluşturulan boşluğun ışımalı geçişle doldurulma olasılığı floresans verim olarak adlandırılır. K tabakasinda oluşturulan bir boşluğun üst tabakalardan gelen bir elektronla karakteristik X-ışını yayımlanarak doldurulması olasılığı K tabakasına ait floresans verim olarak adlandırılır ve

$$\omega_K = \frac{I_K}{\eta_K} \quad (20)$$

bağıntısıyla verilir. Bu bağıntıda  $I_K$  numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarının sayısı;  $\eta_K$  ise K tabakasinda oluşturulan boşluk sayısıdır. Floresans verim;  $\Gamma_R(L_i X)$   $L_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) alt tabakaları arasındaki geçişlere göre ışımalı seviye genişliği ve  $\Gamma(L_i)$ ,  $L_i$  seviyesi için toplam seviye genişliği olmak üzere,

$$\omega_i = \frac{\Gamma_R(L_i X)}{\Gamma(L_i)} \quad (21)$$

şeklinde de ifade edilmektedir. Bu bağıntıda bulunan X ise  $X=L_j$ ,  $j>i$  ile verilir. Floresans verim tanımı daha yüksek atomik kabuklar için iki sebepten dolayı daha karmaşıktır:

- 1) K kabuğunun üzerindeki diğer kabuklar birden fazla alt kabuklara sahiptir. Ortalama floresans verim bu kabukların nasıl iyonize olduğuna kuvvetlice bağlıdır.
- 2) K kabuğunun üzerindeki kabukların alt kabukları arasında Coster-Kronig geçişleri meydana gelebilir (Zschornack, 2007).

Bir atomda kabuklar arası geçişler  $\Delta n \neq 0$ ,  $\Delta l = \pm 1$  ve  $\Delta J = \pm 1, 0$  şartlarına bağlı olup, bu şartları sağlamayan geçişler yasaklıdır.  $\Delta n = 0$  olan alt tabakalar arasındaki geçişler ya da alt tabakalar arasındaki boşluk transferi, Coster-Kronig geçişleri olarak tanımlanır.  $j > i$  olmak üzere  $i$ . altkabukta oluşturulan boşluğun  $j$ . altkabuğa geçme ihtimali  $f_{ij}$  ile gösterilir. Coster-Kronig geçişleri ışımalı  $f_{ij}(R)$  ve ışımasız  $f_{ij}(A)$  olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır ve bu durumda Coster-Kronig geçişleri için;

$$f_{ij} = f_{ij}(R) + f_{ij}(A) \quad (22)$$

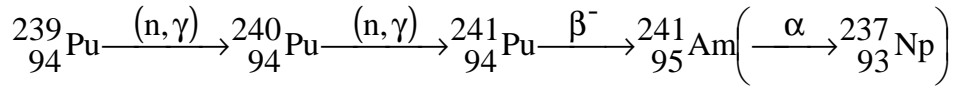
bağıntısı yazılabilir. Işımalı Coster-Kronig geçişleri ışısız Coster-Kronig geçişlerinden çok küçük olduğu için  $f_{ij}(R)$ ,  $f_{ij}(A)$  yanında ihmal edilebilir. Bu nedenle  $f_{ij}$

$$f_{ij} = \frac{\Gamma_A(L_i L_j X)}{\Gamma(L_i)}; \quad X = M, N, O \quad \text{ve } j > i \quad (23)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadede  $\Gamma_A$  Auger kısmi genişliğini (Auger geçiş hızlarının toplamı) temsil etmektedir (Aylıkcı, 2006).

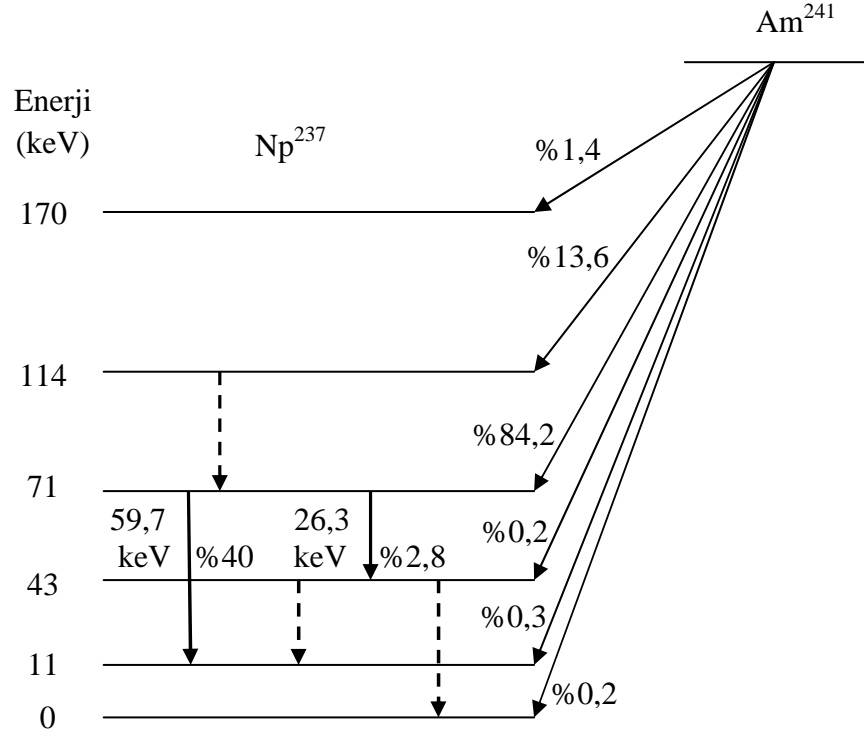
### 1.5. <sup>241</sup>Am Radyoizotop Kaynağı

Am-241 radyoizotopu, Pu-239'un ardışık nötron yakalama reaksiyonlarından oluşan Pu-241'in beta bozunumundan sonra meydana gelmektedir. Ardışık nötron yakalama ve  $\beta$  bozunumundan oluşan ürünler;



şeklindedir. Bu radyoaktif çekirdek yapay olarak üretilen kararsız bir izotoptur ve yarılanma süresi yaklaşık 432 yıldır. Daha sonra Am-241 elementi  $\alpha$  bozunumuna uğrayarak neptünyum radyoaktif çekirdeğine dönüşür ve kararlı bizmut oluşana kadar bozunma süreci devam eder. Neptünyum ile başlayıp bizmuta kadar devam eden bozunma süreci neptünyum serisi olarak adlandırılır. Nötron yakalama, atomik çekirdeğin bir veya daha fazla nötronla çarpıştığı nükleer bir reaksiyon çeşididir ve ağır bir çekirdek oluşturmak için bir araya gelirler. Nötronlar elektriksel yükü olmadığı için, yüklü parçacıklara göre çekirdeğin içine kolaylıkla girer.  $\beta^-$  bozunumunda zayıf etkileşme bir nötronu, bir protona dönüştürürken bir elektron ve bir tane antinötrino yayımlanır. Alfa bozunumu ise bir atomik çekirdeğin bir alfa parçacığı yayımladığı bozunma çeşididir ve alfa bozunumuna uğrayan çekirdeğin atom numarası 2 ve kütle numarası 4 azalır. Gama bozunumunda da bir çekirdek yüksek enerji durumundan düşük enerji durumuna elektromanyetik radyasyon yayımlayarak geçer ve çekirdeğin içindeki protonların ve

nötronların sayısı değişmez. Şekil 7 Am-241 radyoizotopunun Np-237 izotopuna dönüşümünü göstermektedir.



Şekil 7. Am-241 elementinin deneysel bozunma şeması (Beling, Newton ve Rose, 1952)

### 1.6. Geçiş Metallerinin Genel Özellikleri

Geçiş metalleri periyodik tablonun d bloku olarak adlandırılan bölgesinde yer alır. Bu metallerin en çok rastlanan değerliklerinde kısmen dolu d yörüngeleri mevcuttur. Birinci sıra geçiş metalleri  $[Ar]3d^n4s^2$  şeklinde ve ağır geçiş metalleri olarak adlandırılan ikinci ve üçüncü sıra geçiş metalleri de sırasıyla  $[Kr]4d^n5s^2$  ve  $[Xe]4f^{14}5d^n6s^2$  şeklinde genel elektron dizilişine sahiptir. İkinci ve üçüncü sıra geçiş metallerinin atomlaşma enerjileri birinci sıra elementlere oranla daha yüksektir. Bundan dolayı metallerde atomlar arası etkileşim daha kuvvetli olmalıdır. Birinci sıra geçiş metallerine göre ikinci ve üçüncü sıra metallerinin bileşiklerinde metaller arası bağlara daha sık rastlanır.

Bazı karakteristik özellikleri bakımından geçiş metalleri temel grup elementlerinden ayrılır. Geçiş metallerinin hepsi çoğunlukla birden fazla farklı değerlikte bulunabilir.

Bileşikleri genellikle renklidir ve bileşiklerinin çoğu paramanyetiktir. Metal iyonları değişik molekül veya iyonlarla kompleks bileşikler veya iyonlar oluşturabilir. Geçiş metallerinin kendisi veya bileşikleri çoğunlukla katalitik etki gösterir.

Geçiş metallerinin sahip olabilecekleri değerliklerin çeşitli olması d yörüngesinde bulunan elektronları verebilmelerinden ileri gelmektedir. Geçiş metallerinin her sırası periyodik tabloda incelendiğinde sıraların orta bölgesinde yer alan geçiş metallerinin çok daha fazla sayıda değişik değerliklere sahip olabildiği görülmektedir. Değerlik ile ilgili başka bir önemli husus ise ikinci ve üçüncü sıra geçiş metallerinde yüksek değerliklerin daha kararlı olması şeklindedir. İkinci ve üçüncü sıra geçiş metallerinin düşük değerlikli bileşiklerinde genellikle metal-metal bağları vardır.

Geçiş metallerinin hidratlatmış iyonları genellikle renklidir ancak  $d^0$  ve  $d^{10}$  yapısındaki iyonları renksizdir. Geçiş metallerine ait bileşiklerin renkli olması d orbitallerindeki elektron geçişinden ileri geldiği söylenebilir. Elektron geçişlerine ait enerji ışık spektrumunun görünür bölgesinde (720-400nm) ise bileşikler renkli olarak görülür. Elektron geçişleri iki türdür. Bunlardan birincisinde metale ait d orbitallerinin birindeki elektron, metalin diğer bir d orbitaline geçer. Böyle geçişlere d-d geçişi adı verilir. d-d geçişlerinde atomdan atoma elektron geçişi söz konusu değildir. İkinci tür elektron geçişleri ise yük aktarım geçişleri olarak adlandırılır. Bu geçişler de iki çeşittir. Birincisinde metal ağırlıklı bir orbitalden ligand ağırlıklı bir orbitale elektron geçişi olur. Diğerinde ise ligand ağırlıklı bir orbitalden metal ağırlıklı bir orbitale elektron geçişi vardır. Bu durumda atomdan atoma yük geçişi söz konusu olduğundan dolayı bu geçişler yük aktarım geçişleri olarak adlandırılır. Yük aktarım geçişlerinde atomların başlangıç ve son hallerindeki yüklerinde önemli ölçüde değişiklik oluşur. Yük aktarım geçişleri izinli geçişler olduğu için olasılığı fazladır ve buna karşılık olan ışık soğurması çok şiddetlidir. Ancak d-d geçişleri geçişleri ise genellikle yasaklı geçişlerdir. Bu yüzden de ışık soğurması zayıftır. Kaba bir yaklaşım yapıldığında d-d geçişleri soluk renklere ve yük aktarım geçişleri ise belirgin renklerin oluşumuna neden olur.

### 1.7. Alaşımlar

Metaller birbirleri ile bileşik oluşturamazlar ancak farklı yöntemler kullanılarak bir araya getirildiklerinde bir karışım türü meydana getirebilirler. İki veya daha fazla metalin herhangi bir oranda karıştırılmasıyla oluşan yeni yapıya alaşım denir. Alaşımlar, bir

metalin atomları arasında diğer atomların gelişiğüznel dağıldığı homojen katı çözeltiler olabilir.

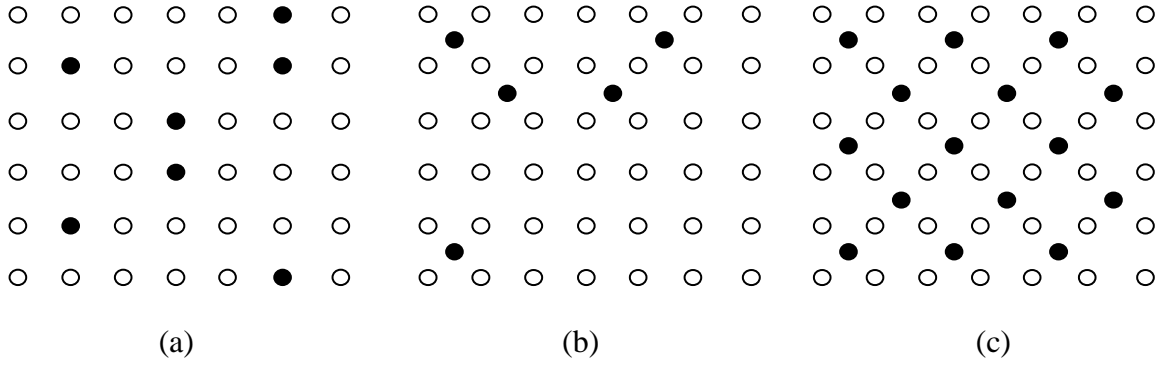
d-blok elementlerinin metalik yarıçapları, birbirlerine çok yakın olduğu için, bunlarda istiflenme sorunu azdır. Bu nedenle bu elementler birbirleri ile çok fazla alaşım oluştururlar. Çünkü bir cins atom, kristal yapıdaki küçük bir değışiklikle diğerinin yerini alabilir. Katı çözeltiler, bazen atomların yer değıştirmesiyle, bazen de örgüler arasına atomların yerleşmesiyle meydana gelebilir. Yerdeğıştirme alaşımlarında, çözücü metal atomlarından bazılarının yerini çözünen metal atomları almaktadır (Şekil 8a). Örgüler arası alaşımlarda çözünen metal atomları çözücü metal atomları arasındaki boşluklara yerleşir (Şekil 8b). Bununla beraber söz konusu olan fark belirli bir esasa dayanmaz. Çünkü örgüler arası atomlar da belli bir düzene sahip olabilirler (Şekil 8c). Bundan dolayı düzenli yapıdaki bu alaşımlar başka bir yapının yer değıştirmiş şekli gibi düşünülebilir ve alaşımın yeni bir yapıdaki katı çözelti olarak ele alınması daha doğru bir yaklaşım olur. Katı çözeltilinin yeni yapısının başlangıçtaki yapıyla olan ilişkisi çoğunlukla rastlantıdır. İki metalin yer değıştirme alaşımı meydana getirebilmesi için; atom yarıçaplarının birbirine yakın, saf halde örgü yapılarının aynı ve elektropozitifliklerinin benzer olması gerekir. Örnek olarak, sodyum ve potasyum kimyasal yönden birbirine benzemektedir ve ikisi de cisim merkezli kübik yapıdadır. Ancak yarıçapları farklı olduğundan dolayı bu iki metal katı çözelti oluşturmaz. Diğer yandan d blokunun sağında bulunan iki komşu element olan bakır ve nikel benzer elektropozitifliğe sahiptir ve kristal yapıları aynı, atom yarıçapları birbirine yakın olduğundan geniş bir bileşim aralığında alaşım oluştururlar.

Alaşımın içyapısının hangi fazlardan oluşacağı, alaşım elementlerinin;

1. Kimyasal özelliklerine (elektron konfigürasyonu, elektronegatiflik gibi),
2. Atom çaplarının büyüklüğüne (atom çapı oranlarına),
3. Büyük ölçüde her bir metalin kendi kafes yapılarına bağlı olarak ortaya çıkar

(Metals Handbook, 1980).



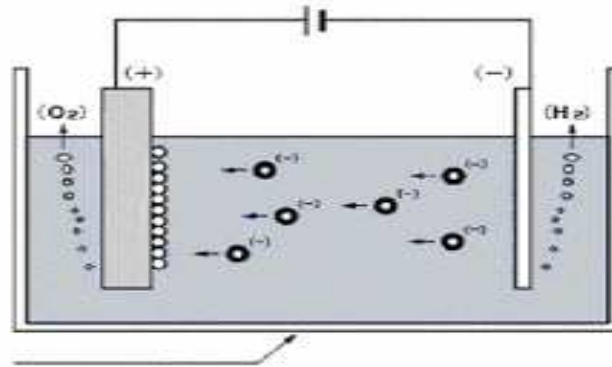


Şekil 8. (a) Yerdeğiştirme alaşımı (b) Örgüler arası alaşım (c) Başka örgüden türeyen yerdeğiştirme alaşımı (Tunalı ve Özkar, 2005)

### 1.8. Elektrokimyasal Depolama

Elektrokimyasal depolama, bir elektrolitik çözeltiden metal iyonlarının katot üzerinde indirgenerek depolanması olayıdır. Elektrokimyasal depolama yöntemi, elektrokimyasal mikrofabrikasyon diye genelleştirebileceğimiz bir dizi işlem grubundan biridir. Çok çeşitli elektrokimyasal depolama sistemleri mevcuttur. Bunların en çok kullanılanlarından bazıları; kanal akışlı, elektrolitik jet, yarılmış jet, çok ağızlı sistemlerdir. Numune yönlendirme, filtreleme koşulları, elektriksel kontak, elektrolitin ısıtılması, kararlı durum banyo kontrolü elektrokimyasal depolama aleti tasarım ederken hesaba katılması gereken önemli ayrıntılardır (Datta 1980, Labdolt 1969, Datta 1981).

Asit, baz ve tuzların sudaki çözeltilerine elektrolit denir. Elektrolitler elektriği ileten ortamlardır. Elektrolit içerisinde cereyan eden olaylara elektrot reaksiyonları adı verilir. Üç elektrotlu elektrokimyasal hücrenin tipik şekli şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Tipik bir elektrodepolama düzeneği

Elektroliz ile elektrotta şekillendirilen temel ürünün kütlesi, direkt olarak geçen elektriğin miktarına bağlıdır. Elektrot reaksiyonlarının metallerin yüzey işlemlerinde önemli bir rolü vardır. Bu reaksiyonların kullanıldıkları alanlar;

- Bir metalin yüzeyinin doğasını kontrol etme, örneğin
  - (1) Depolanan metalin tabakaları farklı şekillerde, elektronik veya mühendislik özelliklerinde olabilir.
  - (2) Bir oksit veya diğer bir inorganik bileşen anodize edilmiş yeni fiziksel özellikleri olan ürün elde edilmesine yarar.
- Metallerin yeniden kullanıma hazırlanması için tamiri veya temizlenmesi, istenmeyen bir oksit filmin kaldırılması veya mikron boyutta aşındırma yapılmasını sağlar.
- Uygun ve kontrollü bir kaynak sağlayarak elektrodepolama banyosundaki çözülmemiş metal seviyesinin korunmasına yardım eder.
- Seçici bir şekilde is parçalarından metali açık devre çözültisi veya anodik yolla kaldırarak bakır kaplı yolların oluşturulmasında kullanılır.
- Aşınan veya oksitlenen parçaların yeniden üretilmesinde kullanılır.
- Çevrecidir.

Elektrokimyasal depolama hücresinin temel parçaları bir elektrolitle kontak kurabilen bir anot ve bir katottur. Katotta, elektron kazanımı ile reaksiyona giren maddenin indirgenmesi gerçekleşir. Diğer bir deyişle elektronlar katottan maddeye elektrolit içinde transfer olurlar. Anotta, elektron kaybıyla reaksiyona giren maddenin oksidasyonu söz konusudur. Elektronlar elektrolit içinde anoda doğru transfer olurlar. Her iki elektrotta etkili elektron ileticisi ve genelde metal olmalıdır(Karbon, özel seramikler, iletken polimerler ve yarı iletkenlerde olabilir). Elektrodepolama işlemlerinde genelde dikkat edilen hususlar şunlardır:

- Akım akışı elektron akışıyla aynı yönlüdür.
- Ara yüzey bölgelerinde yük transferi çok küçüktür. ( $=10^{-9}$  m)

Elektrolitler organik tuzların asit veya bazların yeterli iletkenliği sağlayan sulu çözeltilerini içerirler. Belli durumlarda erimiş tuzlar sulu olmayan çözeltiler ve hatta katı hal elektrolitleri özel uygulamalarda kullanılabilir.

Elektrokimyasal depolama hücresi ve hücre ile ilgili temel kavramlar şekil 9'da şematik bir elektrokimyasal depolama hücresi bulunmaktadır. Şekille ilgili şu yorumlar yapılabilir:

- Anot, katot ve elektrolite ilaveten anodik reaktant ve katodik reaktant ögeleri de elektrokimyasal depolamanın bir parçasıdır.
- Elektrolitteki akım; pozitif yüklü kationların (Katoda doğru yol alırlar) ve negatif yüklü anyonların (Anoda doğru yol alırlar) iki doğrultuda hareketi ile sağlanır. Elektrotlardaki ve dış elektrik devresindeki akım doğrudan ve elektron hareketi ile sağlanır.
- Elektrokimyasal reaksiyonlar iki elektrotun reaksiyonlarının bileşenidir. Sistem elektriksel olarak nötrdür. Toplam katodik akım anodik akıma eşittir ve terstir.
- Elektrot reaksiyonları elektrolit ve elektrot arasındaki çok sınırlı bir ara yüzeyde cereyan eder. Bu yüzden bir elektronik ve iyonik iletken arasındaki yük transferi gibi elektrot reaksiyonlarının belirlenmesi mümkündür. Böyle reaksiyonlar doğada heterojendir.

### 1.8.1.Elektrokimyasal Depolamayı Etkileyen Faktörler

Elektrokimyasal depolama tekniğinde oluşan ince filmin kalitesini etkileyen bazı parametreler vardır. Bu parametreleri değiştirerek aranan özelliklere göre manyetik ince film üretmek mümkündür. Elektrokimyasal depolamayı etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) Depolama potansiyeli
- 2) Çözelti pH
- 3) Akım yoğunluğu
- 4) Elektrolit sıcaklığı
- 5) Çözelti içine katılan kimyasal maddeler.

Depolama potansiyeli: İyi ince film üretebilmek için depolama potansiyeli önemli rol oynamaktadır. Burada uygulanacak olan potansiyel aralığı dönüşümlü voltametri ile belirlenebilir. Bu uygulanan potansiyel film kalitesi ve parlaklığı için önemlidir.

Çözelti pH'ı: Depolamayı etkileyen faktörlerden biri olan elektrolit pH'ı çözelti içindeki hidrojen iyonlarının bir ölçüsüdür. Çözeltideki pH değerinin değişmesi çözelti içindeki H iyonlarının konsantrasyonunun artması veya azalması anlamına gelmektedir. H iyonlarının çıkması sonucunda da film kalitesi etkilenir ve akım verimliliği değişir.

Akım yoğunluğu: Elektrokimyasal depolamayı etkileyen faktörlerden biri de akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğu elektrot yüzeyinin birim alanı başına geçen akım olarak tanımlanır. Bu özellik yüzey morfolojisini ve filmin kristal yapısını etkileyebilir. Kaliteli ince film üretmek için düşük akım yoğunlukları tercih edilir.

Kimyasal katkı maddeleri: Biriktirme işleminde kullanılan çözelti içine bazen katkı maddeleri katmak gerekmektedir. Burada katkı maddeleri ince film kalitesini arttırmak bazen de oluşmasına yardımcı olmak için kullanılır (Ulutaş, 2009).

## **1.9. Alaşım Etkisini Açıklamada Kullanılan Bazı Temel Kavramlar**

### **1.9.1. Metalik Bağ**

Metalik madde içinde atomları bir arada tutan kuvvet metalik bağ olarak adlandırılır. Genel olarak metal atomların valans elektronlarının bulunduğu en dış kabuk komşu atomların valans elektronların bulunduğu kabukla örtüşür. Sonuç olarak metal atomlarının valans elektronları bir atomdan diğerine hareket eder ve belli bir atoma bağlı değildir. Bundan dolayı metalik maddelerde valans elektronları, kovalent bağlı maddelerde olduğu gibi yerleşmemiştir. Yani valans elektronları tüm kristal boyunca serbestçe dolaşabilir. Geride pozitif iyon bırakan elektronların atomları ile valans elektronları arasındaki etkileşme, bileşik ya da metalik kristali bir arada tutan bağlanma kuvvetinin oluşumuna neden olur.

Metalik bağlar iki kısımda incelenir. Birincisi valans elektronlarının metal iyonların sp kabuklarında olduğu durumdur ve bu tür bağlanma oldukça zayıftır. İkincisi ise kısmen dolu d kabuklarına ait valans elektronlarının bağlanmasıdır. Bu tür bağlanma oldukça kuvvetlidir. Metalik madde içinde bu iki tür bağ birlikte bulunsun bile d bağları daha baskın olur.

Basit metaller sp elektronları ile bağlanır. Bu metal atomlarının elektronları, doldurulmamış sp kabuklarındaki birkaç elektron hariç, dolu atomik kabuklarda bulunur. Doldurulmamış kabuklardaki elektronlar metal iyonundan ayrılmıştır ve kristal içinde serbestçe dolanır. Bu elektronlar iletim elektronlarıdır ve metallerde iletkenliğe neden olur. Elektrik alanı uygulandığında valans elektronları daima hareket etme serbestliğine sahiptir. Hareketli valans elektronlarının varlığı ve aynı zamanda metal iyonları arasındaki

bağlanma kuvvetinin yöne bağlı olmayışı çoğu metalin yumuşaklık ve dövülebilme özelliklerini açıklar.

Metalik kristallerde iletim elektronları serbestçe hareket etse bile, bu elektronlar kristal içinde düzgün bir şekilde dağılmıştır. Negatif elektronlar ile pozitif iyonlar arasındaki kuvvetli çekim ve elektronlar arasındaki güçlü itme kuvveti metalik madde içindeki herhangi bir yük dengesizliğini önler. Elektronların karşılıklı etkileşimi elektron hareketinin birbiriyle ilişkili olduğu anlamına gelir ve her bir elektronun hareketi komşu elektronların konumlarına bağlıdır. Elektronlar arasındaki bu karşılıklı ilişki, kristal içindeki herbir birim hücrenin sahip olduğu ortalama elektron sayısının katyonun pozitif yükünü karşılamasını sağlar ve bu yüzden metalik kristalin birim hücresi elektriksel olarak nötrdür.

Birleşme enerjisi kristal durumda bulunan atomların düzenlenmesiyle elde edilen enerjidir. Yalıtkanlar ve yarıiletkenler büyük birleşme enerjisine sahiptir ve bu katıların atomları güçlü bir şekilde birbirlerine bağlıdır ve sert katıları oluştururlar. sp bağlarında elektronu bulunan metaller çok küçük birleşme enerjisine sahiptir. Bağlanmanın bu çeşidi oldukça zayıftır ve kristalleri biraraya çok zor getirilir. Sodyum gibi basit metallerin tek kristalleri mekanik olarak zayıftır.

Metalik bağlanmanın farklı bir türü, doldurulmamış d kabuklarına sahip atomlardan oluşan geçiş metallere bulunur. d orbitalleri bir iyonun sp orbitallerine kıyasla daha sıkı bağlıdır ve d kabuklarındaki elektronlar iyondan uzaklaşmaz. d orbitalleri komşu atomların d orbitalleriyle bir kovalent bağ oluşturur. Geçiş metallere d elektronları ile oluşan kovalent bağlar basit metallerin sp elektronları ile yapılan zayıf bağlardan daha kuvvetlidir ve birleşme enerjisi daha büyüktür. Kristal düzenlenimler geçiş metallere davranışında önemlidir ve sıkı paket fcc, bcc ve hcp düzenlenimlerinde meydana gelirler.

Metalik bağlar polar değildir çünkü element halinde bulunan saf metallere ve hatta alaşımlarda bile bağ etkileşmesine katılan atomlar arasında elektronegativite farkı yoktur veya bu fark çok küçüktür (URL-1, 2008).

Metalik bağın kuvveti metalik iyonun büyüklüğüne ve valans elektronlarının sayısına bağlıdır. İyon boyutu ne kadar küçükse metal bağı o kadar kuvvetlidir. Bu durum, iyon ne kadar küçük olursa elektron denizindeki elektronların iyonları daha iyi bir arada tutabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektron denizindeki valans elektronları ne kadar fazla olursa metal bağı o kadar güçlü olur (URL-2, 2008).

### 1.9.2. Hibritleşme

Bir ve birden fazla merkez atomu bulunan moleküllerdeki bağ yapısını daha iyi tanımlamak için kullanılan kavramdır. Kimyasal bağı oluşturan atom orbitallerinin birbiri ile karışarak bağ oluşumuna uygun simetride melez orbitaller oluşturduğu düşünülür. Bu şekilde atom orbitallerinin birleşimi ile amaca uygun orbitallerin oluşumuna hibritleşme ve oluşturulan melez orbitallere de hibrit orbitalleri adı verilir. Hibrit orbitallerinin sayısı kendilerini oluşturan atom orbitallerinin sayısına eşittir. Atom orbitallerinin hibritleşebilmesi için hibritleşmeye katılan orbitallerin enerjilerinin birbirine yakın olması gerekir. Bu yüzden genel olarak baş kuantum sayıları aynı olan orbitaller hibritleşir. Ama bazı durumlarda baş kuantum sayısı farklı olan orbitaller de hibritleşmeye katılır. Bu duruma örnek olarak  $(n-1)d$  ile  $ns$  orbitallerinin hibritleşmesi verilebilir çünkü bu orbitallerin enerjileri birbirine yakındır (Tunalı ve Özkar, 2005).

### 1.9.3. Perdeleme Etkisi

Perdeleme etkisi çok elektronlu atomlarda, atomun çekirdeği ile bir elektronu arasındaki çekimi tarif etmek için kullanılan bir terimdir. Hidrojen gibi tek elektronlu sistemlerde elektrona etkileyen net kuvvet tam olarak çekirdeğin elektriksel çekim kuvvetine eşittir. Fakat çok sayıda elektron atomik sistemlere eklendiğinde  $n$  kabuğundaki herbir elektron hem çekirdeğin hem de iç kabukta bulunan diğer elektronların itme kuvvetlerini hisseder. Bu durum dış kabuk üzerindeki net kuvvetin çok az olmasına yol açar ve bu tür elektronlar çekirdeğe çok sıkı bağlı değildirler. Perdeleme teorisi aynı zamanda valans kabuğuna ait elektronların atomdan kolaylıkla koparılabilme nedenini açıklamaktadır.

Kuantum mekaniksel etkilerden dolayı perdeleme etkisinin boyutunu kesin olarak hesaplamak oldukça zordur çünkü elektronun çekirdeğe göre konumu söz konusu olduğunda elektronun belirtilen konumda bulunma olasılığı bilinmelidir. Etkin çekirdek yükünün gerçek değeri elektronun çekirdeğe göre konumundan ve aynı zamanda elektron-elektron itmesinden dolayı dalgalanma halindedir (URL-3, 2009).

#### 1.9.4. Kovalent Karakterli Metal Bağları

Geçiş metallerindeki metalik bağlar doldurulmamış d kabuklarındaki elektronlarla karakterize edilir. d hibrit orbitalleri sp hibrit orbitallerinden daha sıkı bağlıdır ve d orbitallerindeki elektronlar iyondan uzaklaşmaz. d orbitalleri komşu atomların d orbitalleri ile bir kovalent bağ oluşturur. Metal atomları valans elektronlarını ne komşu atomlarla paylaşır ne de iyon oluşturmak için elektron kaybeder. Bunun yerine metalin dış enerji seviyeleri örtüşür ve bu yüzden metalik bağlar kovalent bağlara benzerlik gösterir.

#### 1.9.5. Elektronegatiflik

Atomların buldukları kimyasal yapı içerisinde elektronları kendine doğru çekme yeteneği elektronegatiflik olarak bilinir. Başka bir deyişle bir atomun elektronları çekme gücü elektronegatiflik kavramı ile belirlenir. Buna dayanarak elektronegatiflik, bir atomun yalnız başına bulunduğu halden ziyade herhangi bir kimyasal bağ içerisinde ki varlığının daha belirgin olduğu söylenebilir. Bir atomun elektron kazanma eğilimi büyükse, çok elektronegatif olduğu söylenir. Elektron kaybetme eğilimi varsa elektropozitif olduğu söylenir. (Tunalı ve Özkar, 2009) Kimyasal elementlere ait elektronegatiflik değerlerinin yaygın olarak kullanılan ölçüsü Linus Pauling tarafından belirlenmiştir ve elementleri azalan elektronegatif değerlerine göre tablo haline getirmiştir. Elde edilen tablodan flor elementinin en fazla sezyumun ise en az elektronegatif değerine sahip olduğu görülür. Elektronegatiflik ölçeği atomların farklı kombinasyonları arasındaki bağların enerjilerinin kıyaslanmasıyla belirlenir.

Elektronegatiflik değerleri birbirinden oldukça farklı olan elementler iyonik bileşikler oluştururlar. Alaşımları oluşturan elementler arasında ise çok az elektronegatiflik farkı vardır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Foton Dedektörlerinin Genel Karakteristikleri

Foton dedektörlerinin ölçüm sırasındaki çalışma aşamaları birbirine benzerdir. X-ışını fluoresans spektroskopisinde kullanılan dedektörlerin çoğu (gaz dedektörleri, NaI(Tl) sintilatörleri, Ge(Li), HpGe, Ultra-LEGe ve Si(Li) yarıiletken dedektörleri) aynı zamanda elektronları ve ağır yüklü parçacıkları saymakta da kullanılır. Bu dedektörlerin çalışması

- a) Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümü.
- b) Elektronlarla uyarma sonucunda, uyarılmış moleküler seviyelerin, elektron-delik çiftlerinin veya elektron-iyon çiftlerinin oluşumu.
- c) Moleküler seviyelerin yeniden uyarılma ile yayımlanan fotonların veya yük taşıyıcılarının ölçümü ve toplanması.

alanlarını içerir.

Bir kaynaktan yayımlanan bir foton spektrumu genellikle her biri tek enerjili olan foton grupları tarafından oluşturulur. Bir dedektör bu tür bir çizgi spektrumunu çizgi ve sürekli spektrumun bir bileşenine dönüştürecektir. Çizgi spektrumları gözlenebildiği sürece, bu çizgi spektrumları fotonların gerçek şiddetlerini ve enerjilerini belirlemede kullanılabilir. Ancak tek enerjili foton grubu için pik üretmede dedektörün kabiliyeti pik genişliği ve pik verimi ile karakterize edilir. Genişlik genellikle keV biriminde FWHM (yarı maksimumdaki tam genişlik) olarak tanımlanır ve aynı zamanda rezolüsyon (ayırma gücü) olarak da adlandırılır. Dedektörün pik verimi, tüm foton enerjisi soğurulduğunda uygun pikteki (tam enerji piki) sayımların sayısının, o enerjide kaynaktan yayımlanan fotonları sayısına oranıdır. Hem pik genişliği ve hem de pik verimi foton enerjisinin bir fonksiyonudur.

Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümünde, dedektör materyalinin yoğunluğu, atom numarası ve hacmi önemlidir. Eğer materyal düşük yoğunluk, düşük atom numarası ve küçük hacimdeyse, dedektöre gelen fotonun etkileşme ihtimaliyeti düşük olacak ve şayet dedektörle gelen foton arasında bir etkileşme olursa



fotonun tüm enerjisinin dedektörde soğurulma ihtimaliyeti de düşük olacaktır. Bu yüzden bir çizgi spektrumunu ölçmek için böyle bir dedektörün kullanımı düşük enerjili fotonlarla sınırlandırılabilir. Yüksek enerjili fotonlar için tek enerjili çizgi spektrumları gözlenmeyebilir. Bunun yerine sadece sürekli bir spektrum gözlenir. Bundan dolayı, böyle bir dedektör gelen fotonları saymak için kullanışlı olabilir ancak bir enerji spektrumunun değerini ölçmede sınırlı kalacaktır.

### 2.1.1. Yarıiletken Dedektörler

Yarıiletken dedektörler esasen iyonizasyon odaları gibi çalışan katı hal cihazlardır. Bu tür dedektörlerde yük taşıyıcıları, gaz dedektörlerinde olduğu gibi elektronlar ve iyonlar değil, elektronlar ve deliklerdir. Yarıiletken dedektörler gaz dedektörlerine kıyasla bazı avantajlara sahiptirler fakat bu dedektörlerin kristalleri NaI(Tl) dedektörlerinkinden daha düşük atom numarasına sahiptirler ve boyut bakımından daha da küçüktürler. Bu sebeple, fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümü işlemine göre bu dedektörler, NaI(Tl) dedektörlerine göre bazı dezavantajlara sahiptirler. Si ve Ge yarıiletken dedektörleri kendi aralarında karşılaştırılırsa germanyumun hem atom numarası hem de yoğunluğu silisyumun atom numarası ve yoğunluğundan daha büyük olduğu için daha fazla avantaja sahiptir.

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

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

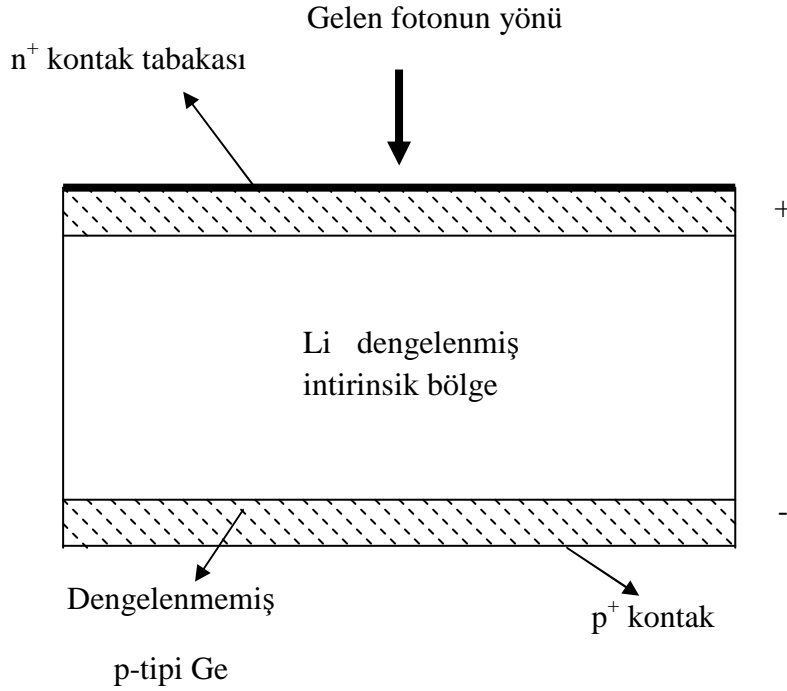
### 2.1.2. Yarıiletken Dedektörlerin Fiziksel Özellikleri

Silisyum ve germanyum gibi yarıiletken malzemelerin bir tek kristalinde tanımlanan atomik elektron durumları, bütün olarak kristalin karakteristiği olan enerji bantlarına genişletilebilir. Herhangi bir uyarı yokken, en dış yörüngede bulunan elektronlar valans bandı olarak adlandırılan bir enerji bandında bulunurlar. Sonraki yüksek durum, yasak enerji aralığı olarak bilinen bir enerjiyle valans bandından ayrılan iletim bandına bağlıdır. Eğer safsızlıklar mevcut değilse, yasak enerji aralığı izin verilmeyen durumları içermez. Bir elektron, en az yasak bant aralığınıninkine eşit olan bir enerjinin ona verilmesiyle, valans bandından iletim bandına geçebilir. İletim bandındaki elektron, uygulanan dış elektrik alanın etkisi altında hareket etmek için serbesttir ve bir elektrotta toplanabilir. Elektronun uyarılması sonucunda oluşturulan boşluk veya delik, elektronun yönüne zıt olan bir elektrik alanın yardımıyla hareket eder. Elektronların ve deliklerin hareket mekanizmaları farklı olduğu için, kristalin içinde hareket eden iki yükün hızı yani mobiliteleri farklı olacaktır.

Bir foton kristalle etkileştiği zaman valans bandında bulunan elektronlar gelen fotonlarla etkileşerek iletim bandına uyarılırlar. Bu birincil elektronlar, eğer yeterince enerjik ise, ilave ikincil elektronlar oluşabilir. Bu ardışık işlemler boyunca birincil elektron enerjisi, aygıtın elektrotlarında toplanmak için serbest olan birçok elektron-delik çifti üretiminde tüketilir. Bu yükü toplamak için yaklaşık 1000 V/ cm'lik bir elektrik alan gereklidir. Her bir dedektör için farklı bir besleme voltajı olabilir. Bu voltaj, bir voltaj düşmesi ihtimalini minimum yapmak için yeterince küçük, iyi bir yük toplanmasını ve dolayısıyla iyi bir pik şekillenimi sağlamak için yeterince büyük seçilir.

Pratikte yarıiletken kristal malzeme, kusursuz yani tamamen saf olmadığından foton dedektörlerinin işlemesi daha karışıktır. Üç değerlik elektronu bulunan bor, alüminyum, galyum ve indiyum gibi elementlerin safsızlık etkisi, kristal yapının içine serbest deliklerin girmesidir. Bu tür safsızlıklar elektronları alabildiğinden akseptör (alıcı) safsızlıkları olarak adlandırılır. Aynı şekilde fosfor, arsenik, antimon gibi beş değerlikli elektronlara sahip safsızlıklar serbest elektronları yapıya sokar. Bunlar ise elektron verebildiğinden donör (verici) safsızlığı olarak adlandırılır. Böyle bir kristale uygulanan elektrik alanı, bu deliklerin veya elektronların varlığına dayanan bir elektrik akımıyla sonuçlanır. Bu akımdaki istatistiksel değişimler, foton etkileşmeleri için pulsların dedekte edilebildiği seviyenin altında bir gürültü seviyesine neden olur. Yarıiletken dedektörler ilk üretildiği

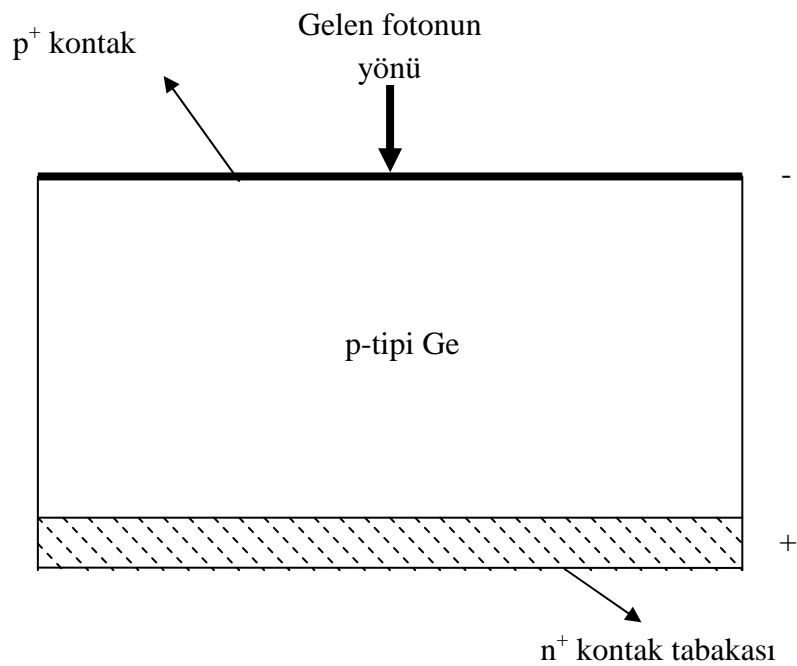
zamanlarda, akseptör safsızlıklarından kaynaklanan gürültü seviyesi herhangi bir fotondan meydana gelen pulsların görülmesini tamamen engelleyebilirdi. Bu kararlı durum akımını kabul edilebilir bir seviyeye indirmek için kristalin içinde serbest yük taşıyıcılarından yoksun bir intrinsik bölge oluşturmak gerekliydi. Bu germanyum materyaline lityum iyonlarının sürüklenmesiyle yapıldı. Lityum, p-tipi kristalin üst yüzeyine bırakıldı ve germanyum kristalinin hacminin tamamına sürüklendi. Arayer donör safsızlığı olan lityum, bir intrinsik bölge oluşturmasıyla akseptör safsızlıklarını dengeler. Bu Ge(Li) dedektörü olarak adlandırılır. Bu tür bir düzlem dedektörün yapısı Şekil 10'da gösterilmektedir. Üst yüzeyde bulunan fazla lityum bir elektrik kontağı gibi görev yapan  $n^+$  tabaka ile sonuçlanır ve karşı yüzeyde dengelenmemiş ince bir tabaka kalır. Böyle bir dedektörde lityum oda sıcaklığında sürüklenmeye devam edecektir. Dedektörün bu özelliğinden dolayı, nakliye süreci de dâhil olmak üzere, daima soğuk (genellikle sıvı azot sıcaklığı) saklanmalıdır.



Şekil 10. Düzlem Ge(Li) dedektör

Yeterince saf olan germanyum metali için intrinsik bölge doğrudan oluşturulabilir. Bu yapı p-tipi germanyumun bir yüzeyine lityum buharlaştırılmasıyla elde edilir ve kısa bir zaman için germanyumun içine difüz edilmesine izin verilir. Bu  $n^+$ -p kavşağına uygulanan

bir ters besleme, bir intrinsik bölge oluşturmak için her iki yüzeydeki kavşaktan çoğunluk taşıyıcılarını iter. Serbest taşıyıcıların gerileme işlemi, yüklü atomlar tarafından indüklenen elektrostatik alanın uygulanan dış elektrik potansiyelden kaynaklanan alanı dengeleyene kadar kavşağın her iki tarafında da devam eder. Elektron-delik çiftinin oluşturduğu bölgenin kalınlığı uygulanan alan ve materyaldeki safsızlık konsantrasyonu ile ilgilidir. Şekil 11’de gösterilen bu dedektör, intrinsik veya yüksek saflıkta Ge dedektörü olarak adlandırılır ve bu dedektörler Ge(Li) dedektörünün aksine oda sıcaklığında saklanabilir.



Şekil 11. Düzlem p-tipi yüksek saflıkta Ge dedektör.

Foton etkileşmeleriyle iletim bandına uyarılan elektronlara ilave olarak, burada termal olarak uyarılan elektronlar da vardır. Uyarmanın bu şekli istatistiksel gürültü (temel sayma) meydana getirir. Bu gürültüyü azaltmak için yarıiletken foton dedektörleri düşük sıcaklarda çalıştırılmalıdır. Bu işlemin mümkün olduğu en yüksek sıcaklık, kristal safsızlıklarının ve kusurlarının çokluğu ve tipine bağlıdır ve pratik işlem sıcaklığı sıvı azot sıcaklığıdır (Debertin ve Helmer, 1988).

## 2.2. Rezolüsyon (Ayrırma Gücü)

Yük oluşma işleminin istatistiği, her bir dedektörün kendisine ait özellikleri ve buna ek olarak yük toplama işleminin tamamlanabilirliği, elektronik gürültü gibi faktörler dedektörün ayırma gücünü veya pik genişliğini (FWHM) etkiler. Pik genişliğine yük oluşma işleminin istatistiğinden olan katkı her bir dedektör materyaline özgüdür. Tek kristal germanyumda bant genişliği 77 K'de 0,67 eV'tur. Ge kristalinde serbest elektron-delik çifti oluşturmak için  $e=2,96$  eV'luk bir ortalama enerji gerekmektedir. Bu Si için  $e=3,76$  eV'tur. Ekstra enerji örgü fononlarının oluşumunda harcanır. Çiftlerin ortalama sayısı  $N=E_\gamma/e$  olsa da, farklı uyarma tipleri arasındaki foton enerjisinin bölünmesi, çiftlerin sayısında istatistik dağılıma neden olur. Böylece pulsların genliklerinin istatistiksel bir dağılımı dedektör hacminde tamamen soğurulan tek enerjili foton grupları tarafından üretilir. Eğer her bir çift bağımsız olarak oluşturulursa, Poisson istatistiği uygulanabilir ve N'nin dağılımının standart sapması  $N^{1/2}$  olur. Buna karşın elektron-delik çiftlerinin oluşum istatistiği Poisson değildir. Fano tarafından sunulan teoriye göre çiftlerin sayısında gözlenen ortalama karekök sapma  $(F.N)^{1/2}$  olarak tanımlanır. Burada F fano faktörüdür. Bu ifadeden gözlenen pik genişliğine katkı aşağıdaki gibi olur.

$$w_i=2,355(F \cdot E_\gamma \cdot e)^{1/2} \quad (32)$$

Fano faktörü her bir dedektör materyali için ölçülmelidir ve bu faktör materyalin kendine has özelliğidir. Germanyum ve silisyum için Fano faktörü sırasıyla 0,06 ve 0,08'dir. Yarıiletken dedektörlerde iyi bir rezolüsyon elde etmek için F'nin değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir. Pik genişliğine bu katkı  $E_\gamma^{1/2}$  ile artar. Pik genişliğine bir sonraki katkı birincil olarak yük taşıyıcılarının kaybına bağlıdır ve her bir dedektörün karakteristiğidir. Serbest elektronlar ve deliklerin eksik toplanmasından sorumlu olan en önemli işlem yük tuzaklanmasıdır. Bir yük taşıyıcı, safsızlıklar ve kristal kusurlarıyla enerji aralığına giren durumların birine yakalandığında tuzaklanma meydana gelir ve ayrıca uyarma tuzaklanmış yükün serbest kalması için gereklidir ve böylece yükün toplanmasına izin verir. Bir yük taşıyıcısının tuzaklanması, tuzak durumunun enerjisinin, kristal ve standart soğutma metodunun karakteristiği ile sabittir. Elektrik alan ise besleme voltajı ile ilgilidir ve besleme voltajı ayarlanabilir bir büyüklüktür. Artan voltaj yük toplanmayı iyileştirdiğinden, dedektör normal olarak maksimum voltaj yakınlarına ayarlanabilir. Yük

taşıyıcılarının her bir tipinin yakalanabildiği, hem akseptör hem de donör tuzakları kristalin içinde mevcuttur.

Toplam pik genişliğinin karesi

$$w^2 = w_i^2 + w_x^2 + w_e^2 \quad (33)$$

ile verilir. Burada  $w_i$  her bir dedektör materyaline özgü olan ve yük oluşma istatistiğinden gelen katkıdır.  $w_x$  tuzaklanma gibi dedektör etkilerinden gelen katkıdır.  $w_e$  elektronik devrelerden gelen katkıdır. Bu üç terimin her biri Gaussian dağılıma sahiptir.

Dedektörün rezolüsyonu R,

$$R = \frac{W}{V} \quad (34)$$

şeklinde verilir. Bu bağıntıda W yarı maksimumdaki puls genişliği ve V ise ortalama genişliktir.

Pikin yarı maksimumdaki tam genişliği ise;

$$FWHM = W \times E \quad (35)$$

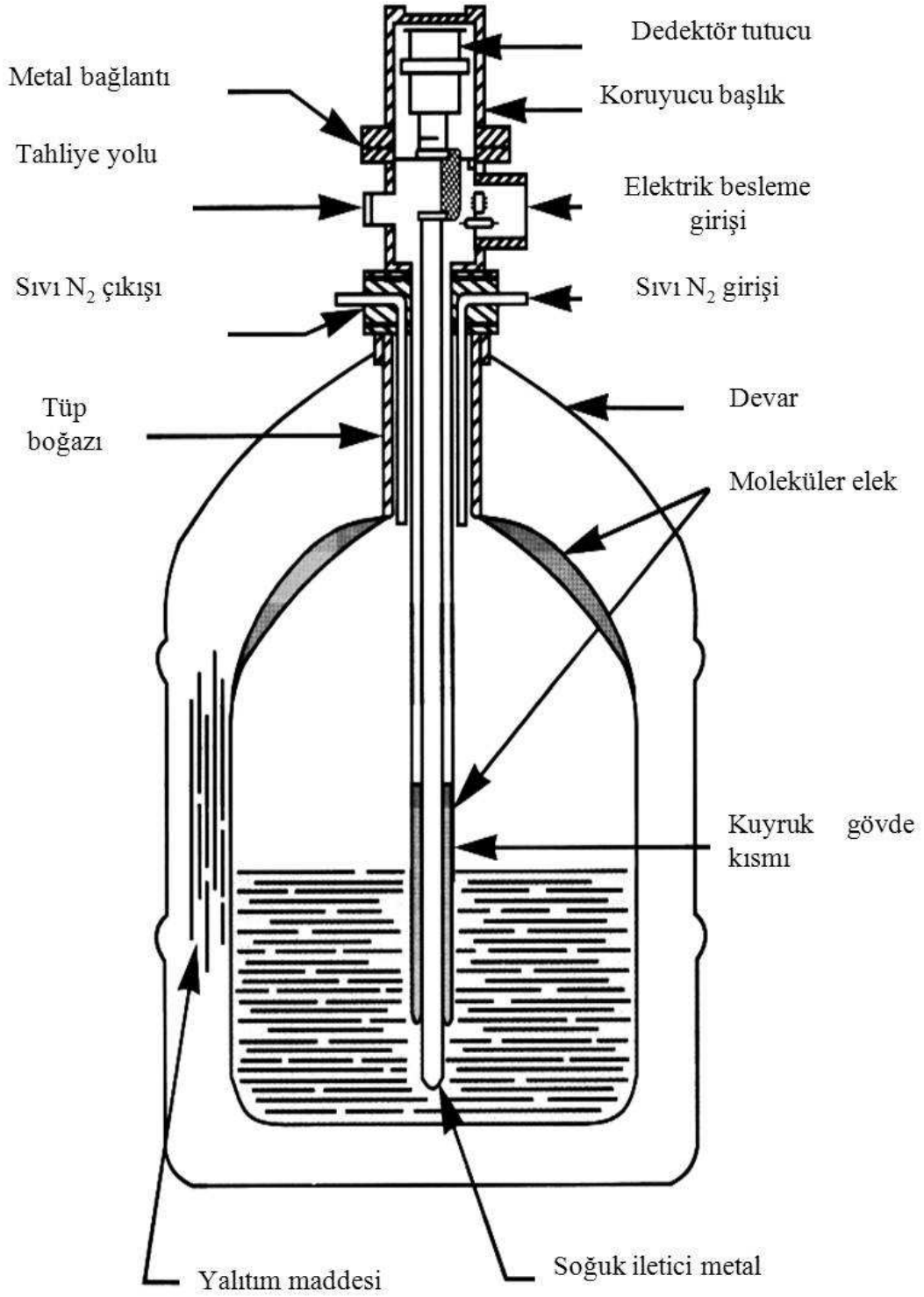
şeklinde verilmektedir. Rezolüsyonu en iyi olan dedektörler yarı iletken dedektörlerdir. Yarı iletken dedektörlerde en çok Si ve Ge dedektörleri kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, karakteristik x-ışınlarının şiddetleri ölçülmüştür. İncelenen element ve bileşiklerine ait spektrumlar Ultra-LEGe dedektörü ve buna bağlı elektronik sistem kullanılarak elde edilmiştir. Bu dedektörler yaklaşık 200 eV'tan 500–600 keV'a kadar olan enerji bölgesini kapsamaktadır. Dedektörün iki önemli özelliği alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, dedektör alanı arttıkça artar. Kullandığımız dedektörün aktif alanı 30 mm<sup>2</sup> ve kalınlığı 5 mm'dir. Dedektör en uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196 °C) tutulmalıdır. Bunun için dedektör, 30 lt sıvı azot alabilecek bir devar kabına yerleştirilmiştir. Dedektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmelerini önlemek için 30 mikron kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

Sayacın aktif bölgesine E enerjili bir foton düştüğü zaman germanyum atomları iyonlaşır. Foton enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir ve fotoelektron enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-delik çifti meydana getirerek dedektör içinde hareket eder.

Ultra-LEGe dedektöre yaklaşık 500 voltluk ters besleme gerilimi uygulanır. Meydana gelen elektrik alan, fotonların oluşturduğu elektron-delik çiftlerini toplar. Ters beslemeden dolayı elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye yönelirler.

p-tipi ve n tipi bölgelerde elektrik alan vasıtasıyla toplanan yükler akım pulsundan potansiyel pulsuna dönüştürülür. Deney sisteminde kullanılan elektronik düzenek aracılığıyla potansiyel pulsu, puls yükseklik analizöründe enerjisine karşılık gelen kanala yerleştirilir. Dedektör Şekil 12’de görüldüğü gibi sıvı azot kabının içine bağlanmış olan bir vakum odasına monte edilmiştir. Böylece dedektörün hassas yüzeyi rutubetten ve diğer kirleticilerden korunmuştur (Debertin ve Helmer, 1988)

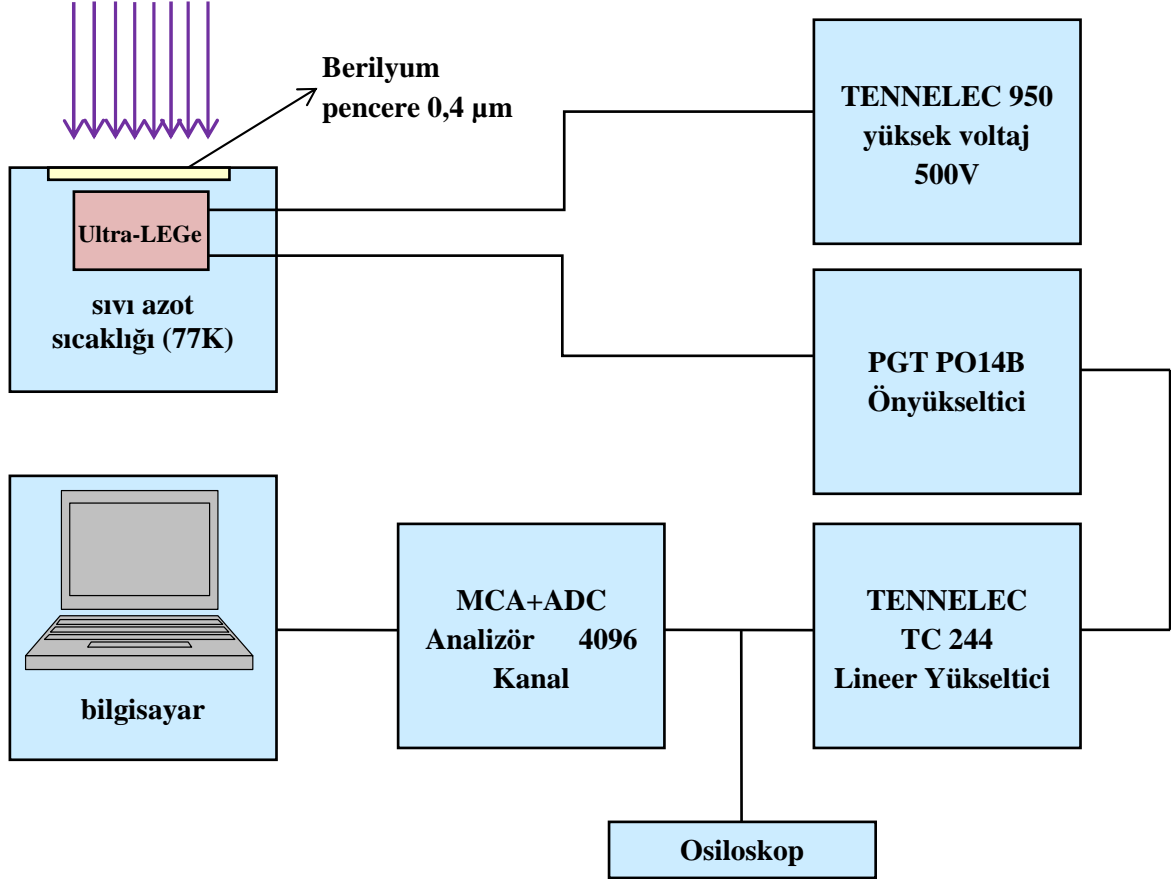


Şekil 12. Dedektör ve bölümleri



### 2.3. Sayma Sistemi

Bir dedektör, ön yükseltici, analog sayısal dönüştürücü, puls yükseklik analizörü, osiloskop ve bir yüksek voltaj kaynağı sayma sistemini oluşturmaktadır. Şekil 13 sayma sisteminin şematik gösterimini vermektedir.



Şekil 13. X-ışınları floresans ölçüm sistemi diyagramı

#### 2.3.1. Yüksek Voltaj Kaynağı

Yüksek voltaj kaynağı, dedektörün çalışması için gerekli olan negatif veya pozitif voltajı sağlar. Dedektörlerin birçoğu yüksek pozitif voltaja gereksinim duyar. Yüksek voltaj kaynağı, giriş voltajının değişebilmesine rağmen çıkış voltajının çok az değişeceği bir biçimde ayarlanır (Tsoulfanidis, 1995).

### 2.3.2. Ön Yükseltici

Ön yükselticinin temel görevi, dedektörün çıkışı ile sayma sisteminin geri kalan kısmı arasında en iyi bağlantıyı sağlamaktır. Aynı zamanda ön yükseltici, sinyali değiştirebilen gürültü kaynaklarını minimum yapmak için de kullanılır.

Dedektörden çıkan sinyal milivolt mertebesindedir ve çok zayıftır. Sinyal kaydedilmeden önce binlerce kez büyütülmelidir. Bunun yapılabilmesi için sayma sisteminde ön yükselticilere ihtiyaç duyulur. Herhangi bir sinyalin bir kablo içinden iletimi, sinyali belirli bir miktar azaltır. Dedektörün çıkışındaki sinyal zayıf olursa, iletime eşlik eden elektronik gürültüde kaybolabilir. Elektronik gürültüde sinyalin kaybolmasını önlemek için ön yükseltici mümkün olduğu kadar dedektörün yakınlarına yerleştirilir. Bundan dolayı ön yükselticinin girişi dedektörle aynı şekilde soğutulur. Ön yükseltici sinyale şekil verir yani dedektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür ve yükseltici ile dedektörün empedansını eşleyerek sinyalin zayıflamasını azaltır (Tsoulfanidis, 1995).

### 2.3.3. Yükseltici

Bir yükselticinin esas iki görevi vardır ve bu görevler şu şekilde sıralanır.

- a) Ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılma için uygun seviyelerine yükseltmek.
- b) Pulsuları, puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi tamamen sürdürerek işleme uygun bir biçime getirmek.

Çıkış puls genliği modern sistemler için 2 V'tan 10 V'a kadar değişmektedir. Amplifikatörlerin çoğu hem unipolar çıkış (sinyalin ilk kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatif) hem de bipolar (sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahip) çıkış ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı tercih edilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi ayırma gücü genellikle, sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için, daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rasgele toplanmaya da neden olur. Bundan dolayı,

eğer sistem  $2.000 \text{ s}^{-1}$ 'lik sayma hızlarında çalıştırılacaksa daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

#### **2.3.4. Analog Dijital Dönüştürücü**

Sayma sisteminde analog dijital dönüştürücünün (ADC) amacı yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliği ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirmektir. Bu işlem analogu sayısala dönüştürme işlemi olarak adlandırılır. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı, analizörün hafızasında biriktirilir ve sonuç olarak bu, bilinen bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır.

#### **2.3.5. Çok Kanallı Analizör (MCA)**

Çok kanallı analizör sayısal hale getirilmiş pulsları kanallara yerleştirerek bilgisayar hafızasında kaydeder. Esasında, her bir kanal depolama yapmak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon işlemi standart kaynaklar kullanılarak ölçüme başlamadan önce yapılır.

#### **2.4. Dedektör Verimi**

Enerji ayrımlı X-ışını floresans sisteminde yapılan çalışmalarda dedektör verimi bilinmelidir. Dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı veya dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi dedektör verimi olarak adlandırılır.

Kalibre edilmiş kaynaklar dedektör verimliliğinin tespit edilmesi için gereklidir. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlanma olasılıkları bilinmelidir. Dedektör verimini etkileyen faktörler; kolimatör faktörü, dedektör maddesi, dedektörün hassas bölgesi, imalat faktörü ve kıyılarından kaçmalar şeklinde sıralanabilir.

### 2.4.1. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi

Dedektör veriminin tayini için genellikle nokta kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynaktan homojen olarak foton yayımlanmayacağı için bu durum dedektörün verimini etkiler. Bu yüzden kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit bir uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısı bilinen şekilde tayin edilebilir. Bu şekilde elde edilen verim bütün geometri ve soğurma faktörlerini içine almaktadır.

Kullanılan kaynağın verim tayini yapılırken şiddet (I);

$$I = I_0 \exp(-\lambda t) \quad (36)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $I_0$  kaynağın şiddeti,  $\lambda$  bozunma sabiti ve  $t$  ise kaynağın imalatından ölçüm alınmaya kadar geçen süredir. Kaynaktan çıkan fotonlar farklı enerjilerde ise yayımlanan fotonların her enerjideki yayımlanma oranı tespit edilmelidir. Tespit edilen enerjideki yayımlanan foton sayısı ( $I_{Ex}$ ),

$$I_{Ex} = [I_0 \exp(-\lambda t)] \cdot W_{Ex} \quad (37)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Burada  $W_{Ex}$ ,  $E_x$  enerjisinde yayımlanan fotonların kesridir. (36) denkleminde bulunan şiddet,  $360^\circ$  lik geometrik sayımda olduğundan dedektörün bu enerjideki verimi

$$E_{fEx} = \frac{I_d}{I_{Ex}} \quad (38)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte  $I_d$ , dedektörün ilgili enerjide saydığı fotonların sayısıdır. Deneysel olarak E enerjisindeki fotopik verimliliği,

$$\varepsilon(E) = \frac{4\pi N_E}{\Omega_0 \text{TRP}_E} \quad (39)$$

ile hesaplanabilir. Burada  $N_E$ , T zamanı içinde dedektörde sayılan fotonların sayısı, R ve  $P_E$  ise sırasıyla kaynağın bozunma hızı ve E enerjili fotonun kaynaktan yayımlanma olasılığıdır. Sayma için etkin katı açı  $\Omega_0$  ise,

$$\Omega_0 = \frac{\pi r^2}{(d + Z)^2} \quad (40)$$

denklemiyle verilebilir. Mutlak verimlilik tayininde katı açı düzeltmesi yoktur ve bu yüzden mutlak verimlilik

$$\varepsilon(E) = \frac{N_E}{\text{TRP}_E} \quad (41)$$

biçiminde yazılabilir.

Bağıl verimliliğin tayini, kaynaktan gelebilecek hataları ortadan kaldırmak için daha uygun yöntemdir. Dedektör yapısının bozulması, dedektör verimini zamanla değiştireceği de dikkate alınmalıdır. Ultra-LEGe dedektörünün verimlilik eğrisinin tayini yapılırken aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir.

- a) Mutlak verimlilik: Sayaçta sayılan fotonların, radyoizotop kaynak tarafından tüm doğrultularda yayımlanan fotonlara oranıdır ve kaynak sayaç uzaklığına bağlıdır.
- b) İntrensik verimlilik: Sayacın intrinsik bölgesinde sayılan fotonların, bu bölgeye gelen fotonların sayısına oranıdır.
- c) Bağıl verimlilik: Herhangi bir enerjideki sayaç verimliliğinin diğer enerjilerdeki sayaç verimliliğine oranı olarak tanımlanır.
- d) Fotopik (Sayma) verimliliği: Sayaçta, ilgili enerjide sayılabilir büyüklükte puls meydana gelme ihtimaliyetidir.
- e) Radyal verimlilik: Herhangi bir enerjide sayaç verimliliğinin sayaç yarıçapına bağlı olarak değişimini ifade eder (Ertuğral, 2004).

### 2.4.2. $I_0G\varepsilon$ 'nin Tayini

Sayılan karakteristik X-ışını şiddeti, uyarıcı radyasyonun şiddetine, geometrik faktörüne, X-ışınlarının sayıldığı dedektörün verimliliğine, elementin miktarına, numune ve hava içerisindeki soğurma faktörüne ve ilgili elementin tesir kesitine bağlıdır. Böylece;

$$N = I_0 \cdot G \cdot \varepsilon \cdot m_i \cdot \beta \cdot \sigma \quad (42)$$

yazılabilir. Bu eşitlikte N, birim zamanda ölçülen karakteristik X-ışınlarının şiddeti,  $I_0$  birim zamanda numuneye gelen foton şiddeti (uyarıcı radyasyon şiddeti), G kaynak-numune ve numune-dedektör kompozisyonuna bağlı geometrik faktör,  $\varepsilon$  X-ışınları enerjisindeki dedektör verimi,  $\sigma$  fotoelektrik tesir kesiti ve  $\beta$  soğurma düzeltmesi faktörüdür.  $m_i$  ise numune içindeki analitik madde miktarı olup,

$$m_i = m \cdot w_i \quad (43)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada m, numunenin toplam kütleini,  $w_i$  ise analitin yoğunluğunu temsil etmektedir.

$I_0G\varepsilon$  değeri çeşitli aralıktaki elementlerin uyarılması sonucu elde edilen bu elementlere ait karakteristik K X-ışınları yardımıyla ölçülmüştür. Deney süresince  $I_0G$  çarpanını sabit tutmak için geometri değiştirilmemiştir.  $I_0G\varepsilon_K$  değerinin tayininde

$$IG\varepsilon_{K_i} = \frac{N_{K_i}}{\beta_{K_i} \cdot m_i \cdot \sigma_{K_i}} \quad [i = \alpha, \beta] \quad (44)$$

ifadesinden yararlanılmıştır.  $\sigma_{K_i}$  tesir kesiti ise;

$$\sigma_{K_i} = \sigma_K \cdot \omega_K \cdot f_{K_i} \quad (45)$$

eşitliğine göre teorik olarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte  $\sigma_K$ , K tabakasına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in (Scofield, 1973) tablosundan alınmıştır.  $\omega_{K_i}$ , K tabakası için fluoresans verim olup Krause'nin (Krause, 1979) tablosundan ve  $f_{K_i}$  ( $i = \alpha, \beta$ ) ise K

tabakasından yayımlanan  $K_{\alpha}$  veya  $K_{\beta}$  X-ışını ihtimaliyetleri olup Broll'un makalesinden alınmıştır (Broll, 1986).

### 2.4.3. Ultra-LEGe Dedektörün Verim Eğrisinin Tayini

Deney geometrisi ile birlikte dedektör verimi de değiştiğinden dolayı her deneysel çalışma için dedektör veriminin belirlenmesi gerekir. Dedektör verimi belirlendikten sonra, dedektör verimi yardımıyla şiddet oranları, fluoresans tesir kesitleri ve fluoresans verimlerin değerleri bulunur.

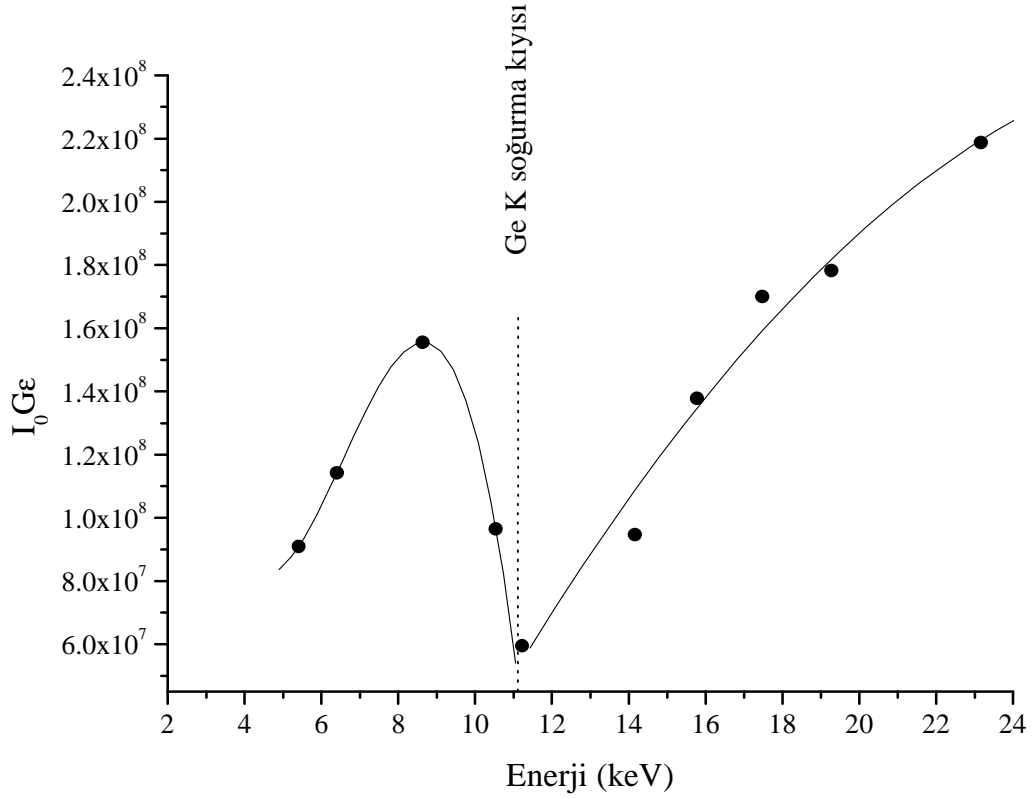
Yapılan bu çalışmada 59,5 keV enerjii foton yayımlayan  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif halka kaynağı için dedektör verimi  $I_0G\varepsilon$ , değerlerinin ortalama karakteristik K X-ışınları enerjilerine karşı elde edilen grafik şekil 14'de verilmektedir. Şekilde Ge K soğurma kıyısı enerjisinden küçük olan enerjilerde verim hesabı;

$$Y = A + B_1 \times X + B_2 \times X^2 + B_3 \times X^3 \quad (46)$$

denklemleri ve Ge K soğurma kıyısı enerjisinden büyük enerjilerde verim hesabı

$$Y = A + B_1 \times X + B_2 \times X^2 \quad (47)$$

denklemleri sağlanmaktadır. Bu denklemlerde A,  $B_1$ ,  $B_2$  ve  $B_3$  katsayıları sabit sayılardır.



Şekil 14.  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı kullanılarak elde edilen  $I_0 \text{ Ge}$ 'nin enerji ile değişimi

## 2.5. Numunelerin Kütle Azaltma Katsayıları ve Soğurma Düzeltmesi Faktörleri

Numunelerin uyarılmasıyla meydana gelen karakteristik X-ışınları numune içinden geçerken numunedeki atomlar tarafından soğurulmaktadır. Bu nedenle dedektör tarafından ölçülen X-ışını şiddeti yayımlanandan farklı olacaktır. Şiddet ölçümlerine dayanan bütün çalışmalarda bu fark, ölçülen X-ışını şiddetinin soğurma düzeltmesi faktörüne bölünmesiyle ortadan kalkmaktadır. Yayımlanan ve ölçülen X-ışını şiddeti arasında,

$$N_{\text{ölç}} = N_{\text{yay}} \cdot \beta \quad (48)$$



biçiminde bir ilişki olmalıdır. Bu eşitlikte  $\beta$ , soğurma faktörü olup enerjiye, numune atomlarına, X-ışınlarının numuneye geliş ve çıkış açıları ile numune kalınlığına bağlıdır. Dolayısıyla numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını bulmak için ölçülen X-ışını şiddeti  $\beta$  soğurma faktörüne bölünmelidir. Bu nedenle  $\beta$ 'ya soğurma düzeltmesi faktörü denir ve;

$$\beta_{(i)} = \frac{1 - \exp\left[-\left(\frac{(\mu/\rho)_{(\gamma)}}{\cos\theta_1} + \frac{(\mu/\rho)_{(i)}}{\cos\theta_2}\right)\rho D\right]}{\left(\frac{(\mu/\rho)_{(\gamma)}}{\cos\theta_1} + \frac{(\mu/\rho)_{(i)}}{\cos\theta_2}\right)\rho D} \quad (i=K,L) \quad (49)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte, sırasıyla  $(\mu/\rho)_{(\gamma)}$  ve  $(\mu/\rho)_{(i)}$  kaynaktan gelen radyasyon ve yayımlanan karakteristik X-ışınları için numunenin toplam kütle azaltma katsayılarıdır.  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  sırasıyla kaynaktan gelen radyasyonun ve yayımlanan karakteristik X-ışınlarının numune yüzeyinin normali ile yaptıkları ortalama açılarıdır. Yaptığımız çalışmada kullanılan deney geometrisine göre  $\theta_1$  geliş açıları sabit tutularak  $45^\circ$  ve numuneden çıkan X-ışınlarının numune yüzeyi ile yaptığı açı  $90^\circ$  alınmıştır. Birim alan başına düşen madde miktarı  $\rho D$  ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) ise tartılan numune miktarının numune alanına bölünmesiyle ve

$$\mu/\rho = \sum w_i (\mu/\rho)_i \quad (50)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu ifadede  $w_i$ , i. elementin ağırlık yüzdesi,  $(\mu/\rho)_i$  ise i. elementin E enerjisindeki kütle azaltma katsayısıdır.

Elementlerin ilgili enerjilerindeki toplam kütle azaltma katsayılarının hesaplanmasında Berger ve Hubbel tarafından (Berger vd., 1998) geliştirilen XCOM bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programın veri tabanı, 1–100 GeV enerji aralığında karışım, bileşik veya herhangi bir element için tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını hesaplamak için kullanılır. XCOM hem standart hem de kullanıma bağlı olarak istenilen enerjide, tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını verir. Ayrıca fotoelektrik, koherent ile inkoherent saçılma ve çift oluşum gibi kısmi kütle azaltma katsayılarının hesaplanmasını da içerir.

## 2.6. Numunelerin Hazırlanması

$Zn_xCr_{1-x}$  alaşımları üç aşamalı olarak bir sülfat banyosu içerisinde, elektrolizle depolama yöntemiyle ve elektrotlar iki kez damıtılmış su kullanılarak hazırlanmıştır. İlk olarak 30°C, 35°C, 40°C, 45°C ve 50°C sıcaklıkta, sabit potansiyel altında, pH değeri 3 ve depolama süresi 900 sn tutularak alüminyum altlıklar üzerine 5 adet numune hazırlanmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında pH değerleri 2, 2.5, 3 ve 3.5 ayarlanıp depolama süresi 900 sn tutularak alüminyum altlıklar üzerine 4 adet numune hazırlanmıştır. Son olarak oda sıcaklığında pH değeri 3 alınarak çözelti içerisinde ki jelatin miktarı 0.004 gr/lt, 0.008 gr/lt ve 0.012 gr/lt ayarlanıp elektrodepolama süresi 900 sn tutularak alüminyum altlıklar üzerine 3 adet numune hazırlanmıştır. Tortulaşma gerçekleşmeden önce, altlıklar standart endüstriyel yollarla ve daha sonra kimyasal olarak, sodyum hidroksil çözeltisinde iki dakikalık süre içinde elektrikli yağ giderme işlemiyle yapılmıştır. Bu işlemi suyla yıkama, silisyum karpit kâğıtlarla mekaniksel olarak öğütme, kimyasal olarak asitle temizleme, on saniye asidik bir ortamda etkinleştirme, iki kez damıtılmış suyun içinde durulama ve hava ortamında kurutma işlemleri takip eder. Bundan dolayı altlık yüzeylerinin reaktivitesi artar.

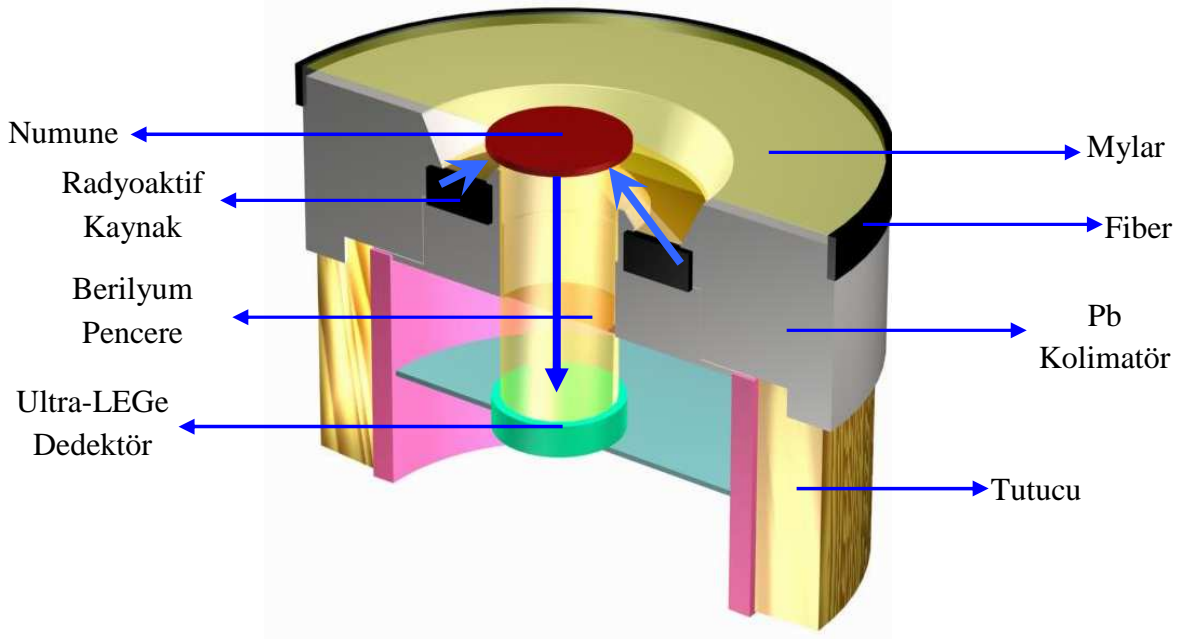
Karşıt elektrot olarak platin ve referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Bu çalışmada X-ışını flüoresans parametreleri incelenecek olan kaplamalar AISI 4140 çeliği üzerine, yapısal analiz için üretilen filmler ise alüminyum altlık üzerine büyütülmüş ve istenilen özelliklere uygun filmler üretilmiştir. (Şerifoğlu, 2009)

## 2.7. Deneysel Geometri, Numunelerin Uyarılması ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması

Deneysel geometri, ölçümü iki şekilde etkileyebilir. Birincisi, kaynak ve dedektör arasındaki ortam bazı parçacıkları saçabilir ve soğurabilir. İkincisi kaynağın ve dedektörün şekli, boyutu, kaynak ve dedektör arasındaki uzaklık dedektöre gelecek olan parçacıkların oranını belirler (Tsoulfanidis, 1995).

Numuneler deneysel hazır hale getirildikten sonra, 50 mCi'lik  $^{241}\text{Am}$  halka kaynağından yayımlanan 59,5 keV enerjili fotonlarla uyarılmışlardır. Radyoizotop halka kaynak seçilirken, kaynağın enerjisinin, numunenin K tabakası soğurma kıyısından büyük olmasına ve aynı zamanda numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının, spektrumun temiz bölgelerine düşmesine dikkat edilmiştir.

Karakteristik X ışınlarının sayılmasında, yarı maksimumdaki tam genişliği (rezolüsyonu) 5,9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü kullanılmıştır. Şekil 15'de ölçümlerin alındığı X-ışını fluoresans (EDXRF) sistemi için deney geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 15. X-ışınları fluoresans (EDXRF) ölçümleri için deney geometrisi

## 2.8. K X-ışını Şiddet Oranları, Floresans Verimleri, Floresans Tesir Kesitleri ve Çizgi Genişliklerinin Hesaplanması

Bir elemente ait karakteristik X-ışını şiddeti genel olarak,

$$I = \frac{N}{\epsilon \cdot \beta} \quad (51)$$

denklemleri ifade edilebilir. Bu denklemde N, söz konusu olan karakteristik X-ışınına ait pikin net alanı,  $\epsilon$ , karakteristik X-ışını enerjisinde dedektör verimi ve  $\beta$  aynı enerjide numuneye ait soğurma düzeltmesi faktörüdür. Denklem 51'de verilen şiddet ifadesinden yola çıkılarak K-X ışını şiddet oranları deneysel olarak hesaplanmasında 52 denklemleri kullanılmıştır.

$$\frac{I_{K\beta}}{I_{K\alpha}} = \frac{N_{K\beta}}{N_{K\alpha}} \cdot \frac{\epsilon_{K\alpha}}{\epsilon_{K\beta}} \cdot \frac{\beta_{K\alpha}}{\beta_{K\beta}} \quad (52)$$

Bu bağıntılarda  $N_{Ki}$  ( $i= \alpha, \beta$ ) karakteristik X-ışınlarının dedektörde ölçülen şiddetleridir.  $\beta_{Ki}$  ( $i= \alpha, \beta$ ) karakteristik X-ışınları için soğurma düzeltmesi faktörü olup denklem 49'dan hesaplanmıştır.  $\epsilon_{Ki}$  ( $i= \alpha, \beta$ ) ise karakteristik X ışınları için dedektör verimliliği olup  $I_0G\epsilon$ 'nin enerjisinin bir fonksiyonu olarak elde edilen fit denkleminde ilgili enerji yerine konularak elde edilmiştir.

K tabakası fluoresans verim ve fluoresans tesir kesiti verilerinin değerlendirilmesinde,

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K \cdot \omega_K \cdot f_{Ki} \quad (i= \alpha, \beta) \quad (53)$$

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \epsilon_{Ki} \beta_{Ki} t_i} \quad (i= \alpha, \beta) \quad (54)$$

$$\omega_K = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \epsilon_{Ki} \sigma_K^P \beta_{Ki} t_i} = \frac{\sum \sigma_{Ki}}{\sigma_K^P} \quad (i= \alpha, \beta) \quad (55)$$

denklemlerinden yararlanılmıştır. Denklem 55'de  $\sigma_K^P$ , K tabakasına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in (Scofield, 1973) tablosundan alınmıştır. (53) bağıntısındaki  $\omega_K$ , K tabakası için fluoresans verim olup Krause'nin (Krause, 1979) tablosundan,  $f_{Ki}$  ( $i= \alpha, \beta$ ) K tabakasından  $K_\alpha$  veya  $K_\beta$  X-ışını yayılma ihtimaliyeti olup Broll'un makalesinden alınmıştır (Broll, 1986).  $N_{Ki}$ , ilgili enerjideki piklerin net alanları;  $I_0$  numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti;  $G$  geometrik faktör;  $\epsilon_{Ki}$ , K X-ışınlarının enerjisinde dedektör verimi;  $\beta_{Ki}$  soğurma düzeltmesi faktörü;  $\omega_K$ , K tabakasının deneysel fluoresans verimi ve  $t_i$  ( $\text{g.cm}^{-1}$ ) numunenin kalınlığıdır.

K kabuğu seviye genişlikleri ile  $K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\alpha 2}$  çizgi genişlikleri yarı deneysel olarak denklem 56, 57 ve 58'den hesaplanmıştır.

$$\Gamma_K = \frac{\Gamma_K(R)}{\omega_K} \quad (56)$$

$$\Gamma_{K\alpha_1} = \Gamma_{L_3} + \Gamma_K \quad (57)$$

$$\Gamma_{K\alpha_2} = \Gamma_{L_2} + \Gamma_K \quad (58)$$

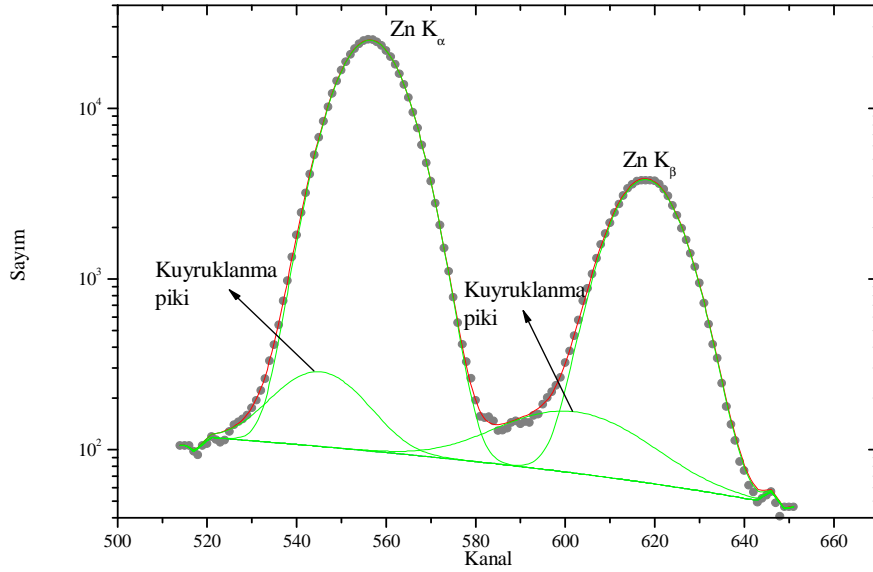
Bu denklemlerde  $\Gamma_K(R)$  ışımali geçiş oranı olup Scofield'in tablo değerleri (Scofield, 1974) kullanılmıştır.  $\omega_K$  fluoresans verim olup hesaplamalarda deneysel değerler kullanılmıştır.  $K_{\alpha_1}$  ve  $K_{\alpha_2}$  çizgi genişlikleri için,  $\Gamma_{L_2}$  ve  $\Gamma_{L_3}$  değerleri Krause ve Oliver'in tablosundan (Krause ve Oliver, 1979) alınmış ve sözü edilen çizgi genişlikleri yarı-deneysel olarak hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

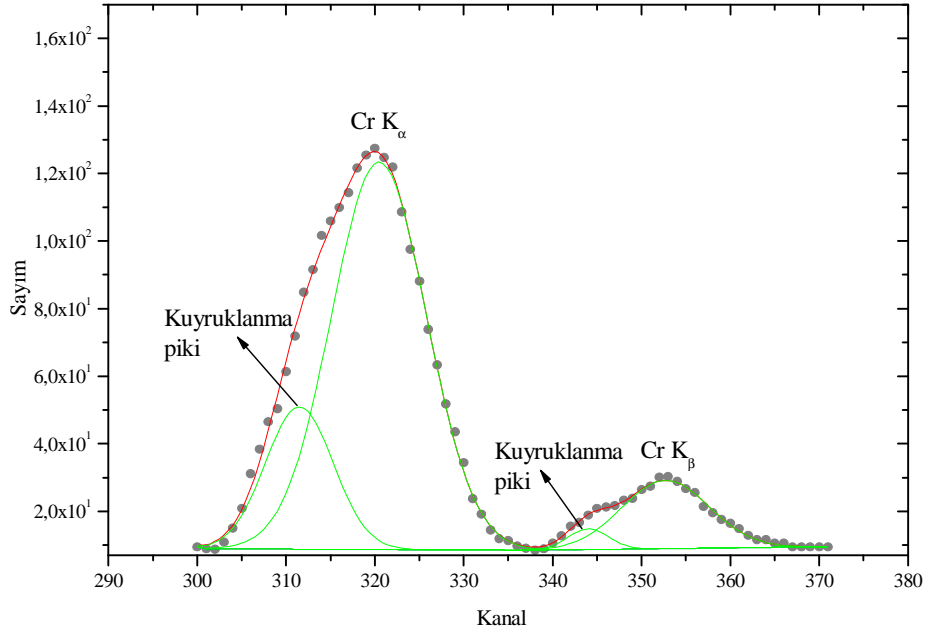
#### 3.1. Numunelerin Uyarılmasıyla Elde Edilen X-Işınları ve Spektrumları

Deneye hazır hale getirilen numunelerin, şiddet oranları, fluoresans tesir kesitleri, fluoresans verimleri ve çizgi genişliklerinin hesaplanması için 59,5 keV enerjili foton yayımlayan 50 mCi'lik  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif halka kaynağından çıkan ışınlarla numuneler uyarılmış ve sayılmışlardır. Numunelerin uyarılması sonucu meydana gelen K X-ışınlarının sayılmasında, yarı maksimumdaki tam genişliği 5,9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü kullanılmıştır.

İki numunedeki Zn ve Cr elementlerinin X-ışını spektrumu Şekil 16 ve 17'de gösterilmiştir.



Şekil 16.  $\text{Zn}_{0,99}\text{Cr}_{0,01}$  alaşımındaki Zn elementine ait K X-ışını spektrumları



Şekil 17.  $Zn_{0,99}Cr_{0,01}$  alaşımındaki Cr elementine ait K X-ışını spektrumları

### 3.2. K X-ışını Şiddet Oranları, Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verim Değerleri

Yapılan çalışmada Zn ve Cr elementleri ve bu elementlerin oluşturduğu bazı alaşımlar için K X-ışını şiddet oranları, floresans tesir kesitleri ve floresans verim değerleri deneysel olarak 59,5 keV enerjili foton yayımlayan  $^{241}Am$  radyoaktif halka kaynağı kullanılarak ölçülmüştür.

Zn ve Cr elementleri ile bu elementlerin oluşturduğu alaşımlar için deneysel olarak bulunan K X-ışını şiddet oranları, floresans verimleri ve floresans tesir kesitleri Tablo 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 ve 25’de teorik değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.60000±0.03061	0.6
30	Zn	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.62425±0.03184	
30	Zn	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.62503±0.03188	
30	Zn	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.62919±0.03209	
30	Zn	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.62639±0.03195	

Tablo 3. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.60000±0.03061	0.6
30	Zn	30	Zn <sub>0.987</sub> Cr <sub>0.013</sub>	0.62073±0.03166	
30	Zn	35	Zn <sub>0.984</sub> Cr <sub>0.016</sub>	0.629±0.03208	
30	Zn	40	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.58642±0.02991	
30	Zn	45	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.6160±0.03142	
30	Zn	50	Zn <sub>0.991</sub> Cr <sub>0.009</sub>	0.62276±0.03176	

Tablo 4. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin (gr/lit)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.60000±0.03061	0.6
30	Zn	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.57864±0.02951	
30	Zn	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.57182±0.02916	
30	Zn	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.57086±0.02911	



Tablo 5. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.179±0.009	0.179
24	Cr	2	Zn <sub>0,985</sub> Cr <sub>0,015</sub>	0.17129±0.00874	
24	Cr	2.5	Zn <sub>0,989</sub> Cr <sub>0,011</sub>	0.17252±0.00880	
24	Cr	3	Zn <sub>0,982</sub> Cr <sub>0,018</sub>	0.18651±0.00951	
24	Cr	3.5	Zn <sub>0,993</sub> Cr <sub>0,007</sub>	0.18449±0.00941	

Tablo 6. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K_{\alpha}}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.179±0.009	0.179
24	Cr	30	Zn <sub>0,987</sub> Cr <sub>0,013</sub>	0.17438±0.00890	
24	Cr	35	Zn <sub>0,984</sub> Cr <sub>0,016</sub>	0.17024±0.00868	
24	Cr	40	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	0.17062±0.00870	
24	Cr	45	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	0.182±0.00928	
24	Cr	50	Zn <sub>0,991</sub> Cr <sub>0,009</sub>	0.18031±0.00920	

Tablo 7. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin (gr/lit)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\alpha}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\alpha}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.179±0.009	0.179
24	Cr	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.17099±0.00872	
24	Cr	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.17460±0.00891	
24	Cr	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.18711±0.00954	

Tablo 8. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.07200±0.00367	0.0741
30	Zn	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.08961±0.00457	
30	Zn	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.08743±0.00446	
30	Zn	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.0915±0.00467	
30	Zn	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.08246±0.00421	

Tablo 9. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.07200±0.00367	0.0741
30	Zn	30	Zn <sub>0.987</sub> Cr <sub>0.013</sub>	0.08856±0.00452	
30	Zn	35	Zn <sub>0.984</sub> Cr <sub>0.016</sub>	0.09074±0.00463	
30	Zn	40	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.08615±0.00439	
30	Zn	45	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.0851±0.00434	
30	Zn	50	Zn <sub>0.991</sub> Cr <sub>0.009</sub>	0.08433±0.00430	

Tablo 10. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin (gr/l)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
30	Zn		Zn	0.07200±0.00367	0.0741
30	Zn	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.09444±0.00481	
30	Zn	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.09534±0.00486	
30	Zn	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.09318±0.00475	

Tablo 11. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.0210±0.0011	0.021
24	Cr	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.01432±0.00073	
24	Cr	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.01355±0.00069	
24	Cr	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.01491±0.00076	
24	Cr	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.01673±0.00085	

Tablo 12. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.0210±0.0011	0.021
24	Cr	30	Zn <sub>0.987</sub> Cr <sub>0.013</sub>	0.01466±0.00075	
24	Cr	35	Zn <sub>0.984</sub> Cr <sub>0.016</sub>	0.01390±0.00071	
24	Cr	40	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.01546±0.00079	
24	Cr	45	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.01420±0.00072	
24	Cr	50	Zn <sub>0.991</sub> Cr <sub>0.009</sub>	0.01606±0.00082	

Tablo 13. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin (gr/lt)	Kimyasal Formülü	$\sigma_{K\beta}$ Deneysel (gr/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{K\beta}$ Teorik (gr/cm <sup>2</sup> )
24	Cr		Cr	0.0210±0.0011	0.021
24	Cr	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.01218±0.00062	
24	Cr	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.01177±0.00600	
24	Cr	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.01290±0.00066	

Tablo 14. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom )	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
30	Zn		Zn	0.48500±0.02473	0.486
30	Zn	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.51438±0.02623	
30	Zn	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.51337±0.02618	
30	Zn	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.51931±0.02648	
30	Zn	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.51077±0.02605	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 15. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom)	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
30	Zn		Zn	0.48500±0.02473	0.486
30	Zn	30	Zn <sub>0.987</sub> Cr <sub>0.013</sub>	0.51109±0.02606	
30	Zn	35	Zn <sub>0.984</sub> Cr <sub>0.016</sub>	0.51862±0.02645	
30	Zn	40	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.48463±0.024716	
30	Zn	45	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.50519±0.02576	
30	Zn	50	Zn <sub>0.991</sub> Cr <sub>0.009</sub>	0.50950±0.02598	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 16. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom)	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
30	Zn		Zn	0.48500±0.02473	0.486
30	Zn	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.485±0.02473	
30	Zn	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.48073±0.02452	
30	Zn	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.47848±0.02440	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 17. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom )	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
24	Cr		Cr	0.28855±0.01471	0.288
24	Cr	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.26778±0.01365	
24	Cr	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.27042±0.01379	
24	Cr	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.28864±0.01472	
24	Cr	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.29032±0.01481	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 18. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom )	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
24	Cr		Cr	0.28855±0.01471	0.288
24	Cr	30	Zn <sub>0.987</sub> Cr <sub>0.013</sub>	0.27274±0.01390	
24	Cr	35	Zn <sub>0.984</sub> Cr <sub>0.016</sub>	0.26567±0.01354	
24	Cr	40	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.26846±0.01369	
24	Cr	45	Zn <sub>0.99</sub> Cr <sub>0.01</sub>	0.28307±0.01444	
24	Cr	50	Zn <sub>0.991</sub> Cr <sub>0.009</sub>	0.28332±0.01445	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 19. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının fluoresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$\omega_K$ Deneysel (barns/atom)	$\omega_K$ Teorik* (barns/atom)
24	Cr		Cr	0.28855±0.01471	0.288
24	Cr	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	0.26426±0.01347	
24	Cr	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	0.26888±0.01371	
24	Cr	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.28857±0.01471	

Teorik\* (Krause, 1979)

Tablo 20. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_\beta/K_\alpha$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$K_\beta/K_\alpha$ Deneysel	$K_\beta/K_\alpha$ Teorik*
30	Zn		Zn	0.1200±0.00612	0.1410
30	Zn	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	0.14355±0.00732	
30	Zn	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	0.13988±0.00713	
30	Zn	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	0.14543±0.00741	
30	Zn	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	0.13164±0.00671	

Teorik\* (Scofield, 1974)

Tablo 21. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Deneysel	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Teorik*
30	Zn		Zn	0.1200±0.00612	0.1410
30	Zn	30	$Zn_{0.987}Cr_{0.013}$	0.14267±0.00727	
30	Zn	35	$Zn_{0.984}Cr_{0.016}$	0.14426±0.00735	
30	Zn	40	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	0.14692±0.00749	
30	Zn	45	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	0.13815±0.00704	
30	Zn	50	$Zn_{0.991}Cr_{0.009}$	0.13541±0.00690	

Teorik\* (Scofield, 1974)

Tablo 22. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Deneysel	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Teorik*
30	Zn		Zn	0.1200±0.00612	0.1410
30	Zn	0.004	$Zn_{0.975}Cr_{0.025}$	0.16321±0.00832	
30	Zn	0.008	$Zn_{0.97}Cr_{0.03}$	0.16673±0.00849	
30	Zn	0.012	$Zn_{0.98}Cr_{0.02}$	0.16322±0.00832	

Teorik\* (Scofield, 1974)



Tablo 23. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ DeneySEL	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Teorik*
24	Cr		Cr	0.1173±0.00598	0.1153
24	Cr	2	$Zn_{0.985}Cr_{0.015}$	0.08362±0.00426	
24	Cr	2.5	$Zn_{0.989}Cr_{0.011}$	0.08643±0.00441	
24	Cr	3	$Zn_{0.982}Cr_{0.018}$	0.07266±0.00370	
24	Cr	3.5	$Zn_{0.993}Cr_{0.007}$	0.09071±0.00462	

Teorik\* (Scofield, 1974)

Tablo 24. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ DeneySEL	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Teorik*
24	Cr		Cr	0.1173±0.00598	0.1153
24	Cr	30	$Zn_{0.987}Cr_{0.013}$	0.08409±0.00482	
24	Cr	35	$Zn_{0.984}Cr_{0.016}$	0.08168±0.00416	
24	Cr	40	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	0.09059±0.00462	
24	Cr	45	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	0.07802±0.00398	
24	Cr	50	$Zn_{0.991}Cr_{0.009}$	0.08908±0.00454	

Teorik\* (Scofield, 1974)

Tablo 25. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  şiddet oranı değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Deneysel	$K_{\beta}/K_{\alpha}$ Teorik*
24	Cr		Cr	0.1173±0.00598	0.1153
24	Cr	0.004	$Zn_{0.975}Cr_{0.025}$	0.07123±0.00363	
24	Cr	0.008	$Zn_{0.97}Cr_{0.03}$	0.06739±0.00343	
24	Cr	0.012	$Zn_{0.98}Cr_{0.02}$	0.06895±0.00351	

Teorik\* (Scofield, 1974)

### 3.3. K Kabuğu Seviye Genişlikleri, $K_{\alpha 1}$ ve $K_{\alpha 2}$ Çizgi Genişlikleri

Tablo 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 ve 43'de Zn ve Cr elementlerinin ve meydana getirdiği alaşımlarının K kabuğu seviye genişlikleri ile  $K_{\alpha 1}$  ve  $K_{\alpha 2}$  çizgi genişlikleri yarı-deneysel olarak hesaplanmış ve elde edilen değerler teorik değerlerle karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Tablo 26. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik*
30	Zn		Zn	1.540±0.078	1.670
30	Zn	2	$Zn_{0.985}Cr_{0.015}$	1.452±0.074	
30	Zn	2.5	$Zn_{0.989}Cr_{0.011}$	1.455±0.074	
30	Zn	3	$Zn_{0.982}Cr_{0.018}$	1.438±0.073	
30	Zn	3.5	$Zn_{0.993}Cr_{0.007}$	1.462±0.074	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 27. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik*
30	Zn		Zn	1.540±0.078	1.670
30	Zn	30	Zn <sub>0,987</sub> Cr <sub>0,013</sub>	1.461±0.074	
30	Zn	35	Zn <sub>0,984</sub> Cr <sub>0,016</sub>	1.440±0.072	
30	Zn	40	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	1.541±0.078	
30	Zn	45	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	1.478±0.075	
30	Zn	50	Zn <sub>0,991</sub> Cr <sub>0,009</sub>	1.466±0.074	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 28. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelâtin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik*
30	Zn		Zn	1.540±0.078	1.670
30	Zn	0.004	Zn <sub>0,975</sub> Cr <sub>0,025</sub>	1.540±0.078	
30	Zn	0.008	Zn <sub>0,97</sub> Cr <sub>0,03</sub>	1.553±0.074	
30	Zn	0.012	Zn <sub>0,98</sub> Cr <sub>0,02</sub>	1.561±0.079	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 29. pH değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha 1}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 1}^*}$ Teorik
30	Zn		Zn	2.190±0.112	2.320
30	Zn	2	Zn <sub>0,985</sub> Cr <sub>0,015</sub>	2.102±0.107	
30	Zn	2.5	Zn <sub>0,989</sub> Cr <sub>0,011</sub>	2.105±0.107	
30	Zn	3	Zn <sub>0,982</sub> Cr <sub>0,018</sub>	2.088±0.105	
30	Zn	3.5	Zn <sub>0,993</sub> Cr <sub>0,007</sub>	2.112±0.108	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 30. Sıcaklık değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha 1}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 1}^*}$ Teorik
30	Zn		Zn	2.190±0.112	2.320
30	Zn	30	Zn <sub>0,987</sub> Cr <sub>0,013</sub>	2.111±0.108	
30	Zn	35	Zn <sub>0,984</sub> Cr <sub>0,016</sub>	2.090±0.106	
30	Zn	40	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	2.191±0.112	
30	Zn	45	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	2.128±0.108	
30	Zn	50	Zn <sub>0,991</sub> Cr <sub>0,009</sub>	2.116±0.108	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 31. Jelatin değişimine göre Zn elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha 1}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 1}^*}$ Teorik
30	Zn		Zn	2.190±0.112	2.320
30	Zn	0.004	$Zn_{0.975}Cr_{0.025}$	2.190±0.112	
30	Zn	0.008	$Zn_{0.97}Cr_{0.03}$	2.203±0.110	
30	Zn	0.012	$Zn_{0.98}Cr_{0.02}$	2.211±0.112	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 32. pH değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha 2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 2}^*}$ Teorik
30	Zn		Zn	2.600±0.132	2.390
30	Zn	2	$Zn_{0.985}Cr_{0.015}$	2.172±0.110	
30	Zn	2.5	$Zn_{0.989}Cr_{0.011}$	2.175±0.111	
30	Zn	3	$Zn_{0.982}Cr_{0.018}$	2.158±0.110	
30	Zn	3.5	$Zn_{0.993}Cr_{0.007}$	2.182±0.111	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 33. Sıcaklık değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha_2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}^*$ Teorik
30	Zn		Zn	2.600±0.132	2.390
30	Zn	30	Zn <sub>0,987</sub> Cr <sub>0,013</sub>	2.181±0.111	
30	Zn	35	Zn <sub>0,984</sub> Cr <sub>0,016</sub>	2.160±0.110	
30	Zn	40	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	2.261±0.115	
30	Zn	45	Zn <sub>0,99</sub> Cr <sub>0,01</sub>	2.198±0.112	
30	Zn	50	Zn <sub>0,991</sub> Cr <sub>0,009</sub>	2.186±0.111	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 34. Jelâtin değişimine Zn elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha_2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelâtin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}^*$ Teorik
30	Zn		Zn	2.600±0.132	2.390
30	Zn	0.004	Zn <sub>0,975</sub> Cr <sub>0,025</sub>	2.260±0.115	
30	Zn	0.008	Zn <sub>0,97</sub> Cr <sub>0,03</sub>	2.273±0.116	
30	Zn	0.012	Zn <sub>0,98</sub> Cr <sub>0,02</sub>	2.281±0.116	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 35. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik *
24	Cr		Cr	0.957±0.048	1.08
24	Cr	2	$Zn_{0.985}Cr_{0.015}$	1.031±0.053	
24	Cr	2.5	$Zn_{0.989}Cr_{0.011}$	1.021±0.052	
24	Cr	3	$Zn_{0.982}Cr_{0.018}$	0.957±0.048	
24	Cr	3.5	$Zn_{0.993}Cr_{0.007}$	0.951±0.048	

Teorik \* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 36. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik *
24	Cr		Cr	0.957±0.048	1.08
24	Cr	30	$Zn_{0.987}Cr_{0.013}$	1.012±0.051	
24	Cr	35	$Zn_{0.984}Cr_{0.016}$	1.039±0.053	
24	Cr	40	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	1.028±0.052	
24	Cr	45	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	0.975±0.049	
24	Cr	50	$Zn_{0.991}Cr_{0.009}$	0.975±0.049	

Teorik \* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 37. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_K$ Yarı Deneysel	$\Gamma_K$ Teorik *
24	Cr		Cr	0.957±0.048	1.08
24	Cr	0.004	Zn <sub>0.975</sub> Cr <sub>0.025</sub>	1.045±0.053	
24	Cr	0.008	Zn <sub>0.97</sub> Cr <sub>0.03</sub>	1.027±0.052	
24	Cr	0.012	Zn <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.02</sub>	0.957±0.048	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 38. pH değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının K<sub>α1</sub> kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha_1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha_1}}$ Teorik *
24	Cr		Cr	1.226±0.062	1.35
24	Cr	2	Zn <sub>0.985</sub> Cr <sub>0.015</sub>	1.301±0.066	
24	Cr	2.5	Zn <sub>0.989</sub> Cr <sub>0.011</sub>	1.291±0.065	
24	Cr	3	Zn <sub>0.982</sub> Cr <sub>0.018</sub>	1.227±0.063	
24	Cr	3.5	Zn <sub>0.993</sub> Cr <sub>0.007</sub>	1.221±0.062	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)



Tablo 39. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha 1}$  kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}^*$ Teorik
24	Cr		Cr	1.226±0.062	1.35
24	Cr	30	$Zn_{0.987}Cr_{0.013}$	1.282±0.065	
24	Cr	35	$Zn_{0.984}Cr_{0.016}$	1.309±0.066	
24	Cr	40	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	1.298±0.066	
24	Cr	45	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	1.245±0.063	
24	Cr	50	$Zn_{0.991}Cr_{0.009}$	1.245±0.063	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 40. Jelatin değişimine göre Cr elementi ve alaşımlarının  $K_{\alpha 1}$  kabuğu seviye genişliklerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelatin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 1}}^*$ Teorik
24	Cr		Cr	1.226±0.062	1.35
24	Cr	0.004	$Zn_{0.975}Cr_{0.025}$	1.315±0.067	
24	Cr	0.008	$Zn_{0.97}Cr_{0.03}$	1.297±0.066	
24	Cr	0.012	$Zn_{0.98}Cr_{0.02}$	1.227±0.063	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 41. pH değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha_2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	pH	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}^*$ Teorik
24	Cr		Cr	1.227±0.062	1.37
24	Cr	2	$Zn_{0.985}Cr_{0.015}$	1.321±0.067	
24	Cr	2.5	$Zn_{0.989}Cr_{0.011}$	1.311±0.066	
24	Cr	3	$Zn_{0.982}Cr_{0.018}$	1.247±0.063	
24	Cr	3.5	$Zn_{0.993}Cr_{0.007}$	1.241±0.063	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 42. Sıcaklık değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha_2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Sıcaklık (°C)	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha_2}}^*$ Teorik
24	Cr		Cr	1.227±0.062	1.37
24	Cr	30	$Zn_{0.987}Cr_{0.013}$	1.302±0.066	
24	Cr	35	$Zn_{0.984}Cr_{0.016}$	1.329±0.067	
24	Cr	40	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	1.318±0.067	
24	Cr	45	$Zn_{0.99}Cr_{0.01}$	1.265±0.064	
24	Cr	50	$Zn_{0.991}Cr_{0.009}$	1.265±0.064	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

Tablo 43. Jelâtin değişimine göre Cr elementi ve bileşiklerinin  $K_{\alpha 2}$  çizgi genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Z	Element	Jelâtin	Kimyasal Formülü	$\Gamma_{K_{\alpha 2}}$ Yarı Deneysel	$\Gamma_{K_{\alpha 2}}^*$ Teorik
24	Cr		Cr	1.227±0.062	1.37
24	Cr	0.004	$Zn_{0.975}Cr_{0.025}$	1.335±0.068	
24	Cr	0.008	$Zn_{0.97}Cr_{0.03}$	1.317±0.067	
24	Cr	0.012	$Zn_{0.98}Cr_{0.02}$	1.247±0.063	

Teorik\* (Krause ve Oliver, 1979)

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Zn ve Cr elementleri ve bu elementlerin çözelti içerisinde ki jelâtin, pH ve sıcaklık parametreleri farklı tutularak üretilen alaşımlarda K kabuğu fluoresans tesir kesitleri, fluoresans verimleri, K X-ışını şiddet oranları ve K kabuğuna ait çizgi genişlikleri üzerine alaşım etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar teorik değerlerle birlikte Tablo 2-43'de verilmiştir.

K kabuğu fluoresans parametreleri alaşımı oluşturan elementlerin konsantrasyonlarına ve oluşum şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu değişikliğe en çok geçiş elementlerinin 3d seviyesinde ki elektron yoğunluğunun artması ya da azalması sebep olmaktadır. Yani alaşımda ki metallere birinin 3d seviyesinden diğer elementin 3d seviyesine elektron geçişi olmaktadır. Bu geçişler sonucunda 3d seviyesinde ki elektron sayısında değişiklik meydana gelmektedir. Elde edilen yeni elektron sayısına göre her bir elementin valans bandı yeniden düzenlenmektedir. Alaşımda, ilgilenilen elementin 3d elektron yoğunluğu yabancı bir atomun varlığından etkilenmektedir. Komşu atomun varlığından dolayı 3d elektron yoğunluğundaki değişim 2p orbitallerinden daha çok 3p orbitallerinin yapısını ve buna bağlı olarak  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-ışını şiddet oranlarını değiştirecektir. Atomik çizgilerin genişliği ve pozisyonu kimyasal yapıyı oluşturan elementlerin bireysel özelliklerinden ( valans, atomların elektronegativitesi, bağ tipi vb.) önemli ölçüde etkilenmektedir. Kimyasal bağ oluşurken yapı içerisinde atomun valans elektron yoğunluğunda değişiklik meydana gelebilir. Valans elektron yoğunluğuna bağlı olarak elektron yoğunluğu artar veya azalır. Ayrıca iç kabuk enerjileri de atomun elektron yoğunluğunda ki değişime kuvvetli şekilde bağlıdır (Cengiz, 2011)

Alaşımları oluşturan elementler metal bağları ile birbirine bağlıdırlar ve valans elektronları kristal yapı boyunca serbestçe hareket eder. Metal bağlarının oluşumunda metallere valans bantları birbiriyle örtüşür ancak alaşımları oluşturan metallere az da olsa elektronegatiflik farkı vardır ve bu tür metalik bağlar kovalent karaktere sahiptir. Elektronegatiflik değerleri birbirinden farklı olan iki geçiş elementi bir alaşım oluşturduğunda 3d bandının elektron yoğunluğundaki değişim elektron transferi mekanizmasıyla açıklanabilir. Yük transferi genellikle elektronegatifliği küçük olan elementten büyük olan elemente doğru olmaktadır ve bu şekildeki yük transferi alaşımdaki her bir elementin şiddet oranlarını saf metal değerlerine göre farklı yönde değiştirecektir.

Alaşımında elektronegatifliği büyük olan elemente, diğer yabancı elementten 3d elektronları transfer edildiğinde, elektronegatifliği büyük olan elementin 3d elektronları üzerine perdelenme etkisi artacağından dış elektronların bağlanma enerjisi azalır ve bu durum geçiş oranlarını etkiler. Benzer şekilde valans elektronlarının bir kısmını komşu yabancı atoma veren ve elektronegatifliği daha düşük olan elementin 3d elektronları daha az perdeleneyeceğinden dolayı çekirdeğin etkin yükünü daha fazla hissedecek ve bu valans elektronlarının bağlanma enerjisi artacaktır. Valans elektronlarının bağlanma enerjisindeki değişim böylece X-ışını geçişlerini ve buna paralel olarak karakteristik X-ışını oranlarını ve floresans verimlerini etkileyecektir. Bundan başka  $K_{\alpha}$  X-ışını pikleri 2p-1s seviyeleri arasındaki geçişlerden,  $K_{\beta}$  X-ışını pikleri ise 3d-1s seviyeleri arasındaki geçişlerden ortaya çıkar. Geçiş elementlerinde valans bandı 3d4s seviyelerinden oluşmaktadır ve alaşım etkisi en çok  $K_{\beta}$  geçişlerini etkilemektedir. (Aylıkçı, 2009)

Tablo 11 ve 8’de pH değişimi ile verilen Cr elementinin saf metal haline göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $Zn_{0.985}Cr_{0.015}$  alaşımında %31.7,  $Zn_{0.989}Cr_{0.011}$  alaşımında %28.9,  $Zn_{0.982}Cr_{0.018}$  alaşımında %35.3 ve  $Zn_{0.993}Cr_{0.017}$  alaşımında %20.2 azalma gözlenirken Zn elementi için saf metal halina göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $Zn_{0.985}Cr_{0.015}$  alaşımında %20.8,  $Zn_{0.989}Cr_{0.011}$  alaşımında %17.8,  $Zn_{0.982}Cr_{0.018}$  alaşımında %23.3 ve  $Zn_{0.993}Cr_{0.017}$  alaşımında %14,1 artış gözlenmiştir. Banyo çözeltisi içerisinde metallerin depolanmasına yardımcı olan  $H^{+}$  ve  $OH^{-}$  iyonları çözeltinin asitlik derecesini değiştirmektedir. Ortamın değişen asitlik ölçüsü anot ve katot üzerinde akım iletimini etkilemektedir. Bu da numune konsantrasyonlarını değiştirmektedir. pH değerleri arttıkça numunelerde ki Zn konsantrasyonu artmaktadır sadece pH değeri 3 olan numune için bir azalma gözlenmiştir. Zn ve Cr konsantrasyonunun numunelerde değişen pH değerleri ile farklı oranda olması dış kabuk elektronlarının dağılımında ve bu elektronların bağlanma enerjilerinde değişiklik oluşturmaktadır.

Tablo 12 ve 9’da sıcaklık değişimi ile verilen Cr elementinin saf metal haline göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $Zn_{0.987}Cr_{0.013}$  alaşımında %30,  $Zn_{0.984}Cr_{0.016}$  alaşımında %33.7,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  alaşımında %26.3,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  alaşımında %32.2 ve  $Zn_{0.991}Cr_{0.009}$  alaşımında %22.7 azalma gözlenirken Zn elementi için saf metal halina göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $Zn_{0.987}Cr_{0.013}$  alaşımında %19.4,  $Zn_{0.984}Cr_{0.016}$  alaşımında %22.3,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  alaşımında %16.1,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  alaşımında %9.4 ve  $Zn_{0.991}Cr_{0.009}$  alaşımında %13.7 artış gözlenmiştir. Burada banyo sıcaklığının artırılması ile Zn-Cr alaşımlarında depolanan Zn konsantrasyonu artarken Cr konsantrasyonu düşmektedir. 35 °C ve 45 °C ‘deki numuneler bu durumun

dışındadır. Zn ve Cr elementlerinin  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde ki değişim numunelerde ki Zn ve Cr konsantrasyonunda ki değişime paraleldir.  $40^{\circ}\text{C}$ 'de üretilen numuneden sonra sıcaklık  $5^{\circ}\text{C}$  artırılmasına rağmen Zn ve Cr konsantrasyonunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Burada tablo 12 ve 9 dikkatli bir şekilde incelendiğinde Zn ve Cr'un  $K_{\beta}$  tesir kesitleri teorik değere göre artma ve azalma gösterirken kendisinden önceki numunenin  $K_{\beta}$  tesir kesiti değerlerine göre hem Zn da hem de Cr da bir azalma gözlenmektedir. Bu beklenmeyen durum kristal yapıda atomlar arası etkileşimle açıklanabilir. Atomlar arası yük transferi sadece elektronegativite farkından değil aynı zamanda kristal yapı içerisinde ki komşu atomların birbirlerine olan mesafesi ile de doğrudan ilişkilidir (Cole, 1973). Başka bir deyişle elementlerin valans bandı elektronlarının sayısı ve dizilimi bu mesafe ile alakalıdır. Yük transferinin atomlar arası uzaklığa bağlı olması elektronların bağlanma enerjilerinde etkilemektedir. Bu da bağın yapısına katkı da bulunmaktadır. Sıcaklık artışına göre alaşımlarda Zn ve Cr atomlarının büyüklükleri giderek artmaktadır. Artan atom çapları ile Zn ve Cr elementlerinin arasında ki atomik mesafe azalmaktadır. (SEM fotoğrafları, Şerifoğlu, 2009). Her ne kadar Zn ve Cr elementleri metalik bağ ile alaşımı oluştursa bile kovalent bağ da yapı içerisinde bulunmaktadır. Alaşımlar ve kimyasal bileşiklerde bağın tamamının (%100) kovalent ya da metalik olması söz konusu değildir. Alaşımlarda metalik bağın yanında kovalent karakterde yerini alır ancak bu durum bağın bir kısmında ortaya çıkmaktadır (Wang, 2005). Tablo 12 ve 9'da ki Zn ve Cr elementlerinin bir önceki numuneye göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde ki azalma her ikisinin de elektron verdiği yönündedir. Yani bir miktar elektron her iki tarafından kullanılmaktadır. Bu da metalik bağda kovalent karakterin olduğunun göstergesidir.

Tablo 13 ve 10'de jelatin değişimi ile verilen Cr elementinin saf metal haline göre  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $\text{Zn}_{0.975}\text{Cr}_{0.025}$  alaşımında %41.9,  $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}$  alaşımında %43.9 ve  $\text{Zn}_{0.98}\text{Cr}_{0.02}$  alaşımında %38.4 azalma gözlenirken Zn elementi için saf metal haline  $K_{\beta}$  tesir kesitlerinde  $\text{Zn}_{0.975}\text{Cr}_{0.025}$  alaşımında %27.3,  $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}$  alaşımında %28.5 ve  $\text{Zn}_{0.98}\text{Cr}_{0.02}$  alaşımında %25.6 artış gözlenmiştir. Jelatin miktarında ki artış Zn-Cr alaşımlarında 0.008 (gr/lt) jelatin miktarı ile oluşturulan numune hariç konsantrasyonla doğru orantılı olarak değişmektedir. Zn ve Cr konsantrasyonlarında ki değişim  $K_{\beta}$  tesir kesitleri ile paralellik göstermektedir.

Bu değişimler K X-ışını şiddetindeki değişimlere paralel olarak, Zn elementinden Cr elementine olan elektron transferi mekanizmasıyla açıklanabilir. Zn elementinden Cr

elementine valans elektronlarının transferi, Cr elementinin 3d4s elektronları üzerine perdeleme etkisini artırırken Zn elementinin 3d4s elektronları üzerine perdeleme etkisi azalır. Böylece Cr elementinin valans elektronlarının bulunduğu kabuktaki bağlanma enerjileri azalacak fakat Zn elementine ait valans elektronlarının bağlanma enerjileri artacaktır. Bağlanma enerjilerindeki azalma ışımaz geçiş ihtimaliyetlerini artırırken bağlanma enerjilerindeki artma X-ışını geçişlerinin ihtimaliyetlerini artırır. Bu nedenlerden dolayı alaşımlardaki Cr elementinin  $K_{\beta}$  üretim tesir kesitlerinde saf metal durumuna göre belirli bir miktar azalma gözlenirken, Zn elementine ait  $K_{\beta}$  üretim tesir kesitlerinde belirli bir miktar artma gözlenmiştir.

Tablo 6-11’de pH, sıcaklık ve jelâtin değişimine göre verilen Zn ve Cr elementlerinin  $K_{\alpha}$  tesir kesitlerinde ki değişim miktarı %5’den daha küçük olduğu için deneysel hata sınırları içerisinde kalmaktadır ve  $K_{\alpha}$  tesir kesiti değerleri alaşım etkisinden etkilenmemiştir.

Zn elementinin K X-ışını şiddet oranları saf elemente göre tablo 20’de pH değişimine göre  $Zn_{0.985}Cr_{0.015}$ ,  $Zn_{0.989}Cr_{0.011}$ ,  $Zn_{0.982}Cr_{0.018}$  ve  $Zn_{0.993}Cr_{0.017}$  alaşımlarında sırasıyla %15.7, %12.7, %17.2 ve %6.1, tablo 21’de sıcaklık değişimine göre  $Zn_{0.987}Cr_{0.013}$ ,  $Zn_{0.984}Cr_{0.016}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  ve  $Zn_{0.991}Cr_{0.009}$  alaşımlarında sırasıyla %15, %16.2, %18.4, %11.3 ve %9.1, tablo 22’de jelatin değişimine göre  $Zn_{0.975}Cr_{0.025}$ ,  $Zn_{0.97}Cr_{0.03}$  ve  $Zn_{0.98}Cr_{0.02}$  alaşımlarında sırasıyla %31.5, %34.4 ve %31.5 artma gözlenmiştir. Cr elementinin K x-ışını şiddet oranları saf elemente göre tablo 23’de pH değişimine göre  $Zn_{0.985}Cr_{0.015}$ ,  $Zn_{0.989}Cr_{0.011}$ ,  $Zn_{0.982}Cr_{0.018}$  ve  $Zn_{0.993}Cr_{0.017}$  alaşımlarında sırasıyla %27.5, %25, %37 ve %21.3, tablo 24’de sıcaklık değişimine göre  $Zn_{0.987}Cr_{0.013}$ ,  $Zn_{0.984}Cr_{0.016}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$  ve  $Zn_{0.991}Cr_{0.009}$  alaşımlarında sırasıyla %27.1, %29.2, %21.4, %32.3 ve %22.7, tablo 25’de jelatin değişimine göre  $Zn_{0.975}Cr_{0.025}$ ,  $Zn_{0.97}Cr_{0.03}$  ve  $Zn_{0.98}Cr_{0.02}$  alaşımlarında sırasıyla %38.2, %41.6 ve %40.2 azalma gözlenmiştir. Elektron yoğunluğundaki artış, çekirdeğin perdelenmesini artıracığı için elektronların kabuğa bağlanma enerjisi azalır fakat elektron yoğunluğundaki azalış etkin çekirdek yükünün artmasına yol açacağından elektronların kabuğa bağlanma enerjisi artacaktır. Bağlanma enerjisindeki değişim X-ışınları şiddetini etkileyeceği için, alaşımdaki herhangi bir elemente ait X-ışını şiddetinde saf metale göre gözlenen farklılıklar geçiş elementlerinin valans elektronik yapısı hakkında önemli bilgiler verir. Tüm alaşımlarda Cr elementinin şiddet oranlarındaki azalışa karşılık Zn elementindeki şiddet oranlarındaki artışın gözlenmesi, bir elementten diğerine olan 3d elektronlarının transferi ile açıklanabilir.

Çünkü Cr elementinin elektronegatifliği Zn elementinin elektronegatifliğinden büyüktür ve 3d elektronları Zn elementinden Cr elementine doğru olur. Bu şekilde 3d elektronlarını alan Cr elementinin valans elektronları üzerine perdeleme etkisi artacağından, valans elektronları kabuğa daha gevşek bağlı olur ve dış tabakalar dış seviyelere doğru kayar. Elektron veren Zn elementinde ise valans elektronlarının perdelenmesi azalır ve seviyeler çekirdeğe doğru yaklaşır. Bu durumda Zn elementinin K X-ışını şiddet oranı saf metal haline göre artarken, Cr elementinde K X-ışını şiddeti saf metal haline göre azalmaktadır.

Elektron yoğunluğundaki artış, çekirdeğin perdelenmesini artıracığı için elektronların kabuğa bağlanma enerjisi azalır fakat elektron yoğunluğundaki azalış etkin çekirdek yükünün artmasına yol açacağından elektronların kabuğa bağlanma enerjisi artacaktır. Bağlanma enerjisindeki değişim X-ışınları şiddetini etkileyeceği için, alaşımdaki herhangi bir elemente ait X-ışını şiddetinde saf metale göre gözlenen farklılıklar geçiş elementlerinin valans elektronik yapısı hakkında önemli bilgiler verir. Tüm alaşımlarda Cr elementinin şiddet oranlarındaki azalışa karşılık Zn elementindeki şiddet oranlarındaki artışın gözlenmesi, bir elementten diğerine olan 3d elektronlarının transferi ile açıklanabilir. Çünkü Cr elementinin elektronegatifliği Zn elementinin elektronegatifliğinden büyüktür ve 3d elektronları Zn elementinden Cr elementine doğru olur. Bu şekilde 3d elektronlarını alan Cr elementinin valans elektronları üzerine perdeleme etkisi artacağından, valans elektronları kabuğa daha gevşek bağlı olur ve dış tabakalar dış seviyelere doğru kayar. Elektron veren Zn elementinde ise valans elektronlarının perdelenmesi azalır ve seviyeler çekirdeğe doğru yaklaşır. Bu durumda Zn elementinin K X-ışını şiddet oranı saf metal haline göre artarken, Cr elementinde K X-ışını şiddeti saf metal haline göre azalmaktadır.

Floresans verim değerlerine bakıldığı zaman mevcut değerlerle teorik değerler arasında sapmalar gözlemlenmektedir. Bu sapmaların en önemli sebeplerinden biri eşitlik (55)'den anlaşılacağı gibi floresans verim değerlerini hesaplarken tesir kesiti değerlerini kullanmaktır. Dolayısı ile tesir kesitlerinden kaynaklanan hatalar floresans verimde de gözlemlenmektedir. Bu yüzden benzer açıklamalar floresans verim değerleri içinde yapılabilir. Çünkü pH, sıcaklık ve jeletin değişimine göre üretilmiş Zn-Cr alaşımlarında ki Cr elementinin floresans verim değerleri saf elemente göre  $Zn_{0.985}Cr_{0.015}$ ,  $Zn_{0.989}Cr_{0.011}$ ,  $Zn_{0.982}Cr_{0.018}$ ,  $Zn_{0.993}Cr_{0.017}$ ,  $Zn_{0.987}Cr_{0.013}$ ,  $Zn_{0.984}Cr_{0.016}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$ ,  $Zn_{0.99}Cr_{0.01}$ ,  $Zn_{0.991}Cr_{0.009}$ ,  $Zn_{0.975}Cr_{0.025}$ ,  $Zn_{0.97}Cr_{0.03}$  ve  $Zn_{0.98}Cr_{0.02}$  alaşımlarında sırasıyla %7, %6.1, %0.2, %0.8, %5.3, %7.8, %6.8, %1.7 %1.6, %8.2, %6.6 ve %0.2 azalma göstermiştir. Aynı



numuneler için Zn elementinin floresans verim değerleri saf metale göre %5.8, %5.6, %6.9, %5.1, %5.2, %6.7, %0.3, %3.9, %4.8, %0.2, %1.1 ve %4.5 artma göstermektedir. Değişim oranlarının büyük bir kısmı deneysel hata sınırları içerisinde kalmaktadır. Deneysel hata sınırları içerisinde kalmayıp az da olsa farklı çıkan değerler için yukarıda ki açıklamalar geçerlidir.

K kabuğu seviye genişlikleri ve K X-ışını çizgi genişliklerindeki değişim ışımaz geçişlerdeki değişimle açıklanmaktadır. Elektron transferi ya da valans bandının yeniden düzenlenmesi sonucu valans elektronlarının perdelenmesindeki artış elektronların kabuğa bağlanma enerjilerini azaltacağından Coster-Kronig, süper Coster-Kronig ve Auger olayı gibi ışımaz geçişlerin gerçekleşme ihtimaliyeti artar. Işımaz geçişler herhangi bir iç seviyede oluşturulan boşluğun yaşam süresini kısaltır. Yaşam süresindeki kısalma boşluğun bulunduğu seviyenin ve o seviyeye ait X-ışını pikinin çizgi genişliğinde bir artışa neden olur. Ancak K kabuğu seviye genişlikleri ve K X-ışını çizgi genişliklerindeki değişim de deneysel hata sınırları içinde olduğundan, alaşım etkisinin çizgi genişliklerini ve K kabuğu seviye genişliklerini değiştirmedeği şeklinde bir açıklama yapılabilir.

Bu çalışmada alaşımlarda bulunun geçiş elementlerinin valans bandının elektron yoğunluğunun değişimini sadece elektron transferi mekanizmasıyla açıklanması yeterli değildir. Çünkü elektronegatifliği Zn elementinden büyük olan Cr elementi, Zn elementinin valans elektronlarını kendine çekmesinin yanında aynı zamanda Zn elementinin valans elektronik yapısını bozar. Yani bir elementte hem yük transferi hem de valans bandının yeniden düzenlenmesi mekanizmaları aynı anda gerçekleşebilir. Fakat yeniden düzenlenme mekanizması, X-ışını floresans parametreleri üzerine belirgin bir etkiye neden olmamaktadır. Bunun sebebi alaşımdaki geçiş elementlerinin her birinin 3d ile 4s valans elektronik durumlarına ait dalga fonksiyonlarının hibritleşmesi ve yeniden düzenlenme mekanizmasınının 3p durumu üzerine perdelemeyi değiştirmemesidir.

Geçiş elementlerinin en önemli özelliklerinden birisi manyetik özelliklere sahip olmasıdır. Bu tür elementlerinin manyetik özelliklere sahip olmasının nedeni tamamlanmamış 3d enerji seviyeleridir. Eğer 3d seviyesinde elektron yoğunluğu değişirse bu elementlerin manyetik özellikleri de değişecektir. Manyetik özelliklerdeki değişim, atomun dış enerji seviyelerini etkileyebilir ve dış enerji seviyelerindeki değişim X-ışını geçişlerini etkiler.

Alaşımlarda dış kabukta bulunan elektronlar elektrostatik olarak komşu iyonlar ile güçlü bir şekilde etkileşir ve yörünge hareketi kaybolur. Aynı zamanda bu etki de dış

kabuk elektronlarının bağlanma enerjilerini değiştirebilir ve bağlanma enerjilerindeki değişim Auger ile X-ışını geçişlerini etkiler (Büyükkasap, 1997).

Çalışmamızda tüm hatanın yaklaşık olarak olarak %6 olduğu hesaplandı. Bu hata, K floresans parametreleri hesaplamak için kullanılan parametrelerdeki belirsizliklerin kuadratik toplamına eşittir. Bu parametrelerin nereden geldiği ve miktarları Tablo 44'de verilmiştir.

Tablo 44. Deneysel hata kaynağı ve miktarları

Nicelik	Hatanın kaynağı	Hata (%)
$N(K_i)$ ( $i=\alpha, \beta$ )	Pik Sayımı	$\leq 3$
$I_0 G \epsilon_{K_i}$	İfadede bulunan parametrelerden gelen hata	$\leq 2$
$\beta$	Saçılan ve soğurulan foton enerjisinde soğurma düzeltme hatası	$\leq 3$
t	Numune ağırlığı ve kalınlığından gelen hatalar	$\leq 2$

## 5. ÖNERİLER

Bu tezde <sup>241</sup>Am radyoizotop kaynağı kullanılarak Cr ve Zn elementlerinin pH, sıcaklık ve jelâtin miktarları farklı tutularak oluşturulan alaşımların K tabakalarının uyarılmasıyla K tabakası fluoresans tesir kesiti, verimi, K X-ışını şiddet oranı ve K seviyesine ait çizgi genişlikleri deneysel ve teorik olarak ölçülmüş ve bu parametreler üzerine alaşım etkisi araştırılmıştır.

Aynı radyoizotop kaynak kullanılarak farklı elementlerin elektrokimyasal depolama tekniği veya diğer alaşım oluşturma teknikleri içerisinde ki oluşum parametreleri (sıcaklık, pH, jelatin, akım ve çalışma potansiyeli ) farklı tutularak değişik konsantrasyonlarında ki alaşımları için K tabakası fluoresans tesir kesiti, verimi, K X-ışını şiddet oranı ve K seviyesine ait çizgi genişlikleri deneysel ve teorik olarak ölçülebilir. Farklı enerjiye sahip radyoizotop kaynaklar kullanılarak bu parametrelerin enerjiye bağıllığı incelenebilir. Bunun yanı sıra aynı alaşımlar için K tabakasına ait boşluk geçiş ihtimaliyeti üzerine alaşım etkisi çalışılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Allison K.S., 1933. The Natural Widths of the K X-ray Doublet from 26Fe to 47Ag, Physical Review, 44, 63-172.
- Agarwal, B.K., 1979. X-ray Spectroscopy: An Introduction, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- Apaydın, G., 2006.  $65 \leq Z \leq 92$  Bölgesinde Bazı Elementlerin K ve L X-Işını Floresans Parametrelerinin Ölçülmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aylıkçı Küp, N., 2009. Zn ve Co Elementlerinin Oluşturduğu Alaşımların X-Işını Floresans Parametreleri Üzerine Alaşım Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- 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.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ., Aylıkçı, V., Cengiz, E ve Apaydın, G., 2009. Alloying effect on X-ray fluorescence parameters and radiative Auger ratios of Co and Zn in  $Zn_xCo_{1-x}$  alloys, Chemical Physics Letters, 484, 368-373.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ., Aylıkçı, V., Eşkil, M., ve Cengiz, E., 2010. Alloying effect on K X-ray intensity ratios, K X-ray production cross-sections and radiative Auger ratios in superalloys constitute from Al, Ni and Mo elements, Chemical Physics, 377, 100-108.
- Aylıkçı Küp, N., Aylıkçı, Kahoul, A., V., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ. ve Cengiz, E., 2011. Effect of pH treatment on K-shell intensity ratios and K-shell x-ray production cross sections in ZnCo alloys Physical Review A, 84, 042509.
- Aylıkçı, V., 2006. Hf Elementi Bileşiklerinin X-Işını Floresans Parametreleri Üzerine Kimyasal Etki, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aylıkçı, V., 2012. Bazı Elementlerin Bileşiklerinin K ve M X-Işını Floresans Parametreleri Üzerine Kimyasal Etki, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bambynek, W., Crasemann, B., Fink, R.W., Freund, H.-U., Mark, H., Swift, C.D., Price, R.E. ve Rao, P.V., 1972. X-Ray Fluorescence Yields, Auger and Coster-Kronig Transition Probabilities, Reviews of Modern Physics, 44, 716-812.
- Baptista, G.B., 2000. KMM Radiative Auger Transition Probability Calculations for Ca, Ti and Cr, Journal of Physics B, 34, 389-404.
- Beling, J.K., Newton, J.O. ve Rose, B., 1952. The Decay of  $^{241}\text{Am}$ , Physical Review, 87, 670-671.
- Berger, M. J., Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., Coursey, J. S. ve Zucker, D. S., 1998. XCOM: Photon Cross Sections Database, NIST Standart Reference Database, 8, (XGAM)

- Bhuinya, C.R. ve Padhi, H.C., 1992. Alloying Effect on the  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-Ray Intensity Ratios of Ti, Cr and Ni, Journal of Physics B, 25, 5283-5287.
- Bhuinya, C.R. ve Padhi, H.C., 1992. Alloying Effect on  $K_{\beta}$ -to- $K_{\alpha}$  Intensity Ratios in  $Ti_xNi_{1-x}$  and  $Cr_xNi_{1-x}$  Alloys Studied by  $\gamma$ -ray Fluorescence and Fast Proton Ionization, Physical Review A, 47, 4885-4890.
- Broll, N., 1986. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis, X-Ray Spect., 15, 271-285.
- Büyükkasap, E., 1997. Alloying Effect on K Shell Fluorescence Yield in  $Cr_xNi_{1-x}$  and  $Cr_xAl_{1-x}$  Alloys, Spectrochimica Acta Part B, 53, 499-503.
- Cengiz, E., 2011. 3. Sıra Geçiş Elementi Bileşiklerinin K ve L X-Işını Floresans Parametreleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cipolla, S.J., 1999. K X-ray Production Cross Sections,  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  Ratios and Radiative Auger Ratios for Protons Impacting Low-Z Elements, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 422, 546-550.
- Cole, J. R., Brooks, J. N. and Weightman, P., 1973. Phys. Rev. B 56, 19.
- Cooper, J.N., 1943. Auger Transitions and Widths of X-Ray Energy Levels, Physical Review, 65, 155-161.
- Debertin, K. ve Helmer, R. G., 1988. Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, Elsevier Science Publishes, New York, U.S.A., 1-100.
- Friedman, R.M., Hudis, J. ve Perlman, L., 1972. Chemical Effects on Linewidths Observed in Photoelectron Spectroscopy, Physical Review Letters, 29, 692-695.
- Ertuğral, B., 2004. K Tabakasından L Tabakasına Boşluk Geçiş İhtimaliyetinin Ölçülmesi ve Hesaplanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Fink, R.W., Jopson, R.C., Mark, H. ve Swift, C.D., 1966. Atomic Fluorescence Yields, Reviews of Modern Physics, 38, 513-540.
- Herren, Ch. ve Dousse, J.-Cl., 1995. High-Resolution Measurements of the KMM Radiative Auger Effect in Medium-Mass Atoms, Physical Review A, 53, 717-725.
- Herren, Ch. ve Dousse, J.-Cl., 1997. Experimental Evidence for the KLM Radiative Auger Effect in Medium Mass Atoms, Physical Review A, 56, 2750-2758.
- Kalaycı, Y., Aydınuraz, A., Tuğluoğlu, B. ve Mutlu, R.H., 2007. Valance Electronic Structure of Ni in Ni-Si alloys from Relative K X-ray Intensity Studies, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 255, 438-440.
- Kalaycı, Y., Ağuş, Y., Özgür, S., Efe, N., Zararsız, A., Arıkan, P. ve Mutlu, R.H., 2005. Influence of Alloying Effect on Nickel K-shell Fluorescence Yield in Ni-Si Alloys, Spectrochimica Acta Part B, 60, 277-279.
- Karahan, İ.H., 2009. A Study on Electrodeposited Zn-Co Alloys, Physica Scripta, 79, 1-6.
- Kawai, J., Suzuki, C., Adachi, H., Konishi, T. ve Gohshi, Y., 1994. Charge-Transfer Effect on the Linewidth of Fe K X-Ray Fluorescence Spectra, Physical Review B, 50, 11347-11354.

- Kaya, N., 2006.  $69 \leq Z \leq 76$  Atom Numaralı Elementlerin K Tabakası Soğurma-Sıçrama Faktörlerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Keski-Rahkonen, O. ve Ahopelto, J., 1979. KMM Radiative Auger Effect in Transition Metals: II, Journal of Physics C, 13, 471-482.
- Krause, M. O., 1979. Atomic Radiative and Radiotensionless Yields for K and L Shells, J. Phys. Chem. Ref. Data, 8, 307-327.
- Krause, M.O. ve Oliver, J.H., 1979. Natural Widths of Atomic K and L Levels, K X-Ray Lines and Several KLL Auger Lines, Journal of Physical and Chemical Reference Data, 8, 329-338.
- Larkins, F.P., 1977. Semiempirical Auger-Electron Energies for Elements  $10 \leq Z \leq 100$ , Atomic Data and Nuclear Data Tables, 20, 311-387.
- Mukoyama, T., 2000.  $K_{\alpha 1,2}$  X-ray Emission Lines of Chromium and its Compounds, X-Ray Spectrometry, 29, 413-417.
- Mühleisen, A. ve Budnar, M., 1996. K-LM and K-MM Radiative Auger Effect from Kr and Xe, Physical Review A, 54, 3852-3858.
- Pawlowski, F., Polasik, M., Raj, S., Padhi, H.C. ve Basa, D.K., 2002. Valence Electronic Structure of Ti, Cr, Fe and Co in some alloys from  $K_{\beta}$ -to- $K_{\alpha}$  X-Ray Intensity Ratio Studies, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 195, 367-373.
- Raj, S., Padhi, H.C., Polasik, M., Pawlowski, F. ve Basa, D.K., 2001.  $K_{\beta}$ -to- $K_{\alpha}$  X-Ray Intensity Ratio Studies of The Valence Electronic Structure of Fe and Ni in  $Fe_xNi_{1-x}$  Alloys, Physical Review B, 63, 1-4
- Raj, S., Padhi, H.C., Polasik, M., Pawlowski, F. ve Basa, D.K., 2000. Valence Electronic Structure of Fe and Ni in  $Fe_xNi_{1-x}$  alloys from relative K X-ray Intensity Studies, Solid State Communications, 116, 563-567.
- Raj, S., Padhi, H.C. ve Polasik, M., 1999. Influence of Alloying Effect on  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  X-Ray Intensity Ratios of V and Ni in  $V_xNi_{1-x}$  Alloys, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 155, 143-152.
- Raj, S., Padhi, H.C., Palit, P., Basa, D.K., Polasik, M. ve Pawlowski, F., 2002. Relative K X-Ray Intensity Studies of The Valence Electronic Structure of 3d Transition Metals, Physical Review B, 65, 193105
- Scofield, J. H., 1973. Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV, Lawrence Livermore Laboratory (UCRL), No: 513626.
- Scofield, J. H., 1973. Exchange Corrections of K X-ray Emission Rates, Physical Review A, 9, 1041-1049.
- Scofield, J. H., 1974. Relativistic Hartree-Slater Values for K and L Shell X-ray Emission Rates, At. Data and Nucl. Data Tab., 14, 121-137.
- Serkowaa, A. ve Keski-Rahkonen, O., 1975. KMM Radiative Auger Effect in Transition Metals:I, Journal of Physics C, 8, 4124-4130.
- Sorum, H., 1986. The  $K_{\alpha 1,2}$  X-ray Spectra of the 3d Transition Metals Cr, Fe, Co, Ni and Cu, Journal of Physics F, 17, 417-425.

- Sögüt, Ö., 2006. Measurement of  $\eta_{KL}$  and  $\eta_{KM}$  Vacancy Transfer in  $Cr_xNi_{1-x}$  and  $Cr_xAl_{1-x}$  Alloys, *Physica Scripta*, 73, 466-470.
- Şerifoğlu, O., 2010. Zn-Cr Alaşımlarını Elektrodepolama Metodu ile Üretimi, Korozyon ve Yapısal Özelliklerine Jelâtinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay .
- Tertian, R. ve Claisse, F., 1982. Principles of Quantitative X-ray Fluorescence Analysis, Heyden and Son Ltd., London, U.K., 3-24.
- Tsoufanidis, N., 1995. Measurement and Detection of Radiation, Taylor&Francis, London, U.K., 157-158.
- Tunalı, N. K. ve Özkar, S., 2005. Anorganik Kimya, 5. Baskı, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Ulutaş, Ü., 2009. ZnCrCo Alaşım Filmlerinin Elektrokimyasal Depolama Yöntemi ile Üretimi, Karakterizasyonu ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- URL-1, [www.britannica.com/EBchecked/topic/377591/metallic-bond](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/377591/metallic-bond) Metallic Bond. 5 Kasım 2008.
- URL-2, [www.saskschools.ca/curr\\_content/chem20/metals/strength.html](http://www.saskschools.ca/curr_content/chem20/metals/strength.html) The Strength of a Metallic Bond. 6 Kasım 2008.
- URL-3, [www.nationmaster.com/encyclopedia/Effective-nuclear-charge](http://www.nationmaster.com/encyclopedia/Effective-nuclear-charge) Effective Nuclear Charge. 6 Kasım 2008.
- Wang, E. F. 2005. Bonding Theory For Metals and Alloys, Elsevier Science.

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Sivas ilinin Yıldızeli ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sivas Merkezde tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı ve 2010 yılında dereceyle mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında Siirt Üniversitesi Fen Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Yüksek lisans eğitimi için Yüksek Öğretim Kurulunun 35. Maddesi uyarınca Karadeniz Teknik Üniversitesine görevlendirildi.

Evli ve bir çocuk babası olan Muhammet DOĞAN bulunduğu K.T.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümündeki görevine devam etmektedir ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.