

**BAZI GEÇİŞ METAL ALAŞIMLARINDA FARKLI Co
KONSANTRASYONUNA GÖRE VALENS ELEKTRON
YOĞUNLUĞUNUN DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mine UĞURLU

**Yüksek Lisans Tezi
Fizik Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Lütfü DEMİR
2013
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI GEÇİŞ METAL ALAŞIMLARINDA FARKLI Co
KONSANTRASYONUNA GÖRE VALENS ELEKTRON
YOĞUNLUĞUNUN DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mine UĞURLU

FİZİK ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**BAZI GEÇİŞ METAL ALAŞIMLARINDA FARKLI Co
KONSANTRASYONUNA GÖRE VALENS ELEKTRON YOĞUNLUĞUNUN
DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Lütfü DEMİR danışmanlığında, Mine UĞURLU tarafından hazırlanan bu çalışma.../5.../07.../2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Lütfü DEMİR İmza :

Üye : Prof. Dr. Murat ÇELİK İmza :

Üye : Prof. Dr. Salih Zeki ERGİNEOĞLU İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI GEÇİŞ METAL ALAŞIMLARINDA FARKLI Co KONSANTRASYONUNA GÖRE VALENS ELEKTRON YOĞUNLUĞUNUN DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Mine UĞURLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lütfü DEMİR

Bu çalışmada, Co geçiş metal alaşımlarının valens elektron yapıları, çeşitli alaşım bileşimlerinin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları vasıtasıyla araştırıldı.

İlk önce Fe, Ni, V, Co, Ti, $Fe_{54}Ni_{29}Co_{17}$, $Co_{49}Fe_{49}V_2$ ve Ti_xCo_{1-x} ($x=0,3; 0,4; 0,5$) alaşımlarının $K\alpha$ ve $K\beta$ emisyon spektrumları bir Si(Li) katı hal dedektörü kullanılarak belirlendi. Bu alaşımlarda Co'nun $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları, 10 mCi ^{109}Cd radyoizotop nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik γ -ışınları uyarımı ile elde edildi. Daha sonra, belirlenen $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları, $Fe_{54}Ni_{29}Co_{17}$, $Co_{49}Fe_{49}V_2$ ve Ti_xCo_{1-x} alaşımlarındaki Co valens elektron konfigürasyonlarını elde etmek için multikonfigürasyon Dirac-Fock hesaplama sonuçları ile karşılaştırıldı. Böylece, Co metalinin valens elektron konfigürasyonları belirlendi.

Elde edilen deneysel datalar, farklı geçiş metal alaşımlarında Co $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarında sapmalar ve farklı alaşım yapılarında Co elektron konfigürasyon yapısında belirgin farklılıklar olduğunu gösterdi. Böylece, bu ölçüm sonuçları Co'nun $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları ve valens elektron konfigürasyon yapısının alaşım bileşenine bağlı olduğunu gösterdi.

2012, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranı, geçiş metal alaşımları, valens elektron yapısı

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION of VALENCE ELECTRON DENSITY CHANGING IN ACCORDANCE WITH VARIOUS CO CONCENTRATION IN SOME TRANSITION METAL ALLOYS

Mine UĞURLU

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Lütfü DEMİR

In this study, the valence electron structures of Co transition metal alloys have been investigated by $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios of various alloy compositions.

At first, the $K\alpha$ and $K\beta$ emission spectra of Fe, Ni, V, Co, Ti, Fe, Ni, V, Co, Ti, $Fe_{54}Ni_{29}Co_{17}$, $Co_{49}Fe_{49}V_2$ and Ti_xCo_{1-x} ($x=0,3; 0,4; 0,5$) alloys were measured by using a Si(Li) solid state detector. $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios of Co in these alloys have been obtained following excitation by 22,69 keV γ -rays from a 10 mCi ^{109}Cd radioisotope point source. Afterwards, obtained $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios were compared to the results of multiconfiguration Dirac-Fock calculations to obtain valence electronic configurations of Co in $Fe_{54}Ni_{29}Co_{17}$, $Co_{49}Fe_{49}V_2$ and Ti_xCo_{1-x} alloys. So, the valence electron configurations of Co have been determined.

The experimental data obtained have indicated deviations of $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios for Co in different alloy compositions and valence electron structures of Co in these alloys have indicated significant differences. Thus, results of these measurements have shown that $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios and valence electron configuration of Co are dependent on alloy compositions.

2013, 79 Pages

Keywords: $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratio, transition metal alloys, valence electronic structure.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Sayın Prof. Dr. Lütfü DEMİR'in yöneticiliğinde hazırlanmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Lütfü DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunar ve en içten şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım sırasında yapmış olduğu katkılardan dolayı kıymetli hocam Sayın Bünyamin ALIM'a teşekkür eder ve en içten şükranlarımı arz ederim.

Fen Fakültesi Fizik Bölümünün tüm elemanlarına sağlamış oldukları kolaylıklardan dolayı ve tüm arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Teşvik, destek ve sonsuz sabırlarından dolayı çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mine UĞURLU

Temmuz 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. Geçiş Metallerinin Özellikleri	10
2.1.1. Geçiş metallerinin değeriği (Oksidasyon sayısı).....	11
2.1.2. Geçiş metallerinde renk.....	12
2.2. Alaşım ve Alaşımılama	13
2.2.1. Alaşım üretimi	14
2.2.2. Alaşımılandırma ve içyapı oluşumu	15
2.2.3. Alaşımılaların fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
2.3. Gama Işınları	22
2.3.1. Gama ışınlarının tanımı ve özellikleri	22
2.3.2. Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi.....	22
2.3.2.a. Fotoelektrik olayı.....	24
2.3.2.b. Çift oluşumu	26
2.3.2.c. Koherent saçılma	27
2.3.2.d. İnkoherent saçılma	28
2.4. X-Işınları	31
2.4.1. X-Işınlının tanımı ve özellikleri	31
2.4.2. X-Işınlının Oluşumu.....	34
2.4.2.a. Sürekli X-ışınları	34
2.4.2.b. Karakteristik X-Işınları ve X-Işınları enerji seviyeleri.....	35
2.4.2.c. X-ışınları spektrumları.....	41
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	44

3.1. X- Işını Spektroskopisi ve Spektrometreleri	44
3.2. Enerji Ayrımlı X-ışını Floresans Spektrometresi (EDXRF)	46
3.2.2. Sayma sistemi	49
3.2.2.a. Yüksek voltaj kaynağı	50
3.2.2.b. Ön yükseltici	50
3.2.2.c. Lineer Yükseltici	51
3.2.2.d. Analog dijital dönüştürücü (ADC)	51
3.2.2.e. Çok kanallı analizör (MCA)	52
3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Geometrisi	52
3.4. K Tabakası X-Işını Şiddet Oranlarının Belirlenmesi	56
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR	59
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	70
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADC	: Analog sayısal dönüştürücü
c	: Işık hızı
Dn_{3d}	: 3d elektron sayısındaki değişim
e	: Elektron yükü
EDXRF	: Enerji ayırmalı X-ışını floresans
G	: Geometri faktörü
h	: Planck sabiti
$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	: Düzeltilmiş K X-ışını şiddet oranı
L	: Yörünge açısal momentumu
MCA	: Çok kanallı analizör
MCDF	: Multi Configuration Dirac Fock
n_{3d}	: 3d elektron sayısı
$n_{4s,4p}$	: 4s,4p elektronlarının toplam sayısı
$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	: Düzeltilmemiş K X-ışını şiddet oranı
$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	: Normalize edilmiş K X-ışını şiddet oranı
t	: Numunenin kütle kalınlığı (gr/cm^2)
Tn_{3d}	: Alaşımdaki 3d elektronlarının toplam sayısı
$Tn_{4s,4p}$	: Alaşımdaki 4s,4p elektronlarının toplam sayısı
XRF	: X-ışını floresans
λ	: Dalga boyu (m)
β	: Öz-soğurma düzeltme parametresi
μ_e	: Numuneden yayımlanan fotonlar için kütle azaltma katsayısı
μ_i	: Numuneye gelen fotonlar için kütle azaltma katsayısı
μ_m	: Kütle soğurma katsayısı
ω	: Floresans verim
σ	: Tesir kesiti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Periyodik çizelge.	10
Şekil 2.2. Yeralan atomunun ve arayer atomunun metalik kafes sistemindeki gösterimi.....	16
Şekil 2.3. Gama ve X-ışınlarının madde ile etkileşimi.	24
Şekil 2.4. Fotoelektrik olay (a) Gelen X-ışını fotonu (b) Fotoelektron oluşumu (c) K kabuğunda oluşan bir boşluğun doldurması sonucu oluşan X-ışını (d) X-ışını fotonunun dış tabakadaki elektronlardan birini sökmesi sonucu oluşan Auger elektronu.	26
Şekil 2.5. Çift oluşum	27
Şekil 2.6. Compton olayı	29
Şekil 2.7. Moseley tarafından yayımlanan ilk X-ışını spektrumu.	32
Şekil 2.8. Moseley kanununa göre K ve L serisi çizgiler için Z ve $1/\lambda^{1/2}$ arasındaki ilişki.....	33
Şekil 2.9. X-ışınlarının oluşumu	34
Şekil 2.10. Sürekli X-ışınları.	35
Şekil 2.11. Karakteristik X-ışını oluşumu.....	37
Şekil 2.12. Atomda elektron geçişlerinin ve karakteristik K X-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi.	38
Şekil 2.13. X-ışını enerji seviyeleri diyagramı.	41
Şekil 2.14. X-ışını spektrumları	42
Şekil 3.1. EDXRF ve WDXRF spektrometrelerinin temel planları.....	45
Şekil 3.2. Enerji dağılımlı X-ışınları floresans spektrometresi (EDXRF)	47
Şekil 3.3. Kriyostat ve bölümler	50
Şekil 3.4. Si yarıiletken diyotunun basit görünümü ve diğer kısımlar	49
Şekil 3.5. Deney geometrisi.	54
Şekil 3.6. Deney geometrisinin üstten görünüşü	55
Şekil 3.7. ^{109}Cd kaynağına ait ışıma şeması.....	55
Şekil 4.1. K X-ışını şiddet oranlarını hesaplamak için $I_0 G \varepsilon$ değerleri.	60
Şekil 4.2. Ti, Co, $\text{Ti}_{0,4}\text{Co}_{0,6}$ alaşımı için elde edilen K X-ışını spektrumu.....	61

Şekil 4.3. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co için deneysel olarak elde edilen $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının farklı elektron konfigürasyonları için elde edilmiş $MCDF$ hesaplamaları ile karşılaştırmalı olarak gösterimi	63
Şekil 4.4. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co için 3d elektron sayılarının metallerin kendi konsantrasyonlarına bağlı değişimleri	65
Şekil 4.5. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co'nun 3d elektron sayılarındaki değişimlerin (pür metaller ile kıyaslandığında) metallerin alaşımdaki kendi konsantrasyonlarına bağlı olarak gösterimi.	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Geçiş metallerinin değerlikleri	12
Çizelge 2.2. Geçiş metallerinin kullanıldığı bazı alaşımların adları ve kullanıldıkları yerler.	21
Çizelge 2.3. Kuantum sayıları ve elektrik dipol seçim kuralları.....	36
Çizelge 2.4. X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri	39
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri.	53
Çizelge 4.1. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları	62
Çizelge 4.2. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.	64
Çizelge 4.3. $Fe_{0,54}Co_{0,17}Ni_{0,29}$ alaşımında $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları. ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$ düzeltilmemiş, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ düzeltilmiş ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$ alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları).	67
Çizelge 4.4. $Fe_{0,49}Co_{0,49}V_{0,02}$ alaşımında $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları	67
Çizelge 4.5. $Fe_{0,54}Co_{0,17}Ni_{0,29}$ alaşımında 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.	68
Çizelge 4.6. $Fe_{0,49}Co_{0,49}V_{0,02}$ alaşımında 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.	69

1. GİRİŞ

Geçiş metalleri günlük hayatımızda büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle üzerinde en çok çalışılan elementler d-bloğu geçiş elementleridir. Geçiş metalleri veya bazı kimyacıların tabiri ile ağır metaller, sertlikleri, yüksek yoğunlukları, iyi ısı iletkenlikleri ve yüksek erime-kaynama sıcaklıkları, mukavemet, paslanmaya dayanım gibi özellikleri ile tanınırlar ve bu özellikleri bu metallerin kullanım alanlarını belirler. Bu özellikleri nedeniyle elektrik kablolarından kapı kollarına kadar çok yaygın kullanım alanına sahiptirler. Örneğin; geçiş metali olan demir ve bakır, taş devrinden itibaren uygarlığın gelişimine yardımcı olmuştur ve günümüzde de en önemli endüstriyel metallere dendir. Metalurjinin bilim dalı olarak yaygınlaşması ile birlikte demir alaşımı olan çeliğin kompozisyonunun değiştirilerek ya da ısıtım işlem ile özellikleri farklılaştırılarak özellikle yüksek kopma mukavemeti ile teleferik, inşaat, otomotiv, tıp, beyaz eşya, alt yapı ve makine sanayi gibi bir çok alanda insanlığa hizmet verir hale getirilişi hızlandırılmıştır ve pekçok ana endüstriye hammadde sağlamaktadır. Bakır iyi elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik sektöründe, alaşımlar halinde makine sektöründe kullanılır. Bu bloğun diğer metallere de teknolojiye kullanılan metallere dendir. Mesala altın ve gümüş kuyumculukta; tungsten akkor ampullerin içindeki tellerde; titanyum uzay araçları yapımında; vanadyum petrokimya endüstrisinde katalizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca geçiş elementlerinden bazılarının katyonları organizmada da önemli görevlere sahiptir ve geçiş metallerinin bileşikleri kanser tedavisi, boyar madde yapımı, güneş ışığının elektriğe dönüştürülmesi gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

Geçiş metalleri modern teknolojinin gelişmesinde büyük rol oynar ve onların elektronik yapısını bilmek fiziksel özelliklerinin anlaşılması için çok önemlidir (Raj and Padhi 2002). Valens elektron yapılarını belirlemede Compton profil analizleri, *MCDF* hesaplamaları (Multi Configuration Dirac-Fock), *DV-X α* (Discrete Variational *X α*), *LMTO* (Linear muffin-tin orbital) metod gibi deneysel ve teorik yöntemlerle ve *K β /K α* X-ışını şiddet oranı vasıtasıyla belirlenebilir. *I K_{β} /I K_{α}* şiddet oranlarının hesaplanması atomik modellere dayanan teorik tahminler ile karşılaştırıldığından önemlidir. Böylece, bu modellerin geçerliliğinin test edilme olasılığı vardır. Bunlardan

$K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları 3d geçiş metallerinin valens elektron yapılarını araştırmak için fiziksel bir parametre olarak kullanılabilir. 3d geçiş metali bileşiklerinde ve alaşımlarında, bileşik veya alaşımı oluşturan metaller için belirlenecek $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları ilgilenilen numunelerde valens elektron konfigürasyonlarının değişimi hakkında nicel bilgi sağlayabilir. $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranının değişmesinin kökeni elektronik yapıdaki değişim nedeniyle olduğu yorumlanmıştır (Raj *et al.* 1998; Pawlowski *et al.* 2002). $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranının, 3d geçiş metalinin valens elektron yapısına güçlü bir şekilde bağlı olduğu bulunmuştur (Raj and Padhi 2002).

Kimyasal olayları yönlendirmede atomların dış seviye elektronları çok etkindir. Valens elektronları bir elementin diğer elementlerle kimyasal olarak nasıl etkileştiğinin kararlaştırılması açısından önemlidir. Bir atomdaki değerlik elektron sayısının azlığı atomu daha az kararlı ve etkileşime karşı daha fazla istekli yapar. Bunun tam terside doğrudur. Valens kabuğu valens elektronları ile dolu ise atomun aktivitesi düşüktür ve diğer kimyasal elementler veya kendi türünden kimyasal elementler ile yapılacak etkileşimler için daha az isteklidir. Bir atomun valens elektronu, atomun diğer bir elementle kimyasal bağ yapabilme yeteneği ile ilişkilidir. Sertlik, elektriksel iletkenlik, ısısal iletkenlik, kaynama-erime noktası kimyasal bağlarla ilişkilidir. Valens elektronlarının yoğunluğunda oluşabilecek bir değişime; bağ çeşidine, moleküler yapının özel karakteristikleri olan kompleksliğine, kristal yapısına, alaşımı oluşturan metallerin konsantrasyonlarına bağlı olabilir. Böylece tüm bu etkenler K X-ışını flöresans şiddet oranını etkileyebilir. Buna göre XRF tekniği kullanılarak $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları kolayca hesaplanabilir ve bu oran çeşitli sistemlerde 3d-geçiş metallerinin valens elektronik konfigürasyonunu çalışmak için duyarlı bir araç olur (Han 2009). X-ışını şiddet oranlarının alaşımlarda elektron transferi veya yeniden düzenlenmesi gibi fenomenleri çalışmak için duyarlı bir araç olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir (Bhuinya and Padhi (1992, 1993)). Böylece 3d alaşımlarının valens elektron yerleşimi tayini için $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarına bağlı bir metodun veya formülizasyonun geliştirilmesi mümkün olabilir. Böyle basit bir metodun geliştirilmesi 3d alaşımlarının kullanıldığı uygulamaların gelişmesine ve çeşitlenmesine fırsat

tanımasının yanısıra iş ve zaman kazancıda sağlayacaktır. Verilen bilgiler ışığında geçiş metalleri ve alaşımları için X-ışını şiddet oranlarına bağlı bir metod geliştirildiği takdirde her uygulama alanının amacına uygun yeni alaşımlar üretmek ve alaşımları kullanım amaçlarına göre verimli bir şekilde sınıflandırmak çok daha kolay olacaktır. Bütün bunlar göz önüne alındığında geçiş metal alaşımlarının valens elektron yapılarının belirlenmesi ve bu işlevi yapacak X-ışını floresans şiddet oranı tekniğine dayalı basit ama kullanışlı bir metodun geliştirilmesi büyük önem taşır (Alım 2012).

3d geçiş elementlerinin ve geçiş metal alaşımlarının elektronik yapıları ile ilgili bazı araştırmalar yapılmıştır. Bunlar genel olarak 3d geçiş metallerinde valens elektron yapısını belirlemek, X-ışını flöresans şiddet oranları üzerine alaşım etkisini araştırmak, çeşitli 3d geçiş elementlerinin ve alaşımlarının floresans parametrelerini belirlemek, 3d-geçiş metali ligand ilişkisi belirlemek, K-tabakası ve L-tabakası şiddet oranları ile valens elektron konfigürasyonundaki değişimi belirlemek ve bazı alaşımların neden diğer alaşımlardan farklı davranış sergilediğini XRF tekniğini kullanarak belirlemek gibi amaçlar edinilmiştir. Bunlardan bazılarına değinecek olursak;

Inoue *et al.* (1994) Nb ve Mo temelli alaşımların elektronik yapıları üzerine alaşım etkisi araştırılmıştır. DV- X_{α} ' a metod, iki alaşım parametresi BO (Bond order) ve bu metallerde alaşım elementleri M değişimi için elde edilen MD (d-orbital energy level) kullanarak elektronik yapıyı hesaplamışlar. Ölçüm değerlerine ait BO-MD haritalar oluşturarak haritalardaki yerleşimlere göre faz diyagramı sınıflandırmaları yapmışlar. Nb ve Mo metallerinin diyagramlarını Ti, V, Cr, Fe ve Zr gibi diğer BCC (Cisim merkezli kübik yapı) yapılarla karşılaştırılmış ve yeni alaşım parametresi BO ve MD'nin Nb ve Mo nun alaşım davranışını tanımlamada faydalı olduğunu söylemişler. Sonuç olarak atomik difüzyon için aktivasyon enerjisi, füzyon ısısı ve erime sıcaklığı bağ düzeni ile ilişkilendirilmiş, yüksek sıcaklık uygulamaları için erimez metal tabanlı alaşım dizayn edilebileceği belirtilmiştir.

Polasik (1998) $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının valens elektron konfigürasyonundaki değişikliğe bağımlılığını güvenilir olarak açıklamak amacıyla 3d geçiş metalleri için

geçiş etkileşmelerini ve kuantum elektrodinamik düzeltmelerini içeren çok geniş MCDF hesaplamaları yapmıştır. İncelediği tüm atomlar da $3d^{m-2}4s^2$ konfigürasyon tipi için $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını; $3d^{m-1}4s^1$ için olan orandan daha büyük, $3d^m$ tipi için ise daha da küçük olarak elde etmiştir. Her bir elektron konfigürasyon tipi için $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının atom numarası ile açıkça arttığı ve bu oranın valens elektron konfigürasyonundaki değişime çok duyarlı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışmanın sonuçlarının 3d geçiş metallerinin valens elektron konfigürasyonundaki değişimlerde, $K\beta/K\alpha$ şiddet oranlarına bağımlılığın daha iyi anlaşılmasında yardımcı olabileceğini ve çeşitli bileşik ve alaşımlarda bu metallerin $K\beta/K\alpha$ şiddet oranlarında katı durum etkileri ve kimyasal çevrenin etkisinin uygun teorik açıklama bulmak için kullanılabileceğini bildirmiştir.

Raj *et al.* (1999) Ti, V, Cr ve Co nun saf metal ve Si_2 li bileşiklerinin $K\beta$ -to- $K\alpha$ X-ışını şiddet oranları 200 mCi ^{241}Am nokta kaynaktan gelen 59,54 keV γ -ışınları ile uyararak ölçülmüşler. Bu metallerin Si_2 li bileşiklerinin şiddet oranlarının saf hallerinde ölçülenden daha küçük olduğu bulunmuş ve Si_2 li bileşikleri ve saf halleri için ölçülen $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını multikonfigürasyon Dirack-Fock hesaplamalarıyla kıyaslamışlardır. Ti, V, Cr ve Co nun Si_2 li bileşiklerinde 3d elektron popülasyonunun artmasının özgün atomların 3d ve (4s 4p) durumları arasında elektronların yeniden düzenlenmesiyle olabileceğini söylemişlerdir. Bu yeniden düzenlenmenin ($NiSi_2$ ve $CuSi_2$) ile yapılan daha önceki çalışmayla zıt ilişki içinde olduğunu gözlemişlerdir.

Raj *et al.* (1999) V ve Ni'nin V_xNi_{1-x} alaşımlarında farklı kompozisyonları için ($x = 0.00, 0.10, 0.20, 0.35, 0.50, 0.75, 1.00$) $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları 200 mCi ^{241}Am nokta kaynaktan gelen γ -ışınları ile uyararak ölçmüşler ve şiddet oranları V ve N nin belli alaşım bileşenlerinde saf metallerinkinden sapmalar gösterdiğini gözlemlemiştirler.

$K\beta/K\alpha$ şiddet oranındaki bu sapmalar çeşitli valens elektronik konfigürasyon için multikonfigürasyon Dirac–Fock (MCDF) hesaplama sonuçları kullanarak yorumlanmıştır. Analizler sonucunda V ve Ni için 3d elektron sayısındaki alakalı değişikliklerin (onların kendi konsantrasyonunun fonksiyonu olarak düşünüldüğünde) çok benzer olduğunu gözlemlemişler. V_xNi_{1-x} alaşımlarında V ve Ni valens elektron konfigürasyon değişimini, V ve Ni arasında 3d elektron transferiyle açıklamışlardır. 3d elektron transferinin (V veya Ni) yüksek konsantrasyonlu elementin atomlarından düşük konsantrasyonlu elementlerin atomlarına doğru olduğunu tahmin etmişlerdir.

Mukoyama *et al.* (2000) $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları 3d element bileşikleri için (DV- $X\alpha$) moleküler orbital metod ile hesaplanmış ve hesaplanan sonuçların V ve Cr bileşikleri için 3d etkin elektron sayısı ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu bulunmuş ve $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını 3d elektron sayısının lineer bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

Raj *et al.* (2000) Fe_xNi_{1-x} ($x = 0,20; 0,50; 0,58$) alaşımlarının benzer kristal yapı gösteren bileşimlerinde ve saf metallerde Fe ve Ni'nin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını ^{241}Am nokta kaynaktan yayımlanan 59,54 keV' lik γ -ışınları ile uyararak ölçmüşler ve belirli alaşım bileşiklerinde Fe ve Ni'nin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının saf metallere göre oldukça farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu farklılığın elektron popülasyonunun 3d ve (4s 4p) valens bant durumları arasında yeniden düzenlendiğini varsayarak açıklamışlardır. $Fe_{0,2}Ni_{0,8}$ alaşımının özelliklerinin niçin diğer alaşımlardan farklı olduğunu anlamaya çalışmışlar. $Fe_{0,2}Ni_{0,8}$ alaşımının elektronik yapısının diğer alaşımlardan tamamen farklı olduğunu gözlemlemişler ve bu farklılığı alaşımın özel manyetik özelliklerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Shcherba *et al.* (2003) $CeGa_2Al_2$ yapısındaki kristalize bileşiklerin valens durumunu ve elektron yapısını çalışmak için X-ışını fotoelektron, emisyon ve absorbsiyon spektrometrelerini kullanmışlar CeM_2P_2 ($M=Fe, Co, Ni$) bileşiklerindeki P ve M elementlerinin X-ışını emisyon spektrumlarını yarı-kararlı LMTO (Linear Muffin-Tin Orbital) metodu kullanılarak kısmi ve toplam elektron durum yoğunluğunu belirlemişler

ve CeM_2P_2 ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$) bileşiklerinde M ve P elementlerinin X-ışını spektrumunu elde etmişler ve CeM_2P_2 bileşiklerinde bileşenlerin farklı bantlarında elektronların etkin doluluk sayılarını hesaplayarak; hesaplananlar ve deneysel sonuçlar arasında uyum gözlemişlerdir.

Çevik vd (2005) N_2H_2 tipinin bazı Mn, Ni ve Cu kompleksleri için $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarında kimyasal etkiler araştırılmış. Numuneler ^{241}Am halka kaynaktan gelen 59,543 keV γ -ışınlarıyla uyarılmış ve numuneden gelen ışınlar Si(Li) dedektör vasıtasıyla sayılmıştır. Sonuç olarak kompleksli bileşikler için $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları genellikle elementlerin saf halde ölçülen oranlarından daha büyük çıkmıştır. Deneysel değerlerin saf elementler için hesaplanan teorik değerlerle uyum içinde olduğu bulunmuştur.

Kalayci vd (2005) EDXRF (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) spektrometresini kullanarak Ni-Si alaşım sistemlerinde Ni'nin K-tabakası floresans verimi (ω_K) üzerine alaşım etkisini çalışmışlar ve ω_K değerinin, saf Ni'den Ni_2Si 'e doğru arttığını ve Ni_2Si 'den NiSi'e doğru azaldığını gözlemlemişlerdir. Alaşım etkisi nedeniyle ω_K nin değişimi, Ni-Si ikili alaşımlarda hibritleşme etkilerinden kaynaklanan elektronik konfigürasyonda değişim sebebiyle olduğunu açıklamışlardır.

Apaydın vd (2008) Co, Ni, Cu ve Zn bileşikleri için $K\beta/K\alpha$ şiddet oranları ve ΔE enerji farklılıklarında kimyasal etkileri araştırmışlar. $K\beta/K\alpha$ şiddet oranları ve ΔE enerji farklılıklarında, farklı ligand etkilerini gözlemlemişler. Bu şekilde bu bileşiklerde farklı ligand davranışlarını kullanarak merkez atomda kimyasal etkileri araştırmaya çalışmışlardır. Ligand-merkezi atom etkileşiminin dış kabuk elektronlarını etkilediğini ve bu etkileşimin ligand ve merkezi atom arasında yük transferini değiştirdiğini, aynı ligand çeşidinin merkez atomunda aynı etkiyi oluşturduğunu vurgulamışlardır.

Dağıstanlı vd (2010) LMTO (Linear Muffin-Tin Orbital) metod aracılığı ile atomik konfigürasyonun çeşitli tiplerine karşılık gelen geçiş elementlerinin 3d elektron sayılarını hesaplamışlardır. Bu veriyi alaşımlarda 3d elektron yoğunluğunu tahmin

etmek için Multikonfügurasyon Dirack-Fock (MCDF) X-ışını şiddet oranları ile kullanmışlardır. Sonuç olarak 3d metali elektron yapısının sadece alaşımlama ile değil aynı zamanda dış basınçlada değiştiğini vurgulamışlardır.

Aylıkci vd (2010) Zn_xCo_{1-x} alaşımlarında Zn ve Co'nun K tabakası X-ışını floresans parametreleri üzerine alaşımın etkisini farklı alaşım bileşiklerinde Co ve Zn'nin $\sigma_{K\alpha,\beta}$ tesir kesitlerini, ω_K değerini, $K\beta/K\alpha$ şiddet oranını, $KLM/K\alpha$ şiddet oranını, $KMM/K\beta$ şiddet oranını hesaplamışlardır. Ölçülen bu parametrelerdeki değişimin alaşımı oluşturan 3d geçiş elementleri arasındaki yük transfer işlemi ve valens elektronlarının yeniden düzenlenmesinin bir sonucu olarak yorumlamışlardır. Alaşımda yabancı element etkisini araştırmak için K X-ışını parametrelerinin duyarlı bir vasıta olduğunu kaydetmişlerdir.

Aylıkci vd (2010) Mo'nun örnek süper alaşım türleri ve saf metaller içerisinde $\sigma_{K\alpha}$, $\sigma_{K\beta_{1,2}}$ tesir kesitlerini, $K\beta_{1,3}/K\alpha$, $K\beta_{2,4}/K\alpha$, $K\beta_{2,4}/K\beta_{1,3}$, $KLM/K\alpha$ ve $KMM/K\beta$ RAE (Radiative Auger Effect) için şiddet oranlarını ve Ni'nin $\sigma_{K\alpha,\beta}$ tesir kesitini, $K\beta/K\alpha$, $KLM/K\alpha$, $KMM/K\beta$ RAE (Işımalı Öje Etkileri) şiddet oranlarını kullanarak bulmuşlar. DV-X α cluster method ve iki alaşım parametresi BO (Bağ Düzeni) ve (d-orbital enerji seviyesi) MD'yi hesaplayarak elektronik yapıyı bulmuşlar ve elde edilen sonuçlardan Ni ve Mo'nun floresans parametreleri üzerine alaşımın etkisini, korozyon davranışları ve faz yapılarını araştırmışlardır. Sonuçta süper alaşımlardaki Ni ve Mo'nun X-ışını floresans parametrelerinin saf metallerinkinden farklılıklar gösterdiğini ve bu farklılıkların süper alaşımlarda yük transfer olayına ve valens elektronlarının yeniden düzenlenmesine katkıda bulunacağını belirtmişlerdir.

Han ve Demir (2010) çeşitli alaşım elementlerinin K X-ışını floresans çalışmaları ile 3d geçiş metallerinde (η_{KL}) K'dan L'ye boşluk transfer olasılıklarında alaşım etkisi çalışılmıştır. Fe_xNi_{1-x} , Fe_xCr_{1-x} , Ni_xCr_{1-x} , Fe_xCr_y , $Ni_{1-(x+y)}$, Ti_xNi_{1-x} , Ti_xCo_{1-x} , Co_xCu_{1-x} alaşımlarında Ti, Cr, Fe, Co, Ni ve Cu elementleri K X-ışını şiddet oranları 10 mCi ^{109}Cd radyoaktif nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik X-ışınlarının

uyarımı ile ölçülmüştür ve alaşım elementleri için (η_{KL}) değerleri bu oranlardan tanımlanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki alaşım etkisi 3d geçiş metal alaşımlarında η_{KL} değerlerinde belirli değişikliğe sebep olmaktadır. Bu yerdeğiştirme ile elektronik yapının değişiminden ve/veya alaşımlarda yük transferinden ileri gelir. Alaşımın fiziksel özellikleri alaşım bileşeninden etkilenir ve 3d geçiş metal alaşımlarının diğer özellikleri kimyasal bileşim ile kontrol edilebilir. Bu sayede özel uygulamalar için ideal fiziksel özellikte alaşım üretimi sağlanabilir.

Han ve Demir (2010) 3d geçiş metallerinin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları üzerine tavlama ısıısının etkisini çeşitli alaşımlar için çalışmışlardır. Farklı sıcaklıklarda tavllanmış ve tavlানmamış Fe_xNi_{1-x} , Ti_xNi_{1-x} ve Co_xCu_{1-x} alaşımlarındaki Fe, Ni, Ti, Co ve Cu'nun $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını 10 mCi ^{109}Cd radyoaktif nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik X-ışınlarının uyarımı ile belirlemişlerdir. Tavllanmış ve tavlানmamış numuneler için belirlenen farklı alaşımlardaki 3d geçiş metallerinin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarında tavlamadan sonra sapmalar gözlemlemişlerdir. Tavlama işleminin 3d geçiş metal alaşımlarındaki $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını önemli ölçüde değiştirdiğini belirtmişlerdir. Tavlama olayı tarafından meydana gelen bu değişikliklerin alaşımın fiziksel özelliğini güçlü bir şekilde etkilediğini ve 3d geçiş metal alaşımlarının elektrik, manyetik ve diğer özelliklerinin ısıtım işlem uygulaması ile kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir.

Han ve Demir (2009) Fe, Cr ve Ni $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları saf metallerde ve Fe_xNi_{1-x} ($x=0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3$, ve 0.2), Ni_xCr_{1-x} ($x=0.8, 0.6, 0.5, 0.4$, ve 0.2) Fe_xCr_{1-x} ($x=0.9, 0.7$, ve 0.5) ve $Fe_xCr_yNi_{1-(x+y)}$ ($x=0.7-y=0.1$, $x=0.5-y=0.2$, $x=0.4-y=0.3$, $x=0.3-y=0.3$, $x=0.2-y=0.2$, ve $x=0.1-y=0.2$) alaşımlarında 10 mCi ^{109}Cd radyoaktif nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik X-ışınlarının uyarımı ile belirlemişlerdir. $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarını MCDF hesaplama sonuçlarıyla karşılaştırarak değerlendirmişler ve valens elektron konfigürasyonunun saf metallere göre önemli ölçüde değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu değişikliklerin metal

atomlarının bir elementten diğetine 3d elektronlarının transferi ve /veya 3d ve (4s, 4p) durumları arasında elektronların yeniden düzenlenmesi ile olduğunu açıklamışlardır.

Dağıstanlı (2012) 3d metallerin d elektron yoğunluğunu farklı kristal yapıda hesaplamak için linear muffin-tin-orbital metodunu kullanmıştır. Kristal yapı ile 3d metalinin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranının ve dolayısıyla elektronik yapının değiştiğini bulmuş ve 3d metalinin $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranının kimyasal çevreden çok enerji bant yapısına bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Geçiş metalleri en dıştaki d orbitali elektronlarından kaynaklanan çeşitli fiziksel özelliklere sahiptirler. d orbitallerinin kısmen dolu olması, orbitaller arası elektron geçişlerini kolaylaştırır. Bu elektron geçişleri metallere ve bu metallerden oluşan bileşiklerin bazılarına geçici manyetik özellik kazandırır. Ayrıca geçiş metali katı bileşiklerinin ve çözeltilerinin renkli olmasını sağlar. Aynı zamanda geçiş metalleri, esas olarak sertlikleri, yüksek yoğunlukları, iyi ısı iletkenlikleri ve yüksek erime-kaynama sıcaklıklarıyla tanınırlar. Bu metaller metalik bağların yanı sıra kovalent bağlar da oluştururlar. Bu kovalent bağlar, kısmen dolu d orbitallerindeki elektronların komşu metal atomları ile ortaklaşa kullanılmalarından kaynaklanır. Geçiş metal iyonları kolayca değişik molekül ve iyonlarla kompleks bileşik oluşturabilirler. Metalin kendisi veya bileşikleri çoğunlukla katalitik etki gösterir.

2.1.1. Geçiş metallerinin değeriği (Oksidasyon sayısı)

Geçiş metalleri d orbitallerindeki elektronları verebilmelerinden dolayı çeşitli sayıda değeriği elektronuna sahip olabilirler. En yaygın değeriğler koyu puntolarla gösterilmiştir (Çizelge 2.1).

Periyodik cetvelde geçiş metallerinin farklı periyotlarında, periyotların orta bölgesindeki geçiş metallerinin değeriği sayısının çok daha fazla değeriğler değeriğlere sahip olabildiği görölmektedir. Değeriği konusunda dikkat çeken bir diğeriği nokta ise ikinci ve üçüncü sıra geçiş metallerinde yüksek değeriğlerin daha kararlı olmasıdır. Bu yüksek değeriğler, basit iyon bileşiklerinden çok kovalent veya makromoleküler yapılarda görölmektedir. Birinci sıra geçiş metallerinde genellikle 2+ veya 3+ yüklü iyonlar ve daha yüksek değeriği olan okso iyonlar oluşur. İkinci ve üçüncü sıra geçiş metallerinin düşük değeriğli bileşiklerinde genellikle metal-metal bağları vardır.

Çizelge 2.1. Geçiş metallerinin değerlikleri

<i>Sc</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
		0	0	0	0	0	0	0	
				1	1	1	1	1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	4	4	4	4	4	4	4	4	
		5	5	5					
			6	6	6				
				7					
<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Tc</i>	<i>Ru</i>	<i>Rh</i>	<i>Pd</i>	<i>Ag</i>	<i>Cd</i>
			0	0	0	0	0		
				1		1		1	
			2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3		3	
	4	4	4	4	4	4	4	4	
		5	5	5	5	5			
			6	6	6	6			
				7	7				
				8	8				
<i>La</i>	<i>Hf</i>	<i>Ta</i>	<i>W</i>	<i>Re</i>	<i>Os</i>	<i>Ir</i>	<i>Pt</i>	<i>Au</i>	<i>Hg</i>
			0	0	0	0	0		
				1		1		1	1
			2	2	2		2		2
3	3		3	3	3	3		3	
	4	4	4	4	4	4	4		
		5	5	5	5	5	5	5	
			6	6	6	6	6		
				7	7				
				8	8				

Geçiş metallerinin bileşikleri hem iyonik hem de kovalent karakterli olabilmektedirler. Bir metal düşük oksidasyon seviyesinde iyonik karakterli bileşik oluştururken yüksek oksidasyon seviyelerinde kovalent karakterli bileşik oluşturur (Özellikle de çok atomlu iyonlar oluşturmak üzere ^{18}O ve ^{19}F gibi elektronegatif elementlerle kovalent bağlar yaparlar). Geçiş metalleri yüksek değerliklere; basit iyon bileşiklerinden ziyade kovalent moleküllerde veya makro moleküler yapılarda sahip olmaktadır (Alım 2012).

2.1.2. Geçiş metallerinde renk

Geçiş metallerinin hidratlaşmış iyonları genellikle renklidir. Ancak d^0 ve d^{10} yapısına sahip iyonları renksizdir. Renkli iyonlara örnek olarak pembe $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$, yeşil $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$ ve soluk mavi $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$ verilebilir. ^{30}Zn elektron dizilişinde tam dolu d -orbitaline sahip olduğu için $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$ renksizdir Şekil (2.2). Geçiş

metallerinin çoğunun atomlarındaki değerlik elektronları d veya f alt düzeylerine dağılmıştır. Bu nedenle geçiş metal elementlerinin d veya f orbitallerinin tam dolu olmadığı iyonları renklidir. Geçiş metal bileşiklerinin renkli olmaları d orbitallerindeki elektron geçişlerinden ileri gelmektedir. Elektron geçişleri başlıca iki türdür. Bunlardan birincisinde metalin d orbitallerinin birindeki elektron, yine metalin diğer bir d orbitaline geçer. Böyle geçişlere d-d geçişi denir. d-d geçişlerinde, atomdan atoma elektron göçü söz konusu değildir. İkinci tür elektron geçişlerine yük aktarımı geçişi denir. Bu geçişler iki türdür. Birincisinde metal ağırlıklı bir orbitalden ligand ağırlıklı bir orbitale elektron geçişi olur. Diğerinde ise ligand ağırlıklı bir orbitalden metal ağırlıklı bir orbitale elektron geçişi olur. Yük aktarımı geçişlerinde atomların başlangıç ve son hallerindeki yüklerinde önemli ölçüde değişiklik olur. Yük aktarımı geçişleri izinli geçişler olduğundan olasılığı fazladır ve buna karşılık olan ışık soğurmasında çok şiddetlidir. d-d geçişleri ise genelde yasaklı geçişlerdir. Onun içinde ışık soğurması zayıftır. Kaba bir karşılaştırma yapılırsa, d-d geçişleri soluk renklere, yük aktarımı geçişleri de belirgin renklere neden olur.

2.2. Alaşım ve Alaşımlama

İki ya da daha çok metalin, bazen de bir metal ile karbon gibi bir ametalin birleştirilmesi ile elde edilen üstün mekanik değerler taşıyan metalurji ürünü olan bu yeni türe alaşım adı verilir. Elementler alaşım hâline getirilerek kullanım alanları arttırılır. Çünkü saf metaller sadece belirli özelliklere sahiptir ve arı metallerin yüksek iletkenlik, korozyona dayanıklılık gibi bazı üstün özellikleri olmasına rağmen genellikle yumuşak, mukavemetleri düşük ve pahalıdırlar. Bu nedenle ancak sınırlı kullanma alanları vardır. Alaşımların fiziksel ve kimyasal özellikleri, onu oluşturan metallerinkinden tamamen farklı olabilmektedir. Saf bir metalin bazı özellikleri binde bir oranında bile başka bir metalle alaşım oluşturduğunda tamamen değişebilmektedir. Çok sayıda ve değişik özellikte malzeme elde etmek, mekaniksel özellikleri değiştirmek, fiziksel özellikleri değiştirmek, ısıt işlemlerine uygun hâle getirmek, malzeme maliyetini düşürmek, korozyondan korunmak için alaşım yapılır. Bunun yanısıra alaşımların en büyük yararı, alaşım oluşturulurken asıl metale (ana metale) ilâve edilen metal veya ametallerin ana

metal özelliklerine nasıl tesir ettiğinin bilinmesi ile üstün özelliklere sahip yeni mamullerin elde edilmesine yardım etmesi ve elde edilen bu yeni mamullerin kullanma yerine göre en uygun seçim imkânı vermesidir. Alaşımların bu özelliklerinden dolayı bilim, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle önemi daha da artmaktadır. Örneğin; Prinz 1998’de Science dergisindeki makalesinde magnetoelektronik hızla ilerlemesi nedeniyle, Fe_xNi_{1-x} alaşımlarının teknolojik açıdan çok önemli materyaller olarak ortaya çıktığını vurgulamıştır (Alım 2012).

2.2.1. Alaşım üretimi

Alaşım üretiminde kullanılan çeşitli yöntemlerden en önemli üç tanesi şunlardır:

- Toz karıştırma metodu ile alaşım üretimi; mikroskobik boyutlardaki metal tozlarının karıştırılarak yüksek basınç altında preslenmesiyle yapılır. Tozların preslenmesi sırasında presleme basıncına göre gözenek miktarı azalmaktadır. Gözenek miktarına göre mukavemet değeri değişmektedir.
- Eritme metodu ile alaşım üretimi; alaşımı meydana getirecek olan metaller hesaplanır ve tartılır (Tüm elementlerin maliyetlerini hesaplamak iyi bir ilkedir. Bunlardan bazılarının örneğin platin, paladyum, iridyumun az miktarda eklenmesi bile pahalıya mal olabilmektedir). Grafit pota içine, yüksek erime sıcaklığına sahip olan metal yerleştirilir ve eritilir. Daha sonra bu metalden daha düşük erime sıcaklığına sahip olan metaller sıra ile pota içinde eritilir. Eritme işlemi sırasında potada oluşabilecek oksitleri önlemek için oksit önleyici maddeler (boraks, karbonat) katılır. Uçmadan meydana gelecek eksikliği tamamlamak için erime noktası düşük olan metalden biraz daha fazla miktarda konulur.
- Sinterleme metodu; yüksek sıcaklıklarda partiküllerin birbirine bağlanmasını sağlayan ısıtma işlemidir. Bu bağlanma ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle oluşur ancak çoğu zaman sıvı faz oluşumunu da içerebilir. Sinterleme metodu ile alaşım üretimi, önceden hazırlanmış metal veya alaşım tozları belirli

oranlarda karıştırılır ve şekillendirilir. Sonra yüksek sıcaklıklarda kontrollü atmosferde uzun süre ısıtılarak difüzyon yoluyla birbirine kaynatılarak yeterli dayanıma sahip katı bir yapı oluşturulur. Parçacıklar arası bağlanma mikro yapıda temas eden parçacıklar arasında boyun büyümesi ile kendini gösterir. Boyun büyümesi ham mukavemete oranla mukavemetin artmasını ve diğer birçok faydalı özelliğin gelişmesini sağlar. Sinterleme yüksek sıcaklıklarda atomların hareketi ile parçacıkların birleşmesi sonucu serbest parçacıklara göre yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir.

2.2.2. Alaşımlandırma ve içyapı oluşumu

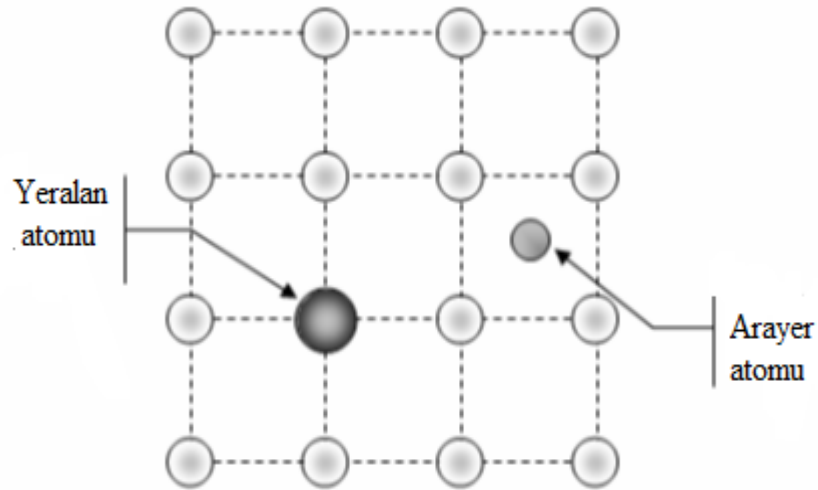
Herhangi bir alaşım oluşturacak A ve B elementlerinin cinslerine bağlı olarak, oluşturabilecekleri içyapı (katı halde alaşımın içyapısını) ikiye ayrılmaktadır. İlk seçenek olarak tek bir cins kristal oluşabilir. Bu durumda yapı, bir kristal cinsinden oluşur ama çok kristal (polikristal) yapıdadır. Bu kristal cinsi alaşım elementlerinden birinin kristal şekli olabilir (katı eriyik) veya her iki elemente ait atomlar alaşım elementlerinin her birinin kristal cinsinden tamamen farklı bir kristal kafesi ve atom yerleşim biçimi ile başka bir kristal türü oluşturabilirler. İkinci seçenek olarak alaşımı oluşturan metaller alaşım içerisinde her biri ayrı ayrı kendi kristalini oluşturabilirler (kristal karışımı). Bu kristaller diğer elementi sınırlı oranda eritebilir. Belli oranda eritilmiş olarak yapı içerisinde katı eriyik kristalleri halinde bir arada bulunabilirler.

Alaşımın içyapısının hangi fazlardan oluşacağı alaşım elementlerinin: Kimyasal özelliklerine (elektron konfigürasyonu, elektronegatiflik gibi), atom çaplarının büyüklüğüne (atom çapı oranlarına), büyük ölçüde her bir metalin kendi kafes yapılarına bağlı olarak ortaya çıkar (Demirci, 2004).

Alaşımın yapı bakımından (içyapı oluşumu bakımından) üç şekilde meydana gelirler;

- Katı eriyikler şeklinde,
- Ayrı ayrı kristaller şeklinde,
- Katılama olayı ile meydana gelirler.

Katı eriyikler; metallerin büyük çoğunluğu kafes yapısı içerisinde belli sayıda yabancı atom barındırabilirler. Metallere katkı elemanları erimiş halde katılır. Değişik tür atomlar sıvı halde kolayca karışarak homojen sıvı eriyik oluştururlar. Katılaşma sırasında yabancı elemanlar kafes yapıda varlığını korursa katı eriyik elde edilir. Bu işleme alaşımlandırma, elde edilen metale alaşım denir. Katkı elemanına alaşım elemanı, kafes yapıya sahip ana eleman eriten, içinde dağılmış halde bulunan eleman ise eriyen adını alır. Katı eriyik oluşumunda eriyen elementin atomlarının ana kafes içerisindeki yerleşim konumlarına göre metalik katı eriyiklerin iki türü vardır. Bunlardan birincisi arayer katı eriyiği iken ikincisi ise yeralan katı eriyiği (asal yer katı eriyiği) dir (Şekil 2.5).



Şekil 2.2. Yeralan atomunun ve arayer atomunun metalik kafes sistemindeki gösterimi.

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere yabancı atom esas (asıl) metalin atomu yerine yerleşiyor ise yeralan katı eriyiği, kafes aralarındaki boşluklara yerleşiyor ise arayer katı eriyiği meydana gelir.

Arayer katı eriyiğinde; çözünen metalin atomları çözücü metalin atomlarından küçüktür. Atomik yarıçapı 10^{-8}cm ’den küçük olan H, C, B ve N gibi çözünenler, çözücü metalin atomları arasındaki boşluklara dağılmışlardır. Örnek olarak sertliğini artırmak için

demire karbon katılması verilebilir. Arayer katı eriyiklerinin oluşumunda yer alan katı eriyiği oluşumunda geçerli olan faktörlerden sadece atomik boyut koşulunda bir farklılık vardır. Küçük atomlar kafes yapıdaki atomlar arası boşluğa yerleşerek arayerkatı eriyiği oluşturabilirler. Arayer atomlarının kafes içerisinde yer alması sonucu yapının distorsiyona uğraması söz konusudur.

Yeralan katı eriyiği; bu türde çözünen metalin atomları çözücü metalin kristal atomlarının bazılarının yerini almıştır. Boyutları ve kimyasal özellikleri benzeyen atomlardan oluşur. Örnek olarak bakıra nikel karıştırılarak elde edilen madeni paralar verilebilir.

Yer alan katı çözeltisinin oluşabilmesi için Hume-Rothery kuralları olarak bilinen bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu kurallar;

- Kafes yapısı faktörü (kafes yapısı benzerliği)
- Atom boyut faktörü (atom yarıçap yakınlığı)
- Kimyasal faktör (kimyasal ilgi)
- Rölatif valens faktörü (valens elektron sayısı) dır.

Kafes yapısı faktörü; metallerin birbirlerini her oranda eritebilen katı eriyik oluşturabilmeleri için, bu metallere ait kristallerin kafes yapılarının aynı veya benzer olması gerekir. %100 katı eriyik oluşumunun gerçekleşebilmesi için kafes sistemlerinin aynı olması gerekir.

Atom boyut faktörü; alaşıma giren atomların çapları birbirine ne kadar yakın ise bu elementlerin birbirini çözme olasılığı o kadar yüksektir. Bir çok durumda boyut faktörü geniş katı eriyik bölgesi oluşumuna imkan vermeyebilir.

Sıcaklık arttıkça sınırlı katı eriyik bölgesi genişler. Bu tür alaşımlar çökelme sertleşmesine uygundur. Bu tip eriyiklerde atomların çapları arasındaki fark %14-15'den fazla ise iki elementin birbiri içinde çözülmesi çok sınırlı kalır. Al atomları ile

Cu atomları $\text{\AA}$ farkı daha büyük olduğundan Al'un Cu içinde çözülme oranı %20'yi geçmez. Örneğin kurşun ve alüminyum arasındaki bağıl fark %16 olduğundan, eritilmiş bu iki metal karıştırılıp soğumaya terk edilince, sonunda birbirleriyle birleşmemiş ve karışmamış kurşun ve alüminyum metalleri elde edilir. Buna karşın atom çapları arasındaki fark %7'yi geçmiyor ise bunların her oranda birbiri içinde çözünmesi olanaklıdır. Örneğin; Nikel atomunun çapı 1,245 Å, bakırın atom çapı ise 1,278 Å olduğundan bu iki metal her oranda birleşip farklı karekterde alaşımlar oluşturabilirler.

Kimyasal faktör; alaşımı oluşturacak metallerin (eriyen ve eriten metallerin) birbirlerine olan kimyasal ilgileri (kimyasal faktör) ne kadar az ise katı eriyik oluşturma eğilimleri o kadar fazladır, aksi takdirde kimyasal bileşik oluştururlar.

Rölatif valens faktörü; bir atoma düşen valens elektron sayısının artması katı eriyik bölgesinin genişlemesine yol açar, yani düşük valensli bir metal, içerisinde yüksek valensli metalleri daha fazla eritir. Bunun nedeni düşük valensli metalin bünyesinde yüksek valensli elementi eriterek ortalama valens değerini yükseltmek istemesidir. İki elementin kafes sistemi aynı veya benzer, atom boyutları uygun ise katı eriyik oluşumunda diğer bir koşul olan elektronegatif valens etkisi ön plana çıkar. Bir atomun elektronegativitesi diğer atomdan bir elektronu kendine çekme gücüdür. Elektronegatif valens etkisi, bir araya gelen elementlerin katı eriyik veya ara kimyasal bileşik oluşturma eğilimleri olarak tanımlanabilir. Çözünen elementin elektronegativitesi, çözen elementin ise elektropozitivitesi arttıkça (veya tam tersi) kararlı ara kimyasal bileşik oluşturma eğilimi artar.

İki metal dört şartı da sağlıyor ise her birleşim oranında katı eriyik oluştururlar. Bu kurallara göre bakır grubu gerek atom boyut faktörü gerekse kimyasal bakımdan metallerin ortasında yer aldığından en iyi eritici olarak bilinir. Örneğin bakır bir çok metali (Al, Au, Cd, Mg, Pt, Sn, Zn v.b.) en az %5 oranında çözerek katı eriyik oluşturur. Gümüş de aynı özelliklere sahiptir. Geçiş elementlerinden olan demir (Fe) de bir çok metali (Al, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pt, Sn, V, W v.b.) geniş oranda çözebilir. Periyodik Çizelgenun aynı sırasında bulunan ve atom çapları birbirine çok yakın olan geçiş

elementleri birbirini geniş oranda eritirler. Çok değerlikli, geçiş metalleri grubundan olmayan metallerin (Mg, Al ve Sn metalleri gibi metaller) ise gerek atom boyutlarının ve gerekse kimyasal duyarlılıklarının artması dolayısıyla eritebilirlik sınırları daralır.

Ayrı ayrı kristaller şeklindeki alaşım; alaşımın içyapısı oluşurken iki metalin kristalleri ayrı ayrı oluşur. Metaller birbiri içerisinde çözünmezler. Bu oluşan kristaller birbirleriyle düzenli bir diziliş meydana getirerek oluşan alaşım şeklidir. Bu takdirde alelade bir karışım meydana gelmiştir. Bu alaşım mikroskop altında iki çeşit kristal gösterir. Kurşun-Antimon alaşımı örnek olarak verilebilir.

Katılaşma olayı ile alaşım, bu alaşımlandırma işlemi, yani bir metale istenen element veya elementlerin eklenmesi sıvı halde yapılır. Alaşım kalıplara dökülerek ya mamul parça haline ya da daha sonra şekillendirilmek üzere kütük haline getirilir. Döküm sırasında malzeme katılaşma veya erime sıcaklığında sıvı halden katı hale geçer. İlk katılaşma (çekirdek oluşumu) erime sıcaklığında meydana gelir. Bu sıcaklıkta katı tanecikler oluşur. Malzemenin bulunduğu ortamın sıcaklığı düşük olduğundan malzemenin sıcaklığının daha da düşmesi beklenir. Dolayısıyla katılaşma sıvının soğuk bölgelerine doğru ilerleyerek katı iğnecikler oluşturur. Sonunda çam dalına benzeyen katılar oluşur ki buna dendrit adı verilir. Her bir dendrit farklı yönlerde büyüdüğünden, temas yerlerinde katılaşma tamamlandığında tane sınırları oluşur. İrileşmiş dendritlerin arasındaki dendrit boşluklarını doldurarak sonuçta taneler oluşur. Bu oluşan yeni kristal alaşımı meydana getiren metallerin kristallerinden tamamen farklıdır. Bu oluşan alaşım kristalleri kendini oluşturan metallere göre daha sert ve gevrekler. Ayrıca döküme elverişsizdir. Daha sonra alaşım soğumaya bırakılır ve katılaşma gerçekleşir.

2.2.3. Alaşımların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Alaşımlar kendilerini oluşturan metallere daha farklı ve daha fazla değişik özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerden en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Görünümleri alaşıma katılan elementlerin miktarına göre değişir. Örneğin bakır ve altın gibi renkli madenler yeteri miktarda bulunuyorsa alaşımlar renkli olur.
- Genel olarak alaşımlar kendini teşkil eden elementlerden daha sert fakat daha az levha haline gelebilir ve dayanıklıdırlar. Örneğin bakır, kalayla birleştiği zaman levha haline gelebilme özelliğini kaybeder.
- Alaşımlarda her iki metal, hem katı hemde sıvı halde birbiri içerisinde erimiştir. Metaller birbiri içerisinde erimeyebilirde. Bu takdirde alelade bir karışım meydana gelmiştir. Bu alaşım mikroskop altında iki çeşit kristal gösterir. Kurşun-antimon alaşımı gibi.
- Polikristal yapılı ve inorganik cisimlerdir.
- Alaşımlar yoğun olup maden parlaklığındadırlar. Isı ve elektriği iletirler.
- Yapısında metal olmayan katkı elementi olsa bile asıl eleman kesinlikle metal olduğu için alaşım metal karakterlidir.
- Alaşımın erime noktası kendisini oluşturan elementlerin erime noktalarından daha düşük, daha yüksek veya ara değerde olabilir. Fakat büyük çoğunlukla daha düşük olmaktadır.
- Alaşımlar genellikle kendilerini meydana getiren metallerden daha az aktiftirler. Örneğin, sodyum malgaması suyu daha yavaş ayrıştırır. Halbu ki sodyum suya çok kuvvetli etki yapar.
- Bütün kimyasal elementlerde olduğu gibi metallerde de atomlar moleküller halinde gruplaşmazlar, tek başlarına bulunurlar. Ancak elementlerin alaşım oluşturabilmesi için bu tek tek atomların bir ölçüde gruplaşması gerekir.
- Alaşımlar kendilerini oluşturan elementlerden daha az oksitlenebilen ve asitlerden daha az etkilenebilen karışımlardır.
- Bazı alaşımların alevle yanma özelliği vardır.
- Bir alaşımın parlak yüzeyi üstüne asitler veya bazı kimyasal ayraçlar dökülürse alaşımda muhtelif renkler görülür ve maddenin cinsine göre çeşitli irili ufaklı çukurlar meydana gelebilir.
- Bazı alaşımların üzerinde şekil değişikliği meydana getirilebilir ancak alaşım belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında tekrar eski haline dönebilir.

Bazı geçiş metal alaşımlarının adı ve kullanıldığı yerler aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Geçiş metallerinin kullanıldığı bazı alaşımların adları ve kullanıldıkları yerler.

Alaşım	Adı	Kullanıldığı yerler
$\text{Co}_{42,5}\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{13}\text{FeWMoMn}$	Havar	Kanser tedavisinde, radyoizotop üretiminde
$\text{Ni}_{58}\text{Cr}_{19}\text{Co}_{14}\text{MoTiAlFe}$	Waspaloy	Jet motor uygulamalarında
$\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$	Dilver, Kovar	Cam birleştirme işleminde
$\text{Co}_{49}\text{Fe}_{49}\text{V}_2$	Permendur	Radarlarda, telsizlerde
$\text{Cu}_{75}\text{Sn}_{25}$	Çan metali	Çan imalinde
$\text{Cu}_{65}\text{Zn}_{35}$	Pirinç	Elektrik malzemesi yapımında
$\text{Cu}_{75}\text{Ni}_{25}$	Nikel para	Para basımında
$\text{Cu}_{82}\text{Sn}_{16}\text{Zn}_2$	Bronz	Madalya ve heykellerde
$\text{Cu}_{50}\text{Ni}_{25}\text{Zn}_{25}$	Alman gümüşü	Elektrik reostalarında
$\text{Cu}_4\text{Al}_{95}\text{Mg}_1$	Duralumin	Uçak endüstrisinde
$\text{Cu}_{10}\text{Au}_{90}$	Altın para	Altın para basımında
$\text{Cu}_{25}\text{Au}_{75}$	18 ayar altın	Mücevhercilikte
$\text{Cu}_{10}\text{Ag}_{90}$	Gümüş para	Gümüş para basımında
$\text{Cu}_{37,5}\text{Ag}_{67,5}$	Sterlin	İngiliz gümüş parası ve gümüş eşya yapımında
$\text{Cu}_2\text{Sn}_{45}\text{Sb}_{13}\text{Pb}_{40}$	Babıt metal	Makine yatağı yapımında
$\text{Mg}_{10}\text{Al}_{90}$	Magnalyum	Uçak endüstrisinde ve terazilerde
$\text{Fe}_{97}\text{Cr}_3$	Krom çeliği	Silindir yatağı ve tel yapımında
$\text{Fe}_{85}\text{Cr}_{15}$	Krom çeliği	Mutfak malzemesi
$\text{Fe}_{86}\text{Si}_{14}$	Sert demir	Asit tankı yapımında
$\text{Fe}_{64}\text{Ni}_{36}$	İnvar	Fen aletleri
$\text{Fe}_{86}\text{Mn}_{14}$	Manganez çeliği	Kasa, dolap, taşkırıncı yapımında
$\text{Fe}_{95}\text{Mo}_5$	Molibden çeliği	Yüksek hızlı dökümde
$\text{Fe}_{94}\text{Ni}_6$	Nikel çeliği	Asma köprü yapımında
$\text{Fe}_{97}\text{Si}_3$	Silisyum çeliği	Otomobil yayı
Fe_{92}W_8	Tungsten çeliği	Parça dökümünde
$\text{Ni}_{35}\text{Au}_{65}$	Beyaz altın	Mücevhercilikte
$\text{Sn}_{60}\text{Pb}_{40}$	Lehim	Metalleri birleştirme işleminde
$\text{Ni}_{60}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_{25}$	Nikrom	Elektrik demiri ve ızgarası yapımında
$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	Perm alaşımı	Elektrik transformatörlerinde
$\text{Pb}_{99,5}\text{As}_{0,5}$	Saçma, mermi	Saçma ve mermi yapımında

2.3. Gama Işınları

2.3.1. Gama ışınlarının tanımı ve özellikleri

Gama ışınları, elektromanyetik spektrumdaki en kısa dalga boylu ve en fazla enerjili elektromanyetik radyasyonlardır. Bir çekirdek alfa veya beta parçacığı yayımından sonra uyarılmış düzeyde kalır. Uyarılmış bir çekirdek yüksek enerji durumundan düşük enerji durumuna geçerken fazla enerjiyi dışarıya üç yoldan biriyle (gama ışını yayınlanması, dahili dönüşüm, dahili çift oluşum) atar. Bunlardan gama yayınlanması diğer iki işlemten daha sık görülür. Gama ışınları ayrıca yüksek enerjili bir parçacığın bir başka parçacık ile çarpışması, bir parçacık ve onun anti parçacığının birbirlerini yok ederek foton enerjisine dönüşmeleri ya da atomların parçalanması gibi olaylar sonucu da ortaya çıkarlar. Süpernova patlamaları, nötron yıldızları, pulsarlar ve kara delikler, gama ışın kaynaklarıdır.

Gama ışınları çok yüksek girme gücüne sahip elektromanyetik dalgalar ve birkaç santim kalınlığındaki kurşun bloktan geçebilirler. Fazla iyonlaşmaya sebep olmazlar ve elektrik ve manyetik alanda sapmazlar. Gama ışınlarının dalga boyu $\lambda = 1-0.05 \text{ \AA}$ enerjisi ise 12 keV ile 2,5 MeV arasında değişir (Tanyel, 1994).

Gama ışınları yüksek girginlik özelliklerinden dolayı canlı dokulara zarar verebilir, canlı hücreleri öldürebilir, bu özelliğinden dolayı tıpta, kanserli hücreleri öldürmek için kullanılmaktadır. Gama ışınları uzayda çok uzun mesafeler kat ederek yerküreye kadar gelir ve yerküre atmosferi tarafından soğurulurlar. Işığın farklı dalga boyları yerküre atmosferini geçerek farklı katmanlara ulaşırlar. Gama ışınları evrenin en sıcak bölgelerinde üretilen ışığın enerjik formlarıdır.

2.3.2. Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi

Gama ışınları bir madde üzerine düşürülecek olursa, bu ışınların madde ile etkileşmelerini, etkileşme alanına göre;

- Atomun elektronu ile etkileşme
- Çekirdek ile etkileşme
- Çekirdek ve elektron etrafındaki elektrik alan ile etkileşme
- Çekirdek çevresindeki mezon alanı ile etkileşme olarak gruplandırılır (Şahin, 1999).

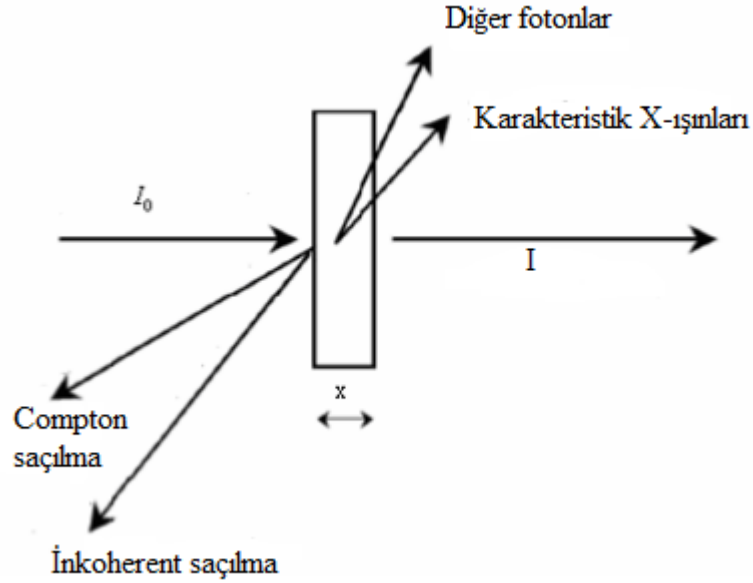
Bu etkileşim sonucunda iki temel olay meydana gelir. Bunlardan birincisi, gama ışınlarının enerjisinin bir kısmını kaybederek oluşan (İnkoherent veya Compton) veya hiç kaybetmeden oluşan (Koherent) saçılma olayı, diğeri ise gama ışının tamamen soğurulması sonucu meydana gelen fotoelektrik olay ve çift oluşumdur. Bu olaylar birbirinden bağımsızdır (Dözen 2006).

Bir radyasyon demeti χ kalınlığındaki bir maddeden geçirilecek olursa, gelen demet ve madde arasındaki etkileşmelerin kompleks bir sonucu olarak, çıkan radyasyon demetinin şiddetinde bir azalma olduğu gözlenir (Şekil 2.3). Madde ile gelen demet arasındaki azaltma olayları ve türü için hedef materyalin kalınlığı ve atom numarasının değeri de önemli bir etkindir. 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 χ (cm) kalınlığındaki bir maddeyi geçtikten sonraki şiddeti;

$$I = I_0 \exp (-\mu\rho\chi) \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada μ (cm^2/g) toplam kütle soğurma katsayısı, ρ (g/cm^3) ise yoğunluktur.



Şekil 2.3. Gama ve X-ışınlarının madde ile etkileşimi.

2.3.2.a. Fotoelektrik olayı

$h\nu$ enerjili bir fotonun, atomun bağlı elektronlarından biri tarafından soğurularak elektronun serbest hale geçmesi olayına fotoelektrik olayı, serbest hale geçen elektrona da fotoelektron denilir (Şekil 2.4 (a),(b),(c),(d)).

Fotoelektrik olayı atomun çevresinde tüm yörüngelerde meydana gelebilir. Foton enerjisinin yüksek olduğu durumlarda bu olayın iç yörüngelerde olma olasılığı artmaktadır. Buna göre fotoelektrik olayı, düşük enerjilerde dış, yüksek enerjilerde ise iç yörüngelerde meydana gelmektedir. Foton enerjisi herhangi bir yörüngenin bağ enerjisine eşit olduğu durumda etkileşme o yörüngede yoğunluk kazanmaktadır (Özden 1977).

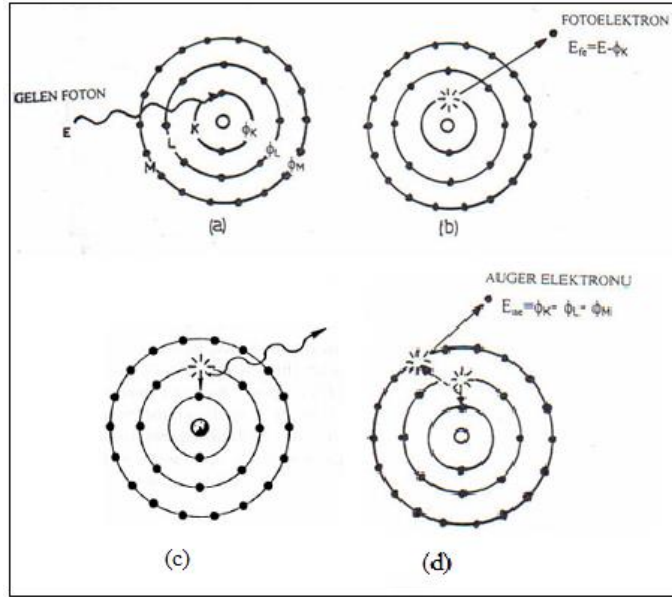
Bu olay sırasında fotonun enerjisini tamamen soğuran elektronun kazandığı kinetik enerji,

$$K_e = h\nu - \phi_K \quad (2.2)$$

bağıntısı ile verilir. Burada K_e elektronun kazandığı kinetik enerji, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi ve ϕ_K ise elektronun bağlanma enerjisidir.

Eğer foton kabuktan bir elektron söker ve dış kabuklarda bulunan herhangi bir elektron bu boşluğu doldurur ise, iki tabakanın bağlanma enerjilerinin farkı kadar bir foton yayımlanır. Bu foton, karakteristik X-ışını olarak adlandırılır. K kabuğunda oluşan bir boşluk L kabuğundaki bir elektron tarafından doldurulursa, yayımlanan karakteristik X-ışını enerjisi $\phi_K - \phi_L$ kadar olacaktır. Oluşan karakteristik X-ışını her zaman atomu terk etmez, bazen bu foton atomun dış kabuklarındaki elektronlardan birisini sökerek yok olur. Bu olaya Auger olayı, sökülen elektrona da Auger elektronu denir. Böylece, meydana getirilen bir boşluk için her zaman bir karakteristik X-ışını yayımlanmaz.

Meydana getirilen boşluk başına X-ışını yayımlanma ihtimali floresans verim (ω) olarak tanımlanır. Floresans verim 0 ile 1 arasında değerler alır. Küçük atom numaralı elementler için Auger elektronu yayımlanma ihtimali, büyük atom numaralı elementlerinkine oranla daha büyüktür. Büyük atom numaralı elementler için karakteristik X-ışını yayımlama ihtimali, küçük atom numaralılarına göre daha büyüktür (Büyükkasap 1991). Bunun sebebi, küçük numaralı atomlarda iç kabuklar arası elektron geçişinden yayımlanan foton enerjisinin, dış kabukların soğurma kıyılarına, büyük atom numaralı elementlerinkinden çok yakın olmasıdır.

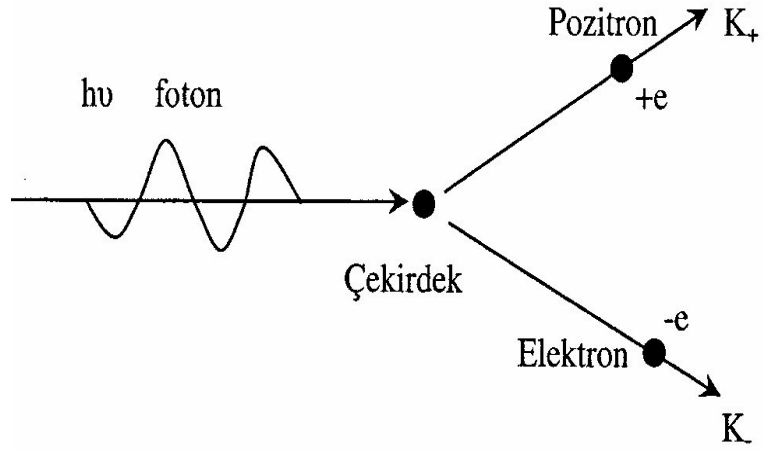


Şekil 2.4. Fotoelektrik olay (a) Gelen X-ışını fotonu (b) Fotoelektron oluşumu (c) K kabuğunda oluşan bir boşluğun doldurulması sonucu oluşan X-ışını (d) X-ışını fotonunun dış tabakadaki elektronlardan birini sökmesi sonucu oluşan Auger elektronu.

2.3.2.b. Çift oluşumu

Çift oluşumu, yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğin etki alanına giren bir fotonun bir elektron ile bir pozitrona dönüşmesi olayıdır. Elektronun ve pozitronun kütlelerinin eşit, yüklerinin ise zıt olduğu göz önüne alınırsa, çekirdeğe yakın yerde oluşan bu olayda hiçbir korunum yasası bozulmaz. Yani yük, çizgisel momentum ve toplam enerji korunur. Momentumun korunumu prensibi ağır parçacığın varlığını gerektirir. Hafif çekirdeklerin alanlarında da çift oluşum mümkündür; fakat böyle durumlarda eşik enerjisi daha yüksektir (Şahin 1999). Çift oluşumu bir çekirdek etrafında veya yüklü bir parçacık etrafında meydana gelebilir (Siegbahn 1974).

Elektron ile pozitronun kütleleri birbirine eşit, yükleri ise eşit fakat zıt işaretlidir. Çift oluşumun meydana gelebilmesi için eşik enerjisi $2m_0c^2$ (1,02 MeV) olmalıdır. 1,02 MeV'den daha büyük enerjili bir foton, yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçerken yok olur ve elektron-pozitron çifti oluşur. X-ışını floresans tekniğinde uyarma için genellikle 1,02 MeV'den daha küçük enerjili fotonlar kullanıldığından çift oluşum olayı çalışmalarımızda söz konusu değildir.



Şekil 2.5. Çift oluşum

2.3.2.c. Koherent saçılma

Koherent saçılma, fotonların atomdan, enerjilerinde bir değişiklik olmadan saçılması olarak tarif edilir. Bu saçılmada gelen fotonla saçılan fotonun dalga boyları aynıdır. Gelen ve saçılan radyasyonun toplam şiddeti, her bir elektron tarafından saçılan radyasyonun genliklerinin toplamı ile bulunur. Bu saçılma: Rayleigh, Delbruck, Thomson ve Nükleer Rezonans saçılmaları olarak sınıflandırılır.

a. Rayleigh saçılması

Bu olay, gelen bir foton bağlı bir elektron üzerine düştüğünde, elektronun atomdan sökülecek kadar enerji alamadığı hallerde meydana gelir. Bu yüzden düşük foton enerjilerinde ve yüksek atom numaralı ağır elementlerde daha çok meydana gelmektedir (Pirene 1946).

Büyük enerjili fotonların hafif elementlerden saçılmasında Rayleigh saçılması, Compton saçılması yanında ihmal edilebilir. Rayleigh saçılması, elektronun etkileşmeden sonra orijinal pozisyonuna döndüğü saçılma olarak da tanımlanabilir. Rayleigh saçılmasından sonra hedef atom değişmeden kalır.

b. Delbruck saçılması

Bu saçılmaya elastik nükleer potansiyel saçılma da denilmektedir. Delbruck saçılması fotonun, çekirdeğin oluşturduğu Coulomb alanından saçılmasıdır. Bu olayda çekirdek çevresindeki durgun Coulomb alanında bir elektron-pozitron çifti oluşur. Atomun tamamen geri tepmesiyle bu çiftin yok olması enerji ve faz bakımından, gelen fotonun aynısı olan yeni bir foton meydana getirir. Bu olayın etkisi oldukça küçük olduğundan deney sonuçlarında çok net olarak gözlenememektedir.

c. Thomson saçılması

Buna nükleer Compton Saçılması adı da verilebilir ve gelen fotonla, serbest elektron yerine çekirdek arasında vuku bulur. Çekirdek kütlesi çok büyük olduğundan bu etki çok küçüktür (Şahin 1989). Gelen fotonun dalga boyunun nükleer yarıçaptan çok büyük olması durumunda maksimum etki gözlenir.

d. Nükleer Rezonans saçılma

Bu saçılma olayı, fotonun atom çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelir. Bu olayda çekirdek iki nükleer enerji seviyesi arasındaki farka eşit enerjiye sahip olan bir fotonun soğrulması ile uyarılır. Daha sonra bunu çekirdeğin uyarılmış durumdan kurtulması (deeksitasyonu) takip eder.

2.3.2.d. İnkoherent saçılma

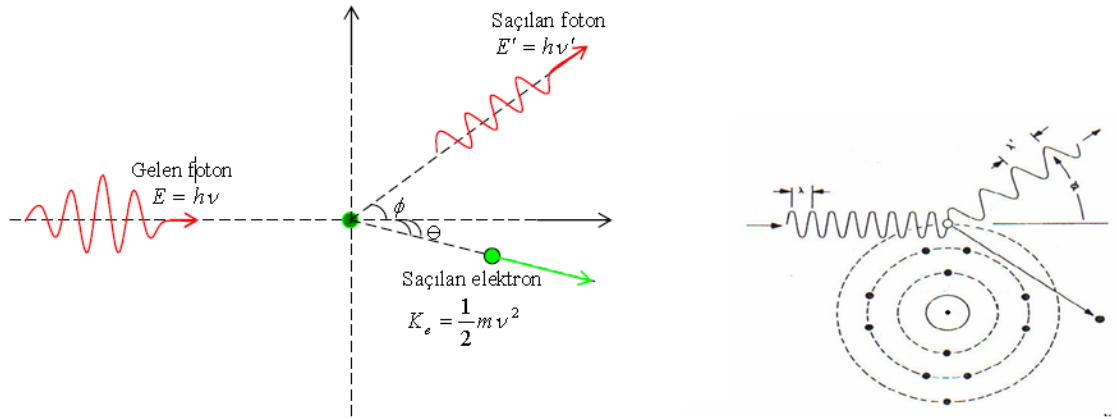
Gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı meydana geliyorsa bu tür saçılmaya inkoherent saçılma denir. Bu saçılmada fazlar arasında bir bağlantı yoktur. Bu sebeple de saçılan dalgalar arasında bir girişim gözlenemez. Bu durumda atom tarafından saçılan ışının toplam şiddeti, atomun her bir elektronu tarafından saçılma şiddetleri

toplanarak elde edilir. İnkohherent saçılma, Compton saçılması, Nükleer saçılma ve Raman saçılması olmak üzere üç çeşittir.

a. Compton saçılması

Compton olayı, ışığın tanecikli yapıda olduğunu gösteren önemli olaylardan biridir. Gelen foton, kendisine kıyasla çok zayıf bağlı veya serbest bir elektron ile çarpışarak enerjisinin bir kısmını kaybeder ve geliş doğrultusundan daha düşük bir enerjiyle sapar. Bir atomda elektronlar gevşek bağlı ve gelen foton enerjileri nispeten büyük olduğundan fotonların atomun elektronları tarafından saçılması Compton saçılması olarak hesaba katılabilir. Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarındaki elektronlarla ilgiliyken, Compton olayı daha çok dış tabaka elektronları ile ilgilidir. Bu sırada gelen fotonla etkileşen elektron yörüngesinden koparılıp belli bir açıyla saçılır.

Şekil 2.6'de görüldüğü gibi ϕ saçılan fotonun geliş doğrultusuyla, θ ise geri tepen elektronun geliş doğrultusuyla yaptığı açıdır.



Şekil 2.6. Compton olayı

Compton olayının teorisi, özel rölativite teorisinin sonuçları ile enerji ve momentumun korunumu kanunları kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu teorinin sonucunda λ

gelen fotonun, λ' ise saçılan fotonun dalga boyu olmak üzere fotonun dalga boyundaki değişim;

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

şeklinde ifade edilir. Burada m_0 elektronun durgun kütlesi, ϕ fotonun saçılma açısı, c ışık hızı, h ise Planck sabitidir. Fotoelektrik olay genellikle K ve L tabakalarına ait elektronlarda baskın olmasına rağmen, Compton olayı dış tabaka elektronlarında daha baskındır.

b. Nükleer saçılma

Bu saçılma İnkohherent saçılma olarak da adlandırılabilir. Fotonun atomun çekirdeği ile etkileşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu saçılmanın toplam İnkohherent saçılmadaki hissesi oldukça azdır (Şahin 1999).

c. Raman saçılması

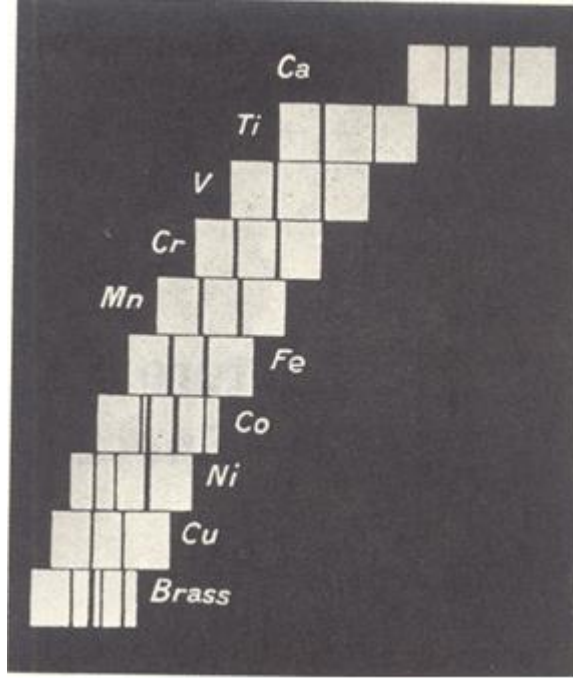
Raman saçılması ikinci mertebeden bir olay olarak da düşünülmektedir. Birinci adımda $h\nu$ enerjili bir foton soğurulur ve atom bir a durumundan n durumuna uyarılır.

İkinci adımda, atom $h\nu'$ enerjili bir foton yayımlar ve uyarılmış n durumundan son b durumuna döner. Atomun son durumu başlangıçtaki durumundan farklı ise saçılma koherent değildir ve bu olay Raman saçılması olarak bilinir. Fotonun moleküller tarafından soğurulması olayıdır. Bu saçılmada, fotunu soğuran molekül, soğurmadan önce uyarılmış bir durumda değilse, gelen fotondan daha az enerjiye sahip bir foton yayımlar.

2.4. X-Işınları

2.4.1. X-Işınlarının tanımı ve özellikleri

10^{-8} m ile 10^{-13} m aralığında dalgaboylarına sahip elektromagnetik dalgalarlardır. X-ışınları Röntgen tarafından 1895 yılında bulunmuştur. X-ışınları keşfinden sonraki bir yıl içerisinde bilim, teknoloji ve tıp alanında teori ve pratikte kullanılmaya başlandı. Hago ile Wind 1899'da bir X-ışını demetini dar bir yarıktan geçirmişler, böylece bir kırınım deseni elde etmeyi başarmışlardır fakat gözlenen desen oldukça küçük olduğu için kabul görmemiştir. Barkla, saçılma deneylerinden, 1906'da X-ışınlarının polarize olabileceğine; 1908'de ise X-ışınlarının hedef maddesinin karakteristik bileşenlerini içerdiğine dair deliller bulmuştur. Bragg, iyonizasyon çalışmaları ile X-ışınlarının parçacık olduğunu ispatlamıştır. 1913'te Moseley, çizgi spektrumlarındaki çizgilerin hedef elementlerin karakteristiği olduğunu ve bunların atom numaraları gibi ardışık olduğunu göstermiştir. Böylece 1920'lerin başında bilinmeyen elementler keşfedilerek periyodik Çizelgenin oluşturulma çalışmaları başlamıştır. X-ışınlarının dalgalı yapıda olduklarının 1921'de Laue tarafından keşfi, Bragg'ın, X-ışınlarının yansıma kanununu bulması, X-ışını spektrumlarının teorisinin Summerfeld tarafından çalışılması ve 1929'da Larson tarafından X-ışınlarının anormal dispersiyonunun keşfedilmesiyle devam etmektedir.



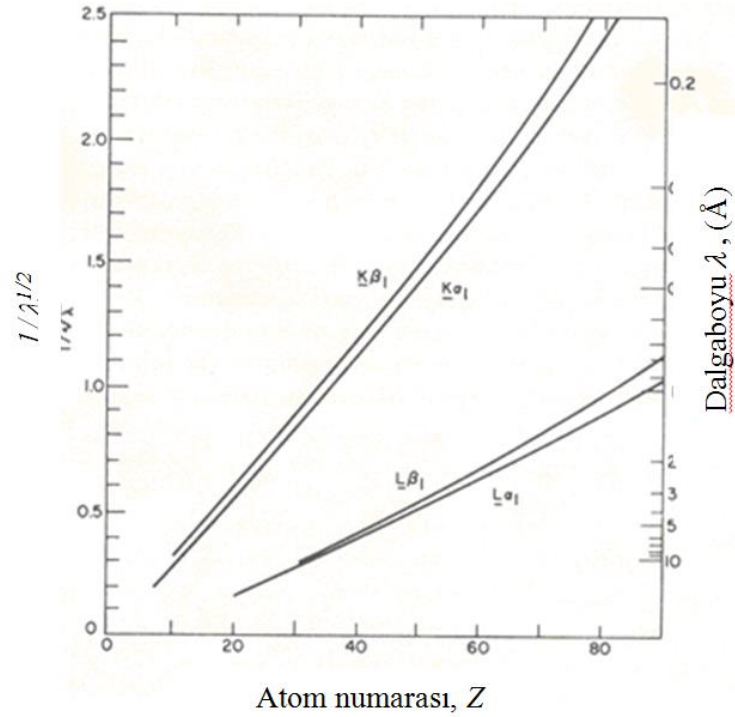
Şekil 2.7. Moseley tarafından yayımlanan ilk X-ışını spektrumu.

XRF (X-Ray Fluorescence)'nin elementin türünü tayin etmeye yarayan kalitatif uygulamasının temeli olan Moseley kanunu,

$$\sqrt{\nu} = \sqrt{\frac{c}{\lambda}} = k(Z - \sigma) \quad (2.4)$$

şeklindedir. Burada ν frekans (Hz cinsinden), c ışık hızı (m/s cinsinden), λ dalgaboyu (m cinsinden), k verilen bir seri için bir sabit, σ ise perdeleme* sabitidir

* **Perdeleme:** Çekirdeğin değerlik elektronlarını çekme gücünün iç elektronlar tarafından engellenmesidir.



Şekil 2.8. Moseley kanununa göre K ve L serisi çizgiler için Z ve $1/\lambda^{1/2}$ arasındaki ilişki.

X-ışınları çekirdek içinde değil, elektronlar seviyesinde meydana gelen bir kısım hadiselerin ürünüdür. Yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleriyle oluşan, elektromanyetik dalgalarlardır. X-ışınları elektromanyetik spektrumda ultraviyole ışık ile gama ışınları arasında yer alır. X-ışınları dalga boylarına göre; dalga boyu $\lambda < 0,1 \text{ Å}$ ise çok sert, $\lambda = 0,1-1 \text{ Å}$ ise sert, $\lambda = 1-10 \text{ Å}$ ise yumuşak, $\lambda > 10 \text{ Å}$ ise çok yumuşak olarak isimlendirilir (Şahin 1989).

X-ışınları kaynaktan çıkarak doğrular boyunca yayılırlar. Elektrik ve manyetik alanların etkisi ile saptırılmazlar. X-ışınlarının bu davranışı, yüklü olmadıklarını gösterir.

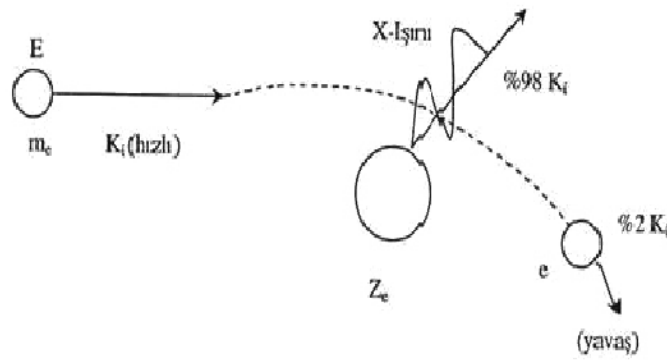
Dalga ve tanecik özelliği gösterirler. Fotoelektrik, Incoherent (Compton) saçılma, gaz iyonizasyonu ve sintilasyon tanecik özellikleri; Coherent saçılma hızı, polarizasyon dalga özellikleridir (Bertin 1975).

X-ışınları tıpta bir tanı aracı olarak ve belirli kanser türlerinin tedavisinde kullanılır. X-ışınları canlı dokulara ve organizmalara zarar verici veya öldürücü etki yaptığından, bu ışınlara gereksiz yere maruz kalmanın önlenmesine dikkat edilmelidir. X-ışınları kristal yapının incelenmesinde de kullanılır. Çünkü X-ışını dalga boyları katı cisimlerdeki atomlar arası uzaklık (0,1 nm) mertebesinde.

2.4.2. X-Işınlarının Oluşumu

2.4.2.a. Sürekli X-ışınları

Sürekli X-ışınları, elektronlar, protonlar veya α parçacıkları gibi yüksek enerjili yüklü parçacıkların ağır çekirdeklerin Coulomb alanından geçerken enerji kaybetmeleri sonucu meydana gelirler. Bu etkileşmeden elektronun ısıdığı enerji, sürekli spektrum veya Bremstrahlung (frenleme ışıması) spektrumu olarak adlandırılır (Bertin 1975).

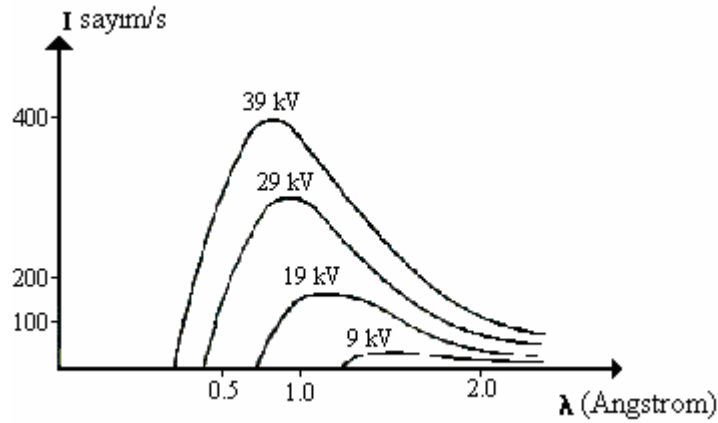


Şekil 2.9. X-Işınlarının oluşumu

Klasik elektromanyetik teoriye göre, ivmeli hareket eden yükler elektromanyetik ışımada bulunurlar. Yüksek enerjili elektronlar bir hedefe çarptıkları zaman bu elektronların enerjilerinin %1'i sürekli X-ışınlarının oluşmasına yol açar. Hedefe (bir X-ışını tüpünde anot hedef numunesidir) çarpan elektronlardan çok az bir kısmının enerjilerinin tamamı soğurulur. Soğurulan enerji karakteristik X-ışını olarak yayımlanır. Bu elektronlar maksimum frekanslı veya minimum dalga boylu ışımalara sebep olurlar.

Bunun dışında, enerjisi kademeli olarak X-ışınlarına dönüşenler de sürekli spektrumun diğer dalga boyu ve frekanslarının oluşumuna yol açar (Tuzluca 2007).

Sürekli X-ışını spektrumları geniş bir frekans aralığını kapsayan sürekli bir ışımaya karşılık gelmektedir. Bu nedenle sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları denir.



Şekil 2.10. Sürekli X-ışınları (Gündüz 1995).

2.4.2.b. Karakteristik X-ışınları ve X-ışınları enerji seviyeleri

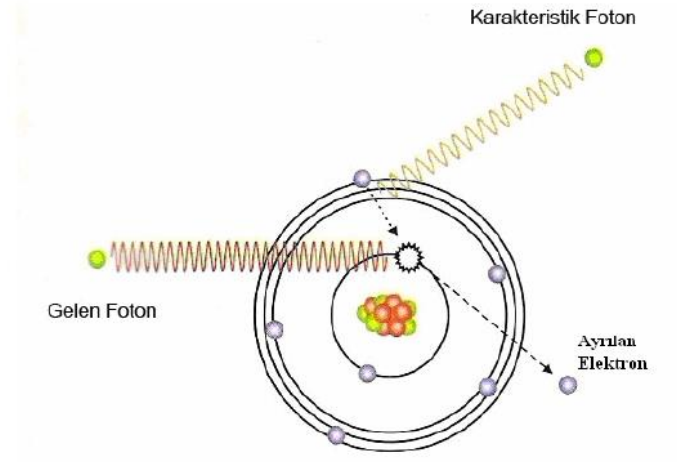
Pauli dışarlama ilkesine göre atomlardaki elektronlar belli yörüngelerde bulunabilirler. Pauli prensibi “*Bütün kuantum sayıları aynı olan iki elektron aynı orbitalde bulunamazlar*”. n baş kuantum sayısı olup yörüngenin ve enerjinin büyüklüğünü belirler. Bu değerlere karşılık gelen kabuklar K, L, M, N, ... olarak isimlendirilirler. Kabuklar arasındaki elektron geçişlerinin uymak zorunda olduğu seçim kuralları vardır. Elektrik dipol seçim kuralları $\Delta n \geq 1$ veya ($\Delta n \neq 0$), $\Delta l = \pm 1$ ve $\Delta j = \pm 1$ ve 0’ dır. Burada Δl ve Δj yörünge ve toplam açısal momentum kuantum sayılarındaki değişimlerdir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Kuantum sayıları ve elektrik dipol seçim kuralları.

Sembolü	Kuantum Sayısı	Anlamı	Aldığı Değerler	Geçiş Kuralları
n	Baş	Elektronun bulunduğu enerji seviyesi	1,2,...n K, L, M, N, ...	$\Delta n \neq 0$
l	Açısal	Orbital açısal momentumu Orbital şeklini belirler	0, 1, ...(n-1) S, p, d, f,	$\Delta l = \pm 1$
m	Manyetik	Manyetik alan üzerinde (l) açısal momentumun izdüşümü. Orbitalin dönme yönü	-l...0...+l	- -
s	Spin	Spin yönünü işaret eder	$\pm 1/2$	-
j	Toplam	l ve s'nin vektör toplamı	$l \pm 1/2, J \neq 0, -1/2$	$\Delta J = \pm 1, 0$

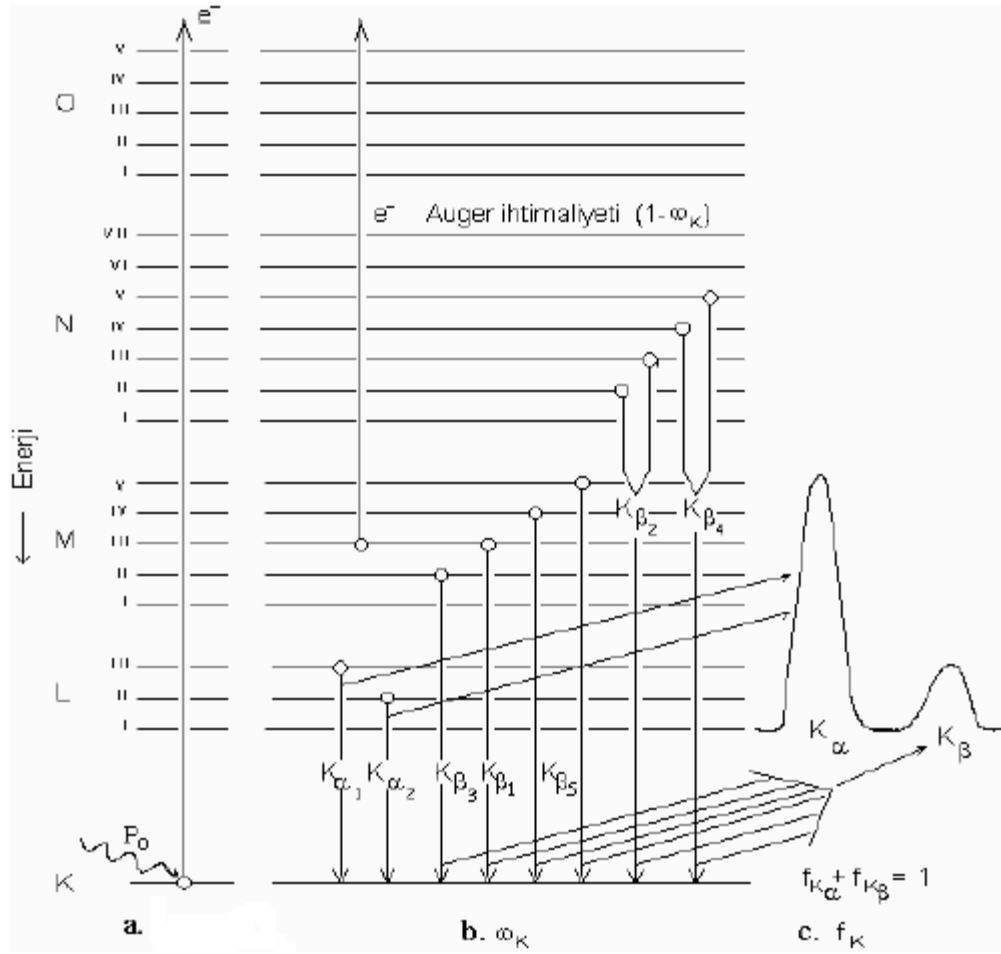
Herhangi bir yolla bir atomdan elektron sökülürse veya daha üst enerji seviyelerine çıkarılırsa atom uyarılmış olur. Bu uyarma genellikle, hızlandırılmış elektronlarla, X-ışını tüpünden yayınlanan X-ışınları ile, radyoizotop kaynaktan yayınlanan fotonlarla, proton, nötron ve α parçacıklarıyla, sekonder X-ışınları ile gerçekleştirilir. Bu yollardan biriyle atomun herhangi bir tabakasından sökülen elektronun yerine çok kısa bir zaman içerisinde (10^{-8} - 10^{-9} sn arasında) üst tabakalardan bir elektron geçişi olur. Çekirdekten daha uzaktaki orbitallerde bulunan elektronlar daha büyük enerjiye sahiptirler. Bu yüzden üst yörüngeden alt yörüngeye geçen bir elektron, aradaki enerji farkını elektromanyetik dalga yani X-ışını olarak verir. Bu geçiş sırasında bir foton yayımlanır. Bu fotona karakteristik X-ışını floresans fotonu denir (Bertin ve Eugene 1975) Şekil (2.12).

Genel olarak, orbital elektronlarının enerjileri yüksek hızlı elektrona göre oldukça düşüktür. Bu yüzden meydana gelen X-ışınlarının enerjileri orbital elektronlarının enerjilerini yansıtır (Şahin 1989).



Şekil 2.11. Karakteristik X-ışını oluşumu (Brouwer 2003).

Yayımlanan tüm X-ışını fotonlarının enerjileri elektronik seviyeler arasındaki enerji farkı ile orantılı olduğundan verilen bir elementten elde edilen çizgiler o elementi karakterize ederler. Bir atomun iç kabuğundaki boşluk oluşumunun üst kabuk elektronu ile doldurulması sonucu serbestleşen enerji her zaman karakteristik X-ışını emisyonu olarak ortaya çıkmaz. Bu enerji dış kabuktan bir elektrona verilerek onun Auger elektronu olarak emite edilmesini sağlayabilir



Şekil 2.12. Atomda elektron geçişlerinin ve karakteristik K X-ışını yayımlanmasının şematik olarak gösterimi

Şekil 2.12’de atomlarda elektron geçişleri ve karakteristik X-ışını yayımlanması şematik olarak gösterilmiştir. Burada, (a) soğurulmayı, (b) karakteristik X-ışını yayımlanma ihtimaliyetini, (c) herhangi bir karakteristik X-ışını çizgisinin yayımlanma yüzdesini temsil etmektedir.

Atomun K tabakasından bir elektron elektromanyetik radyasyon aracılığıyla söküldüğünde, o tabakada meydana gelen boşluk L, M, N,... üst tabakalarındaki elektronlar tarafından doldurulur. Bu boşluk L tabakasından doldurulursa meydana gelen karakteristik X-ışını $K\alpha$, diğer üst tabaka elektronları tarafından doldurulursa $K\beta$ X-ışını olarak adlandırılır Şekil (2.12). L ve M karakteristik çizgileri de benzer şekilde

meydana gelir. K kabuğundaki boşluk diğer kabukların alt kabuklarındaki elektronlar tarafından doldurulduğunda yayımlanan fotonlar Siegbahn ve International Union of Applied and Pure Chemistry (IUAPC) gösterimlerine göre Çizelge 2.4’ de gösterilmiştir (Jerkins *et al.* 1991).

Çizelge 2.4. X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri

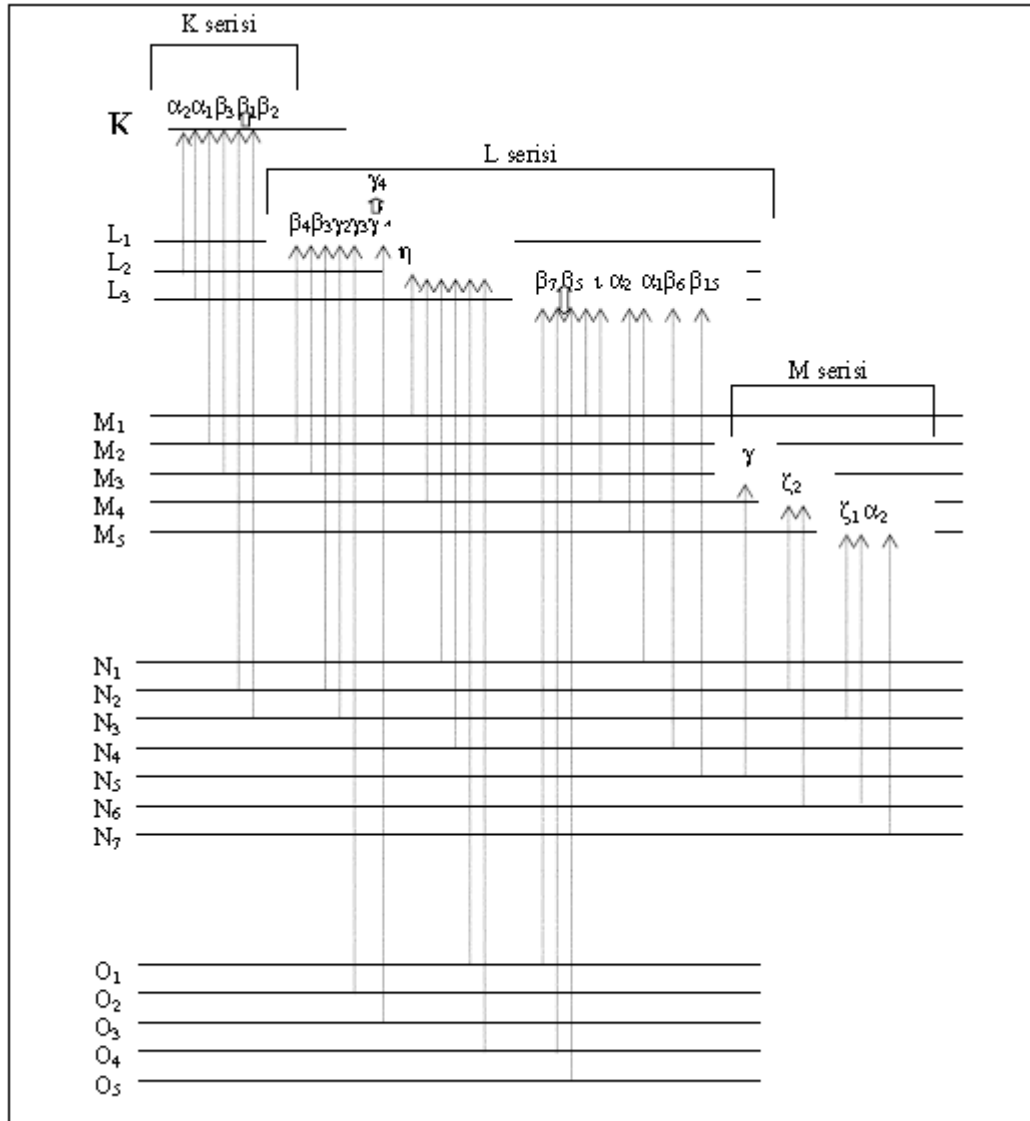
Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K\alpha_1$	$K-L_3$	$L\alpha_1$	L_3-M_5	$L\gamma_1$	L_2-N_4	$M\alpha_1$	M_5-N_7
$K\alpha_2$	$K-L_2$	$L\alpha_2$	L_3-M_4	$L\gamma_2$	L_1-N_2	$M\alpha_2$	M_5-N_6
$K\beta_1$	$K-M_3$	$L\beta_1$	L_2-M_4	$L\gamma_3$	L_1-N_3	$M\beta$	M_4-N_6
$K\beta_{2'}$	$K-N_3$	$L\beta_2$	L_3-N_5	$L\gamma_4$	L_1-O_3	$M\gamma$	M_3-N_5
$K\beta_{2''}$	$K-N_2$	$L\beta_3$	L_1-M_3	$L\gamma_{4'}$	L_1-O_2	$M\xi_1$	M_5-N_3
$K\beta_3$	$K-M_2$	$L\beta_4$	L_1-M_2	$L\gamma_5$	L_2-N_1	$M\xi_2$	M_4-N_2
$K\beta_{4'}$	$K-N_5$	$L\beta_5$	$L_3-O_{4,5}$	$L\gamma_6$	L_2-O_4		
$K\beta_{4''}$	$K-N_4$	$L\beta_6$	L_3-N_1	$L\gamma_8$	L_2-O_1		
$K\beta_{5'}$	$K-M_5$	$L\beta_7$	L_3-O_1	$L\gamma_{8'}$	L_2-N_6		
$K\beta_{5''}$	$K-M_4$	$L\beta_9$	L_1-M_5	$L\eta$	L_2-M_1		
		$L\beta_{10}$	L_1-M_4	$L\ell$	L_3-M_1		
		$L\beta_{15}$	L_3-N_4				
		$L\beta_{17}$	L_2-M_3				

K tayfı, K tabakasındaki boşluklara elektronların geçişlerini takiben oluşur. K tayfı basit bir yapıya sahiptir ve genellikle çok yüksek atom numaralı elementler için oluşan ekstra iki çift çizgiden meydana gelir.

L tayfı, L tabakalarındaki boşlukları doldurmak için elektronların bu boşluklara geçişlerini takiben oluşur. Üç alt tabakaya sahip L tabakası ile tekli K tabakası karşılaştırıldığında, seçim kuralları ile kabul edilen L geçişlerinin sayısı K'dan çok daha fazla olmuş olacaktır. Bu yüzden L tayfı K tayfindan çok daha karmaşıktır ve yüksek atom numaralı elementlerde, 20 ile 30 arasında diyagram çizgileri gözlemek mümkündür. K serilerindeki gibi, önemli sayıda yasak geçişler ve karakteristik çizgiler gözlenebilir. Fakat birincil foton etkisinden sadece çift iyonlaşma ile oluşan çizgiler ve başlıca foto iyonlaşmadan oluşan L serisi çizgileri K serisine benzemez (Tuzluca 2007).

Eğer doldurulan tabaka M tabakası ise M tayfı, N ve O tabakalarından geçişlerle oluşur. Tüm bu geçişlerden meydana gelen X-ışını enerji seviyeleri diyagramı ise Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Birçok analitik X-ışını spektrometrelerinin ölçülebilen dalga boyu bölgesi sadece yaklaşık 20 Å kadar uzatılabildiği için M tayfına çok az sıklıkta rastlanır ve sadece 3 Å' dan büyük vakumlu ortamda görülebilir. Buna rağmen atom numarası $Z > 57$ olan elementlere yaklaşıldığında güçlü M çizgilerine rastlanır. M çizgilerinin büyük çoğunluğu, M emisyon spektrumları geçiş durumlarına göre adlandırılmıştır. Bir elementin L spektrumu ile farklı bir elementin M spektrumu arasında birtakım benzerlikler gözlenmektedir. Her iki tayf yüksek enerji kısıyındaki zayıf çizgilerle yayılan oldukça güçlü bir β ve güçlü bir α ile temsil edilir (Jenkins 1986).

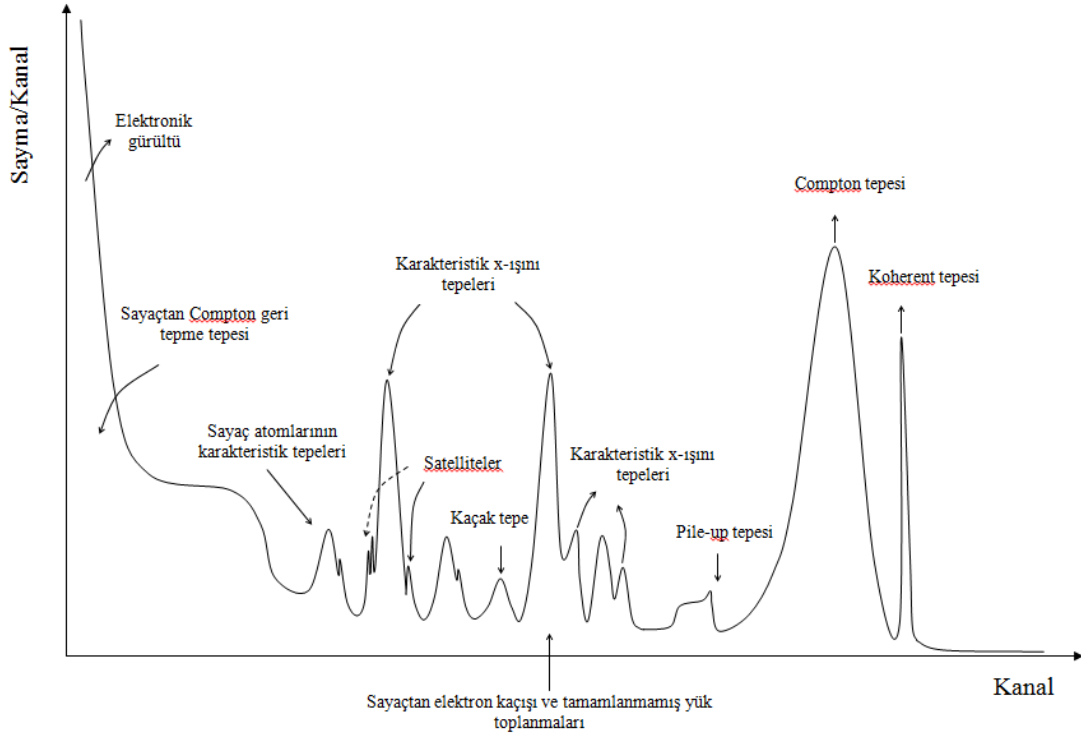


Şekil 2.13. X-ışını enerji seviyeleri diyagramı (Van Grieken and Markowicz 1992)

2.4.2.c. X-ışınları spektrumları

Şekil 2.14’de tipik bir X-ışını spektrumu görülmektedir. Bu spektrum, incelenen numunenin elementlerinden gelen karakteristik pikler haricinde farklı pikler de içerir. Bu spektrumda, karakteristik X-ışının pikleri, koherent saçılma pikleri, inkoherent saçılma pikleri, kaçak pikler ve üst üste binme (pile up) pikleri mevcuttur (Sögüt 2000).

Karakteristik X-ışınları pikleri, incelenen numunenin elementlerinden gelen K, L, M tayf pikleridir. Bu pikler ayrıca, elementlerin içeriği hakkında bilgi verip, onların tespiti için kullanılır.



Şekil 2.14. X-ışını spektrumları

Koherent Saçılma pikleri: Kaynaktan numuneye gelen primer gama ışınlarının, numune içerisinde atomlardan, enerjisini kaybetmeden saçılması sonucu, detektörde sayılmaları ile oluşan piklerdir. (Küçükönder 1988; Sögüt 2000).

Compton Pikleri: Kaynaktan numuneye gelen primer gama ışınlarının, numune içerisinde inkohorent saçılmaya uğradıkları zaman enerjilerinin bir kısmını kaybetmeleri ve detektörde sayılmaları ile bu pikler oluşur. Enerji kaybı yüzünden Compton piki, Koherent pikinden daha düşük enerji bölgesinde oluşur. İnkoherent saçılma birden fazla olduğu gibi, detektör içerisinde de İnkoherent saçılma olabilir. Primer gama ışınlarının enerjisinin artmasıyla Compton ve koherent pikleri arasındaki enerji farkı da artar. Bu

da numune elementlerinin atom numaralarının küçülmesinin, Compton ve koherent pikleri arasındaki enerji farkını büyüttüğünü gösterir (Küçükönder 1988).

Kaçak pikler: İncelenen numuneden salınan, karakteristik X-ışınları fotonları detektöre ulaştıklarında, detektör atomlarının birinden elektronunu sökerek elektron-hole çifti oluşturur. Bu sırada, numuneden sayılan karakteristik X-ışınları, detektöre ulaşamayıp, bir etkileşme yapmadığı zaman, detektördeki fotonlar gerçek enerjisinden daha az enerji ile sayılırlar. Böylelikle düşük enerji bölgesinde pikler meydana gelir. Bu piklere kaçak pikler denilir (Küçükönder 1988).

Üst üste binme pikleri: Detektöre aynı anda gelen iki veya daha fazla karakteristik X-ışını fotonunun, bir tek foton gibi sayılması sonucu oluşan piklerdir. Ayrıca, X-ışınları spektrumunda, bu piklerden başka kolimatör maddesinden yayımlanan karakteristik X-ışınları pikleri de meydana gelir (Küçükönder 1988).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. X- Işını Spektroskopisi ve Spektrometreleri

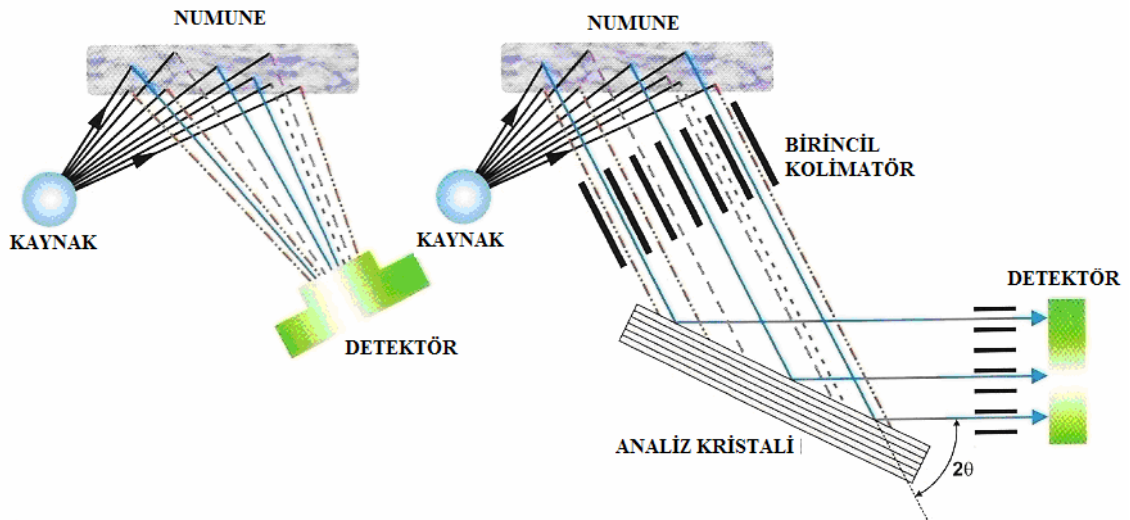
Bir X-ışını floresans spektrometresinde, fotonlar kimyasal analizi yapılacak olan örnek üzerine gönderilir. X-ışını tüpünden veya bir radyoaktif kaynaktan bir X-ışını fotonu numuneye çarptığı zaman, X-ışını ya atom tarafından soğrulur veya numune içinde saçılır. Bir X-ışını atom tarafından soğrulması sonucunda tüm enerjisini en içteki elektrona verir ve bu olay “Fotoelektrik etki” olarak adlandırılır. Bu süreçte X-ışının enerjisi yeterli ise elektronu iç kabuklardan söker ve boşluklar oluşturur. Bu boşluklar atomda kararsız bir durum meydana getirir. Atom tekrar kararlı hale dönebilmesi için dış kabuklardan iç kabuklara elektron transfer eder. Elektronun transferi sırasında kabukların bağlanma enerjilerinin arasındaki fark kadar bir enerjide karakteristik X-ışınları yayımlanır. Karakteristik ışınların dalga boyları her element için sabittir ve elementin karakteristiğidir ve bu durum kimyasal analizinin yapılmasına olanak tanır. X-ışınları yardımıyla yapılan bulma ve analiz işlemi X-ışını floresans analiz olarak adlandırılır.

XRF alanındaki analiz çalışmalarının büyük bir kısmında kimyasal yapı analizleri için “yumuşak” (soft) X-ışını spektrumları kullanılır. Yumuşak X-ışını pikleri, X-ışını yayımlayan atomun etrafındaki elektronik yapıyı (veya kimyasal bağlanmayı) direkt belirleyen yapının anlaşılmasını sağlar. Böylece pik pozisyonundaki kayma, şiddet dağılımındaki değişim veya ekstra piklerin görünümü, oksidasyon durumu, koordinasyon sayısı ve kovalent bağlı ligandların doğası gibi çeşitli kimyasal faktörlerle ilişkilendirilir (Brundle *et al.* 1992).

X-ışını spektrometreleri, karakteristik çizgi şiddetlerinin ölçülebilmesi ve numuneden gelen çok enerjili ışın demetini enerjisine göre ayırmayı sağlar. Bir spektrometrenin, çizgilerin ayrılması için yeterli ayırma gücüne sahip olması gerekir. Aynı zamanda spektrometre, ilgilenilen dalga boyu ve enerji bölgesinde ölçüm yapabilme imkanı

sağlamalıdır. Bu nedenle spektrometre seçiminde; ayırma gücü, karakteristik pik, temel sayma seviyesi, enerji veya dalga boyu aralığı gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Bu faktörler birbirine bağlıdır. Örneğin ayırma gücünün sabit tutulması, mutlak pik şiddetinin düşmesine neden olur. Bir spektrometrenin ayırma gücü, onun çizgileri ayırma kabiliyeti olarak tarif edilir. Ayırma gücü, herhangi bir kaynak-dedektör mesafesinde kalibre edilmiş kaynaklarla tayin edilebilir.

X-ışınları floresans spektroskopisinin başlıca avantajları; tahribatsız olması, numunenin kolay hazırlanması, geniş bir konsantrasyon aralığında kullanılabilmesi, kesinlik ve doğruluğun iyi olması, katı ve sıvı her tür örneğin analizine uygun olmasıdır. Yöntemin dezavantajlarından bazıları ise; hafif elementlere duyarlılığın düşük olması, elementler arası etkileşim nedeniyle düzeltme yapılması gereği (matriks etkisi) dir. X-ışınları floresans spektrometreleri dalgaboyu ayırmalı (wavelength dispersive) ve enerji ayırmalı spektrometreler (energy dispersive) olmak üzere iki çeşittir.



Şekil 3.1. EDXRF ve WDXRF spektrometrelerinin temel planları (Brouwer 2003).

Dalga boyu ayırmalı spektrometreler enerji ayırmalılardan %50 oranında daha hassastırlar. Enerji ayırmalı spektrometreler enerji aralığındaki tüm elementleri aynı anda ölçebilirken, dalga boyu ayırmalı sistemler sadece programlanmış oldukları elementleri ölçebilirler. Bu iki özel sistemde çok yüksek hassasiyete ve aşırı düşük konsantrasyonlu

veya çok düşük boyutlu numuneler ile çalışma imkanlarına sahiptirler. Dalga boyu ayırmalı sistemlerde ayırma gücü, analiz edici kristalin açısall dağılımına ve kolimatör diverjansına bağılıdır. Bu sistemlerde ayırma gücü 10-100 eV aralığındadır. Enerji ayırmalı sistemlerde ise ayırma gücü dedektöre ve dedektör amplifikatörüne bağılıdır. Numuneden dolayı gelen radyasyonun tamamı kristal üstüne düşer. Bir prizmanın farklı renkleri farklı yönlerde kırması gibi bu kristalde farklı enerjileri farklı yönlerde ayırır (Brouwer 2003).

EDXRF spektrometresi ile Na-Pu aralığındaki tüm elementlerin nitel ve nicel analizini yapmak mümkündür. Ayırım gücü kullanılan dedektöre bağılıdır ve 150-600 eV aralığında değişir. Bu dezavantajına rağmen EDXRF spektrometreleri WDXRF spektrometrelerinden daha ucuzdur, daha hızlı analize olanak tanır, numunedeki elementlerin emisyon spektrumunu aynı zamanda oluşturur ve gösterir. İkinci avantajı ise, mekanik olarak kullanım kolaylığıdır (Şahin 1998).

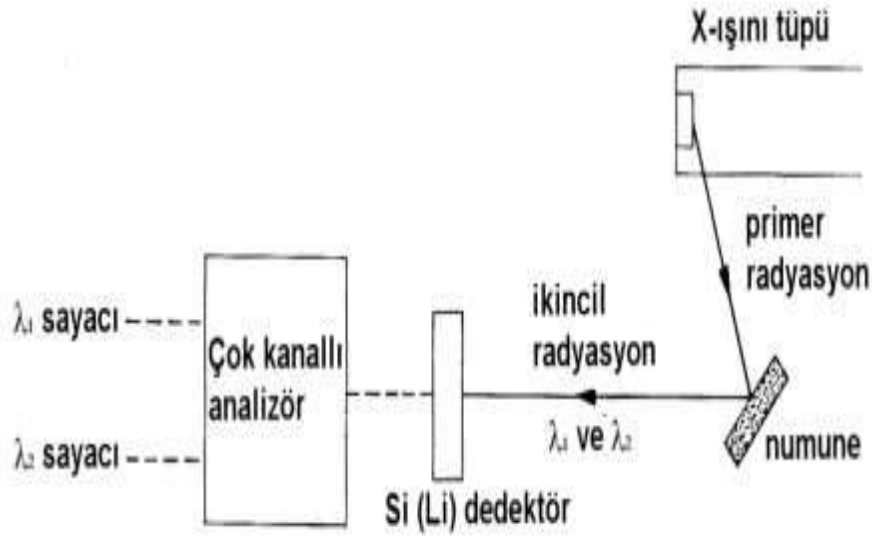
3.2. Enerji Ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi (EDXRF)

Enerji ayırmalı X-ışını floresans (EDXRF), element alanaliz uygulamaları için kullanılan X-ışını floresansının genel iki tipinden biridir. EDXRF spektroskopisindeki gelişmenin en önemli kısmı, 1970'lerin başında lityum sürüklenmiş silikon dedektörlerin Si(Li) gelişimiyle başlamıştır. Daha önceleri EDXRF cihazlar yalnızca sınırlı rezölasyonlara sahip gaz ayırmalı veya sintilasyon sayaçlarından oluşurdu. Bu yüzden bu detektörler yalnızca üst üste binmiş 2 veya 3 elementin karakteristik sinyallerini tespit edebilirlerdi. Fakat katıhal yarıiletken dedektörleri ise çok daha iyi enerji çözünürlüğü gösterebilirlerdi. Sintilasyon ve gaz ayırmalı sayaçlarla karşılaştırıldığında üst üste binmiş pikleri ayırmada katıhal dedektörlerinde daha az problemlerle karşılaşıldı. Yinede analitik sonuçların kesinliği için üst üste binmiş piklerin çözümleme çalışmaları hala devam etmektedir.

Oda sıcaklıklarında radyasyonun tespiti için sayısız katıhal malzeme mevcuttur. Bu sıcaklıklarda dedektörün zayıf akımından ileri gelen gürültü seviyesi yüzünden, kullanılan malzeme geniş enerji aralıklığına sahip olmalıdır. Ayrıca bu malzemelerin yük transfer özellikleri de yüksek olmalıdır.

Günümüzde EDXRF cihazlarını temel alan birçok laboratuarlarda katıhal dedektör tipi olarak Si(Li), yüksek saflıkta HPGe ve Ge(Li) dedektörleri tercih edilmektedir.

Enerji ayrımlı X-ışını floresans spektrometresi, numunedeki elementlerin tümü eş zamanlı olarak uyarılır. X-ışını kaynağından gönderilen primer radyasyon numuneye gönderilir ve numuneden yayımlanan seconder radyasyon detektöre gelir. Sonra elektronik sistem aracılığıyla enerjilerine göre ayrılır (Şekil 3.2).



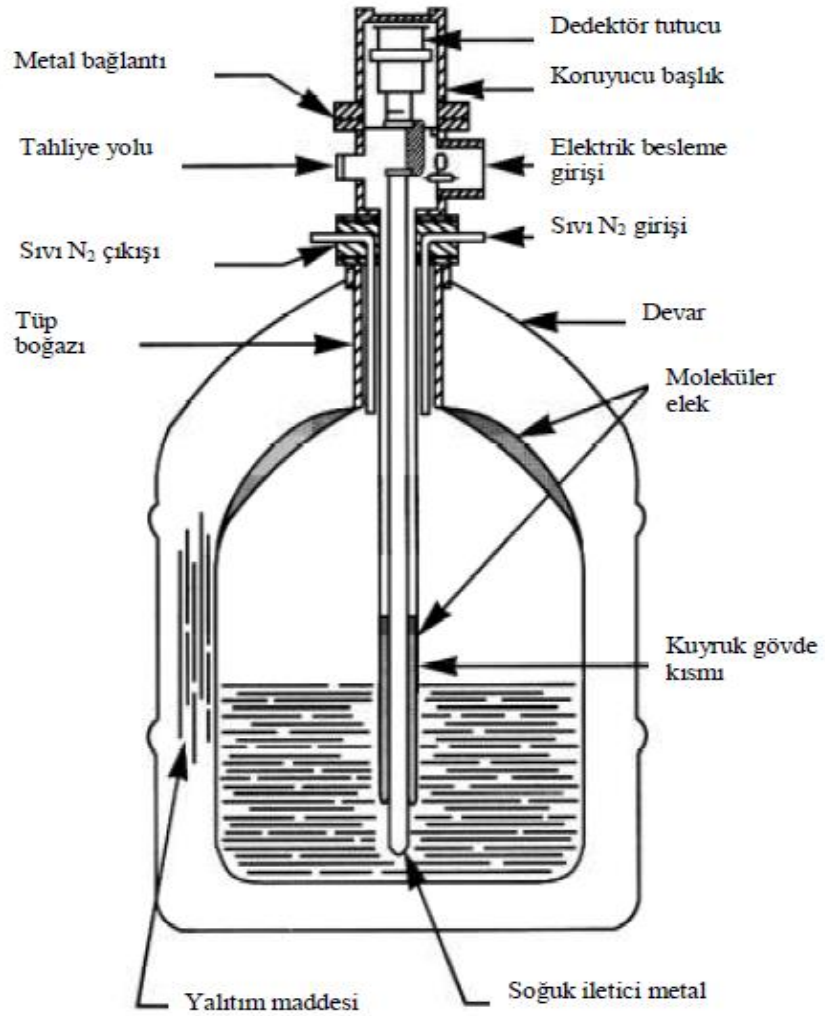
Şekil 3.2. Enerji ayrımlı X-ışını floresans spektrometresi (EDXRF)

3.2.1. Si(Li) yarıiletken dedektörü ve çalışma prensibi

Elementlere ait karakteristik X-ışını spektrumlarını elde etmek için, araştırma alanlarına bağlı olarak çeşitli yarı iletken dedektörler kullanılmaktadır. Yarı iletken dedektörlerde en fazla Si ve Ge kullanılmaktadır. Bir Si(Li) dedektörde elektrotlar, lityum

sürüklenmesiyle elde edilmiş silisyum yüzeyine yaklaşık 200 Å kalınlığında altın buharlaştırılmasıyla elde edilir.

Detektör, en uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulmalıdır. Bunun için detektör, Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sıvı azot devarının içine bağlanmış olan bir vakum odasına monte edilmiştir. Böylece detektörün hassas yüzeyi rutubetten ve diğer kirleticilerden korunmuştur. Detektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmesini önlemek için 30 μm kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır (Debertin 1988).



Şekil 3.3. Kriyostat ve bölümleri.

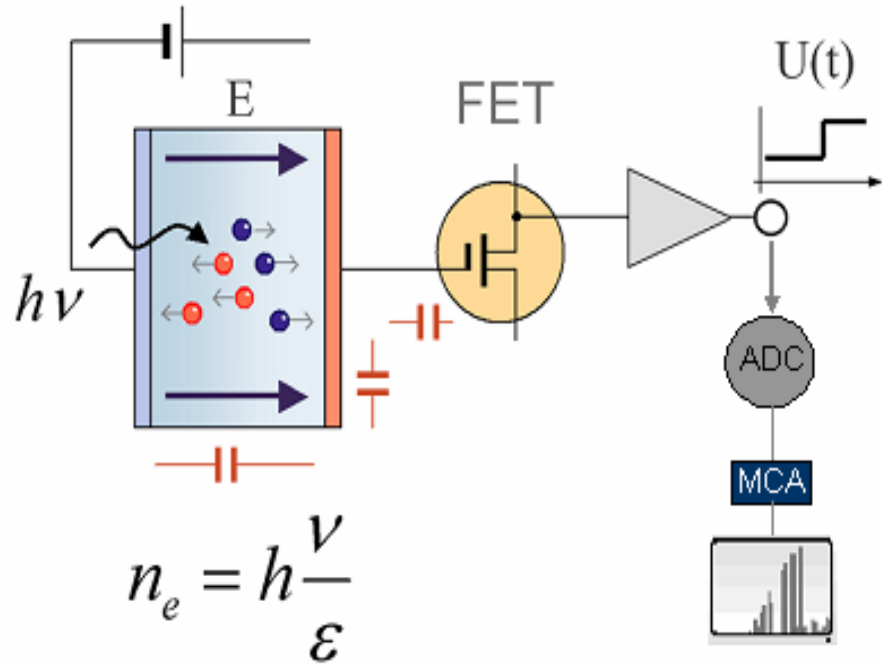
E enerjili bir foton dedektörün aktif bölgesine düştüğünde silisyum atomlarını iyonlaştırır. Foton, enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir. Fotoelektron, enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-boşluk çifti meydana getirerek dedektör içinde hareket eder. Si(Li) dedektörde her bir iyon çifti oluşturmak için en az 3,85 eV enerjiye ihtiyaç vardır. Bu yüzden gelen X-ışını enerjisi 3,85 den büyük olmalıdır.

Si(Li) dedektörüne yaklaşık -500 voltluk ters besleme potansiyeli uygulanır. Meydana gelen elektrik alanı, fotonların oluşturduğu elektron-boşluk yüklerini toplar. Elektrik alanı tarafından toplanan Q yükü dedektöre giren karakteristik X-ışınının E_x enerjisi ile orantılıdır. Yani,

$$Q = \left(\frac{E_x}{3.85} \right) 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \quad (3.1)$$

yazılabilir.

3.2.2. Sayma sistemi



Şekil 3.4. Si yarı iletken diyotunun basit görünümü ve diğer kısımlar

Bir sayma sistemi öncelikle bir dedektör, ön yükseltici ve lineer yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı (HV), çok kanallı analizör (MCA) ve bilgisayar sisteminden oluşur. Dedektörden alınıp bilgisayara ulaşan veriler “Genie 2000” programı yardımıyla görünür ve değerlendirilebilir hale getirilir. Programın kurulu olduğu bilgisayar ve sistemin diğer kısımları arasında interface görevi yapan bir aparattan oluşmaktadır. Bilgisayarda piklerin görünümü için kullandığımız Genie 2000 programı, aynı zamanda yüksek voltaj, ADC, yükseltici gibi sistemleride kontrol edebilmektedir.

3.2.2.a. Yüksek voltaj kaynağı

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör elemanı üzerine bir gerilim uygulanır. En uygun voltaj üretici firmanın belirttiği katalog değerine uygun olarak seçilir. Genie-2000 programında dedektör üzerine uygulanabilecek maksimum gerilim 500 V’a ayarlanmış olup deney süresince uygulanan bu gerilim sabit tutulmaktadır.

3.2.2.b. Ön yükseltici

Katıhal dedektörlerinde, detektör içi bir yükseltme olmadığından alçak gürültülü ve yüksek kazançlı ön yükselticilere ihtiyaç vardır. Gürültü seviyesi, sistem sıvı azot sıcaklığında tutularak azaltılmaktadır. Yani sıvı azot kaynama sıcaklığında (-196°C) muhafaza edilir. Dedektörün yüksek kazançlı olması için FET (field-effect- transistör) kullanılmaktadır. FET akım pulsunu büyülterek potansiyel pulsuna dönüştürmektedir. Modern bir yarıiletken dedektör sistemi ile birlikte yüke hassas ön yükseltici kullanılır. Elektronik gürültüyü en aza indirmek için, genellikle bir alan-etkili transistör (FET) olan önyükselticinin girişi dedektörle aynı tarzda soğutulur. Ön yükselticinin çalışmasını iyileştirmek için FET’in sıcaklığı oda sıcaklığında olan dedektörün dış muhafazasından içeriye biraz ısı sızmasına izin verilerek dedektörden daha sıcak tutulabilir. Ön yükseltici dedektörden gelen yük pulsunu potansiyel pulsuna dönüştürür ve buradan çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri dedektörde toplanan yük

miktarı ile orantılı olmalıdır. Dolayısıyla fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuşsa fotonun enerjisiyle orantılı olmalıdır.

3.2.2.c. Lineer Yükseltici

Bir lineer yükselticinin iki ana görevinden birincisi ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılma için uygun seviyelere yükseltmek, ikincisi ise pulsarı, puls genliği ve X-ışını foton enerjisi arasındaki orantılı ilişkiyi sürdürerek işleme uygun bir forma sokmaktır. Modern sistemler için çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu amplifikatör hem unipolar çıkış (yani, sinyalin pik kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (yani, sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "Shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi rezölasyon 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.

3.2.2.d. Analog dijital dönüştürücü (ADC)

Ön yükselticiden gelen potansiyel pulsarı lineer yükselticide lineer olarak büyütüldükten sonra ADC (analog digital converter) gönderilir. Analog sayısal dönüştürücü (ADC) lineer yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliğiyle ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirir. Bu işleme de analogu sayısal dönüştürme işlemi denir. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı analizörün hafızasında biriktirilir. Sonuçta bu bilgi bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır.

3.2.2.e. Çok kanallı analizör (MCA)

ADC' de analog işlemleri yapılan bu pulslar çok kanallı analizöre (MCA) gönderilir ve çok kanallı analizör sayısal hale getirilmiş pulsları büyüklüklerine göre kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Gerçekte, her bir kanal depolamak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Bu sayımlar sonucu, dedektörün ayırma gücüyle ilgili olarak aynı enerjili karakteristik X-ışını fotonları bir pik oluştururlar. Bu pikler bir araya geldiğinde enerjiye veya dalga boyuna karşı şiddet desenleri oluştururlar ki bu desene X-ışını spektrumu denir.

3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Geometrisi

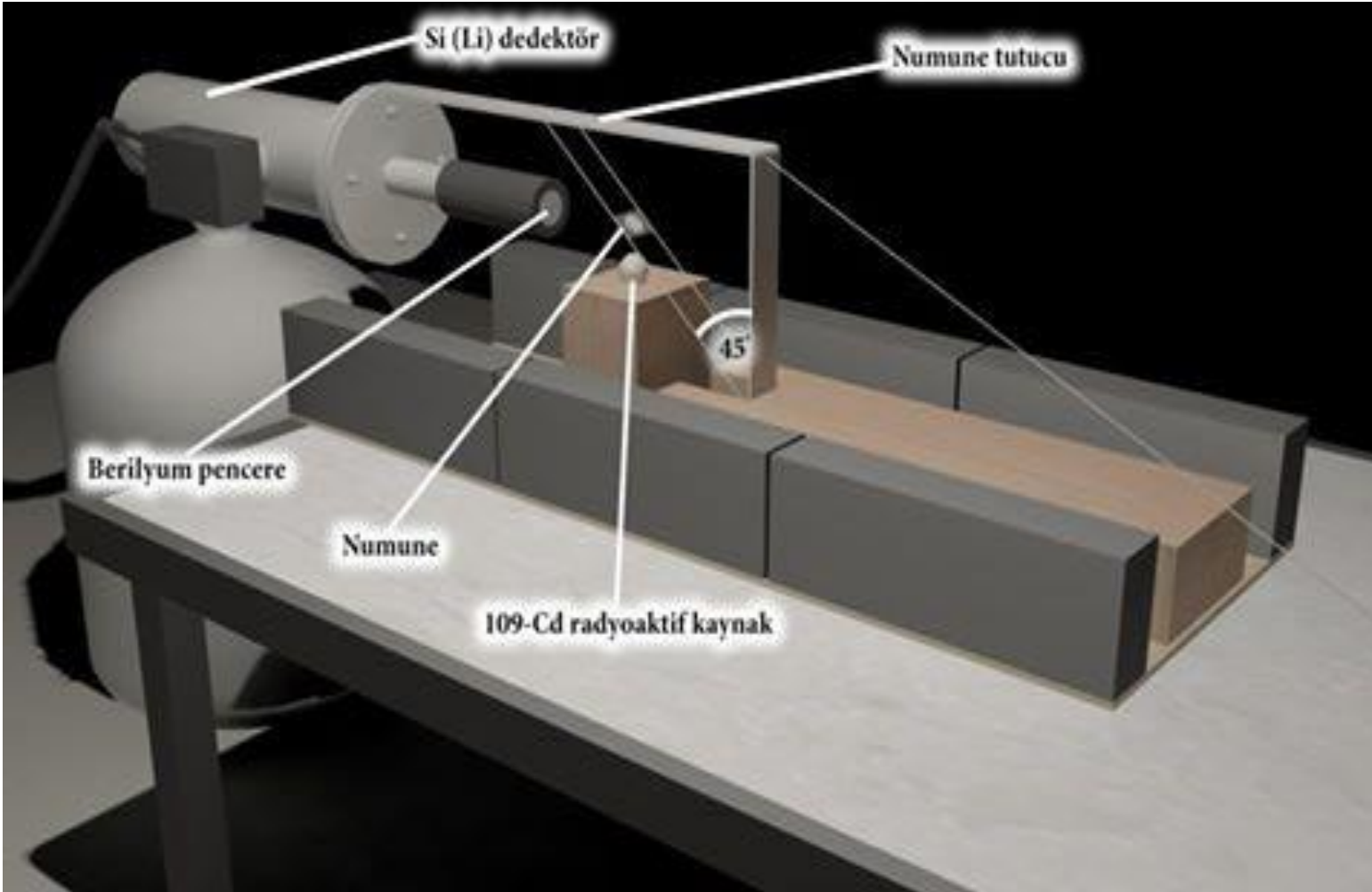
Bu çalışmada Fe, Ni, V, Co, Ti saf geçiş metalleri ve $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$, $\text{Co}_{49}\text{Fe}_{49}\text{V}_2$, $\text{Ti}_{50}\text{Co}_{50}$, $\text{Ti}_{40}\text{Co}_{60}$, $\text{Ti}_{30}\text{Co}_{70}$ alaşımları çalışılarak, elektron konfüğürasyon yapıları araştırılmıştır.

Numunelerin hazırlanması sırasında gelebilecek her türlü zararı ve hatayı en aza indirgeyecek araç-gereçler kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler hassasiyeti yüzbinde bir olan hassas bir terazi ile tartılmıştır. Çalışmada kullanılan geçiş metallerinin ve geçiş metal alaşımlarının bazı özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan numunelerin özellikleri.

Numune	Kütle (miligram)	Çap (mm)	Kütle kalınlığı (g/cm ²)
Fe ₅₄ Ni ₂₉ Co ₁₇	61.81	13	0,046567
Co ₄₉ Fe ₄₉ V ₂	260.47	13	0,196237
Ti ₅₀ Co ₅₀	297,31	13	0,223992
Ti ₄₀ Co ₆₀	378.74	13	0,285341
Ti ₃₀ Co ₇₀	364.79	13	0,274831
Co	498.40	13	0,375492
Ti	246.27	13	0,185538
Ni	10.94	13	0,008242
Cr	34,12	13	0,025705
Fe	27.59	13	0,020786
Mo	140.64	13	0,105957

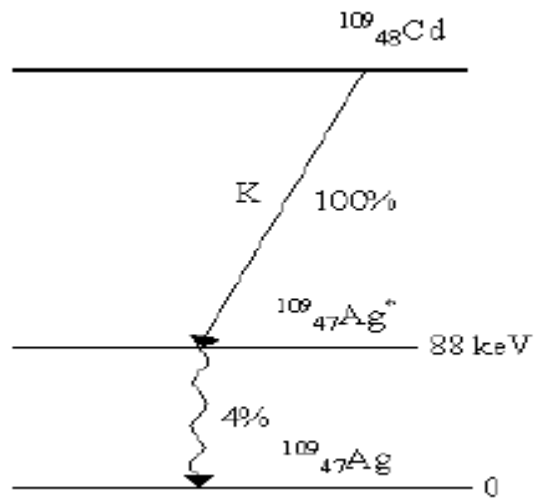
Karakteristik X-ışınlarının şiddetlerini, hem sayma hem de uyarma bakımından etkileyen önemli faktörlerden biri de deney geometrisidir. Deney geometrisi Şekil 3.5’de verilmiştir ve bu deney geometrisinin üstten görünüşü Şekil 3.6’da verilmiştir. Bu geometride K X-ışınlarının uyarılabilmesi için şiddeti 10 mCi olan ¹⁰⁹Cd radyoizotop nokta kaynak kullanılmıştır. Kaynaktan yayımlanan γ -ışınlarının numune üzerine mümkün olduğunca paralel bir demet halinde gelmesi için, Al kapsül (kolimatör) kullanılmıştır. ¹⁰⁹Cd radyoizotop nokta kaynağa ait ışıma şeması Şekil 3.8’de verilmiştir. Numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarının küçük bir katı içerisinde dedektörü görmesi ve ¹⁰⁹Cd radyoizotop nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV lik γ -ışınlarının ise dedektörü doğrudan görmesini engellemek için Pb, Fe ve Al içeren dedektör kolimatörü kullanılmıştır. Deney geometrisinde kaynak numune arası mesafe 3,22 cm, dedektör-numune arası mesafe 4,82 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu değerler deney süresince sabit tutulmuştur.



Şekil 3.5. Deney geometrisi.



Şekil 3.6. Deney geometrisinin üstten görünüşü



Şekil 3.7. ^{109}Cd kaynağına ait ışıma şeması

Deney süresince kaynak-numune ile numune dedektör arasındaki açı 45° olarak belirlenmiştir. Numuneler, Şekil 3.5’de görüldüğü gibi bir numune tutucusunun tam orta noktasına yerleştirilmiştir. Çeşitli saçılmaların ve karakteristik X-ışınlarının ölçüme getireceği etkiyi belirlemek için boş sayımlar alınarak net sayımlar elde edilmiştir. Alınan ölçümler Mathlab 7 programında yazılan ve “Genie 2000” programının formatına göre elde edilmiş ham verileri bir “text dosyası” formatına çeviren bir program vasıtasıyla text dosyasına dönüştürülerek, Microcal OriginPro 7.5 programında çizdirilmiştir. Bu program ve onun bünyesinde yer alan “PFM” (Peak Fitting Module) kullanılarak piklerin enerjileri ve net alanları belirlenmiştir.

3.4. K Tabakası X-Işını Şiddet Oranlarının Belirlenmesi

K tabakası soğurma kıyısından büyük enerjilere sahip fotonlarla uyarılan elementlerin K tabakasının fotoiyonizasyonu ile oluşan boşlukların doldurulması sonucu yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının σ_{K_i} ($i = \alpha, \beta$) flöresans tesir kesitleri, K tabakasına ait atomik parametreler kullanılarak teorik olarak;

$$\sigma_{K_i} = \sigma_{K_i}(E) \omega_K F_{K_i} \quad (i = \alpha, \beta) \quad (3.2)$$

ifadesinden belirlenebilir. Burada $\sigma_{K_i}(E)$; elementin K tabakası için E uyarma enerjisindeki fotoiyonizasyon tesir kesitidir (Scofield 1973). ω_K ; K tabakası flöresans verimidir (Hubbell 1994). F_{K_i} ; K_i X-ışınları için kısmi emisyon hızı (yayınlanma oranı) olup, K_α ve K_β X-ışınları için;

$$F_{K_\alpha} = [1 + (I_{K_\beta} / I_{K_\alpha})]^{-1} \quad (3.3)$$

$$F_{K_\beta} = [1 + (I_{K_\alpha} / I_{K_\beta})]^{-1} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilirler. $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ değerleri Scofield (1974)'in çizelgesinden alınmıştır.

XRF tekniğinde herhangi bir karakteristik K_i X-ışını flöresans tesir kesiti deneysel olarak;

$$\sigma_{K_i} = N_{K_i} [I_0 G \varepsilon_{K_i} \beta_{K_i} t]^{-1} \quad (3.5)$$

ifadesi ile belirlenebilir. Burada N_{K_i} ($i=\alpha, \beta$); ilgilenilen pikin altındaki net sayım, I_0 ; uyarıcı radyasyonun şiddeti, G ; geometri faktörü, ε_{K_i} ; K_i X-ışını grubu için dedektör verimi, t ; numunenin kütle kalınlığı (g/cm^2) ve β_{K_i} ; uyarıcı fotonlar ve yayımlanan karakteristik K X-ışını fotonlarının numunede soğurulmalarını hesaba katan öz soğurma düzeltme faktörüdür ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\beta_{K_i} = \frac{1 - \exp[-(\mu_i/\cos\theta_1 + \mu_e/\cos\theta_2)t]}{(\mu_i/\cos\theta_1 + \mu_e/\cos\theta_2)t} \quad (3.6)$$

Burada, μ_i ve μ_e ; sırasıyla uyarıcı fotonlar ve yayımlanan karakteristik X-ışınları için kütle soğurma katsayılarıdır (g/cm^2). θ_1 ve θ_2 ; sırası ile uyarıcı fotonların ve yayımlanan X-ışınlarının çalışılan geometride numune yüzeyinin normali ile yaptıkları açılardır ve bu çalışmada $\theta_1=45^\circ$ ve $\theta_2=45^\circ$ dir. t ; numunenin kütle kalınlığı olup cm^2/g olarak verilir. μ_i ve μ_e değerleri WinXCOM (Gerward *et al.* 2001) * programı kullanılarak hesaplanmıştır. (3.4) ifadesinde yer alan I_0 , G ve ε_{K_i} 'nin ayrı-ayrı ölçülmesi veya hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcıdır. Fakat bunların çarpımı olan $I_0 G \varepsilon_{K_i}$, ilgili enerji bölgesinde çizgileri olan çeşitli elementlerin K X-ışınlarının şiddetleri ölçülmek suretiyle belirlenebilir. Bu ölçüler asıl ölçülerin alındığı deney geometrisi ve ortam şartları muhafaza edilerek alınmalıdır. (3.4) ifadesinden hareketle;

$$I_0 G \varepsilon_{K_i} = N_{K_i} [\sigma_{K_i} \beta_{K_i} t]^{-1} \quad (3.7)$$

yazılabilir. σ_{K_i} 'nin (3.1) ifadesinden hesaplanan değerleri, farklı uyarma enerjileri için (3.6) ifadesinde kullanılırsa, herhangi bir enerji için $I_0 G \varepsilon$ değeri belirlenebilir. Bu değerler uyarma enerjisi E 'nin bir fonksiyonu olarak çizilirse, bu grafikten asıl ölçülerde kullanılan uyarıcı foton enerjisindeki $I_0 G \varepsilon$ değeri bulunabilir. Esasen $I_0 G \varepsilon$ enerjinin fonksiyonu olarak

$$E_{K_\alpha}^3 \log(I_0 G \varepsilon) = A_0 + A_1 \cdot E_{K_\alpha} + A_2 \cdot E_{K_\alpha}^2 + A_3 \cdot E_{K_\alpha}^3 \quad (3.8)$$

bağıntısına fit edilebilir. Burada E_{K_α} ; X-ışını enerjisi, A_0, A_1, A_2 ve A_3 ; en küçük kareler metodundan bulunabilecek sabitlerdir. Bu şekilde bulunan fit edilmiş değerlerle deneysel değerler arasındaki fark %2'den küçüktür. Aslında bu farkın önemli bir kısmı K veya K_α tepesinin tek enerjili tepe olmamasından, dolayısıyla enerji için hesaplanan ortalama değerlerin enerjiyi tam temsil etmemesinden kaynaklanmaktadır (Han 2009).*

Buna göre I_{K_β}/I_{K_α} K X-ışını şiddet oranları için (3.4) ifadesinden hareketle;

$$\frac{I_{K_\beta}}{I_{K_\alpha}} = \frac{N_{K_\beta}}{N_{K_\alpha}} \frac{\beta_{K_\alpha}}{\beta_{K_\beta}} \frac{\varepsilon_{K_\alpha}}{\varepsilon_{K_\beta}} \quad (3.9)$$

eşitliği yazılabilir. Burada $N_{K_\beta}, N_{K_\alpha}$; ilgili piklerinin altındaki net sayım, $\beta_{K_\beta}, \beta_{K_\alpha}$; numunenin ilgilenilen çizgileri için öz soğurma düzeltme katsayıları ve $\varepsilon_{K_\alpha}, \varepsilon_{K_\beta}$; ilgili K X-ışınları için dedektör verimleridir.

4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

Bu çalışmada; Fe, Ni, V, Co, Ti saf geçiş metalleri ve $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$, $\text{Co}_{49}\text{Fe}_{49}\text{V}_2$, $\text{Ti}_{50}\text{Co}_{50}$, $\text{Ti}_{40}\text{Co}_{60}$, $\text{Ti}_{30}\text{Co}_{70}$ geçiş metal alaşımlarının K tabakası X-ışınları, ^{109}Cd radyoizotop nokta kaynaktan yayımlanan 22,69 keV'lik γ -ışınları uyarımı ile ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre:

$\text{Ti}_{40}\text{Co}_{60}$ alaşımından elde edilen K X-ışını spektrumu grafik halinde Şekil 4.2'de verilmiştir. Ölçüm sonuçlarının tüm numuneler için hesaplanmasıyla elde edilen K_{β}/K_{α} X-ışını şiddet oranları ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$; herhangi bir düzeltme işlemine tabi tutulmamış şiddet oranları, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$; gerekli düzeltme işlemi yapıldıktan sonraki şiddet oranları ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$; alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları), Çizelge 4.1'de, Çizelge 4.3'de ve Çizelge 4.4'de verilmiştir.

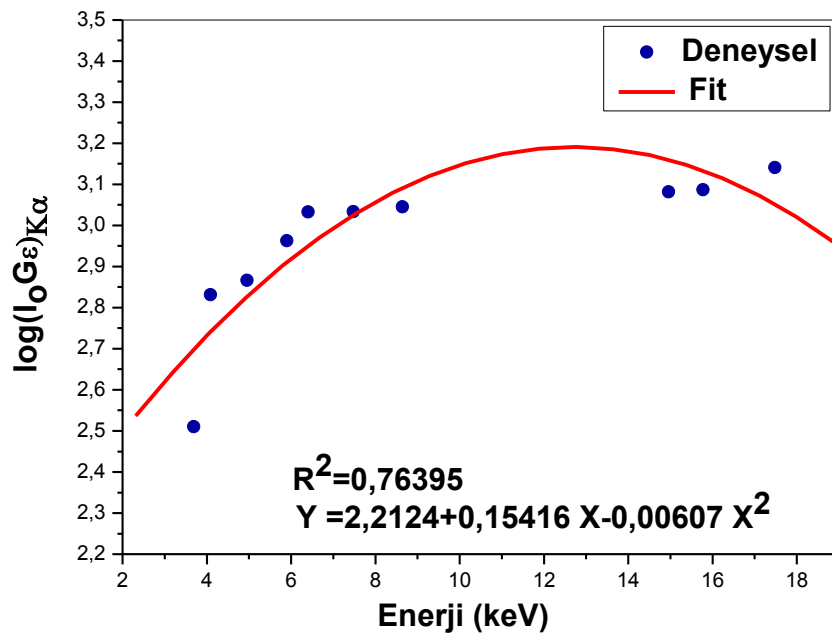
$\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alaşımlarını oluşturan ilgili metaller için deneysel olarak elde edilen $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları bu metallerin farklı elektron konfigürasyonları için *MCDF* hesaplamaları sonucu elde edilmiş değerler ile karşılaştırmalı bir şekilde grafiksel olarak Şekil 4.3'de verilmiştir.

Alaşımları oluşturan geçiş metalleri için 3d elektronlarının sayısı (n_{3d}), 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı ($n_{4s,4p}$), saf metale kıyasla 3d elektron sayısındaki değişimler (Dn_{3d}); hesaplanan $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları kullanılarak belirlenmiş ve alaşımlar için 3d ve 4s, 4p elektronlarının toplam sayıları Tn_{3d} ve $Tn_{4s,4p}$, saf metaller için ölçülen değerlerin alaşımlar için ağırlıklı toplamından elde edilen 3d ve 4s, 4p elektronlarının toplam sayıları Tn_{3d}^* ve $Tn_{4s,4p}^*$ ile birlikte çizelgeler halinde, Çizelge 4.2, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

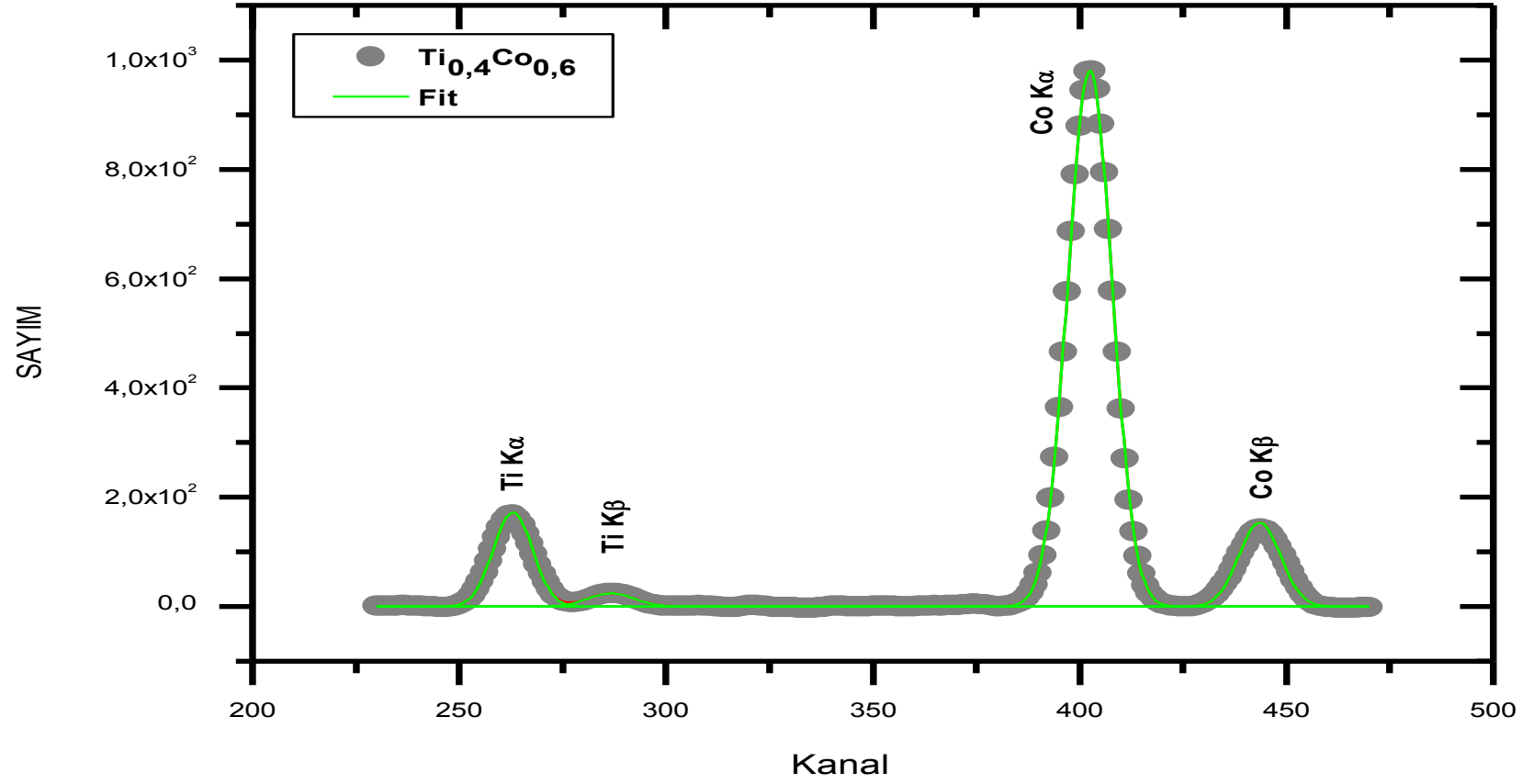
$\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alaşımını oluşturan metaller için 3d elektron sayılarının metallerin alaşımdaki kendi konsantrasyonlarına bağlı değişim grafikleri, Şekil 4.4'de verilmiştir.

Ti_xCo_{1-x} alaşımlarını oluşturan metallerin 3d elektron sayılarında meydana gelen rölatif değişim (pür metallere kıyasla) grafikleri elementlerin alaşımdaki kendi konsantrasyonlarına bağlı olarak çizilmiştir. Bu grafikler, Şekil 4.5’de verilmiştir.

Şiddet oranlarını belirlemek için (3.2-9) denklemlerinden yararlanılmıştır. K X-ışını şiddet oranlarını hesaplamak için gerekli olan verim faktörünü ($I_0G\varepsilon$) elde etmek için ana ölçülerin alındığı deney geometrisinde aynı deney koşulları muhafaza edilerek ilgili enerji bölgesine düşen Ca, Sc, V, Mn, Fe, Ni, Zn, Y, Zr ve Mo elementlerinin K X-ışınları ölçülmüş ve bu elementlerden elde edilen K_α X-ışını şiddetlerinden faydalanılmıştır. Bu şekilde elde edilen $I_0G\varepsilon$ değerlerinin enerjiye göre değişimi, Şekil 4.1’de verilmiştir.



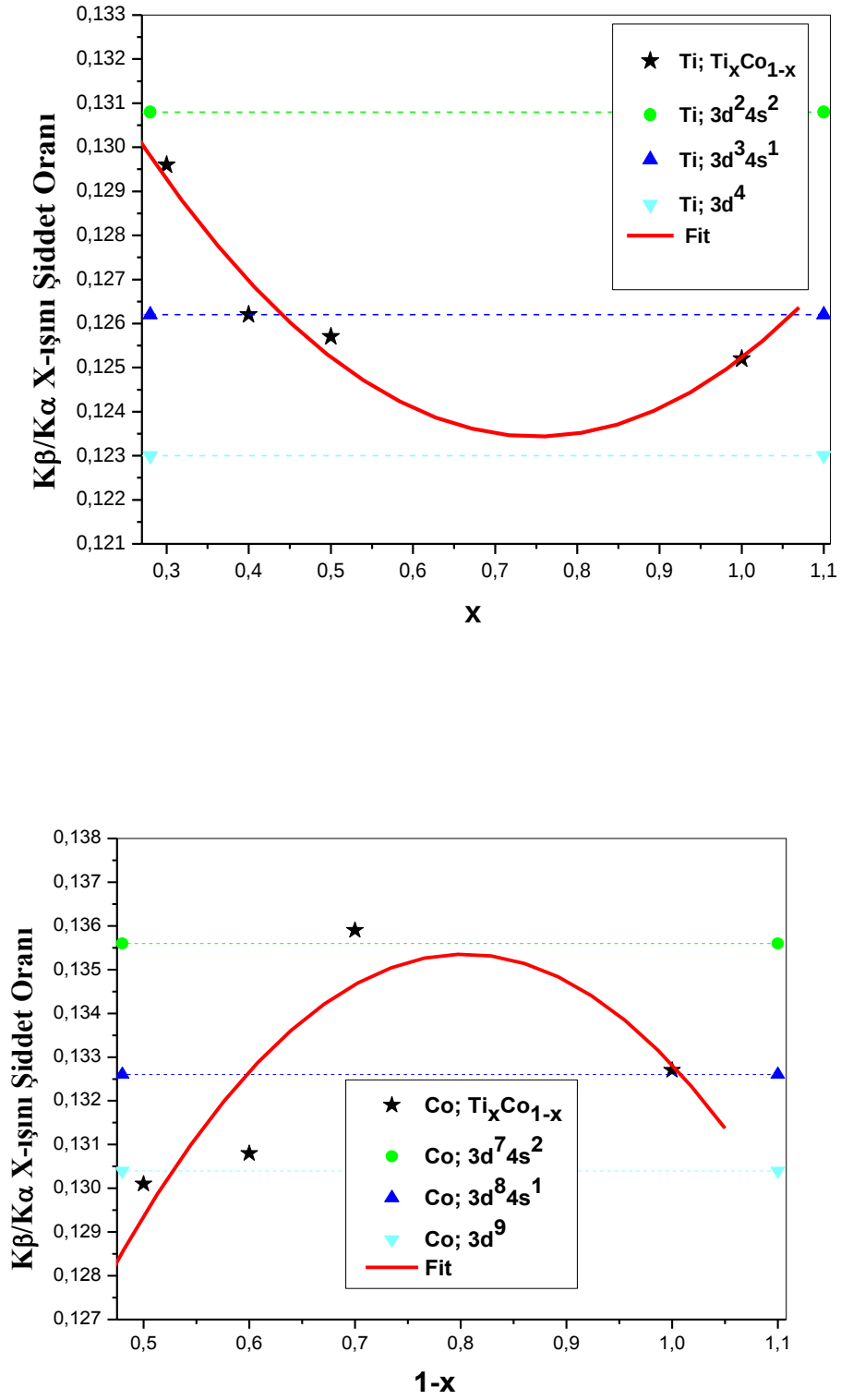
Şekil 4.1. K X-ışını şiddet oranlarını hesaplamak için $I_0G\varepsilon$ değerleri.



Şekil 4.2. $\text{Ti}_{0,4}\text{Co}_{0,6}$ alaşımı için elde edilen K X-ışını spektrumu

Çizelge 4.1. $\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alaşımlarında K_β/K_α X-ışını şiddet oranları ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$ düzeltilmemiş, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ düzeltilmiş ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$ alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları)

Element veya Alaşım	Ti			Co		
	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$
Ti	0,1708	0,1252	1,0000	-----	-----	-----
Ti _{0,5} Co _{0,5}	0,1715	0,1257	1,0035	0,1770	0,1301	0,9894
Ti _{0,4} Co _{0,6}	0,1723	0,1262	1,0078	0,1762	0,1308	0,9857
Ti _{0,3} Co _{0,7}	0,1768	0,1296	1,0352	0,1822	0,1359	1,0242
Co	-----	-----	-----	0,1747	0,1327	1,0000



Şekil 4.3. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co için deneysel olarak elde edilen $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının farklı elektron konfigürasyonları için elde edilmiş *MCDF* hesaplamaları ile karşılaştırmalı olarak gösterimi

Çizelge 4.2. $\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alaşımlarında 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.

Element veya Alaşım	Ti			Co			$\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$			
	n_{3d}	$n_{4s,4p}$	Dn_{3d}	n_{3d}	$n_{4s,4p}$	Dn_{3d}	Tn_{3d}	Tn_{3d}^*	$Tn_{4s,4p}$	$Tn_{4s,4p}^*$
Ti	3,2694	0,7306	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
$\text{Ti}_{0,5}\text{Co}_{0,5}$	3,1313	0,8687	-0,1381	9,1733	-0,1733	1,2115	6,1523	5,6156	0,3477	0,8844
$\text{Ti}_{0,4}\text{Co}_{0,6}$	3,000	1,0000	-0,2694	8,7878	0,2122	0,8260	6,4727	6,0848	0,5273	0,9152
$\text{Ti}_{0,3}\text{Co}_{0,7}$	2,2336	1.7664	-1,0358	6,9127	2,0873	-1,0491	5,5090	6,5541	1,9910	0,9459
Co	-----	-----	-----	7,9618	1,0382	-----	-----	-----	-----	-----

n_{3d} : Alaşımı oluşturan metaller için K X-ışını şiddet oranları kullanılarak belirlenen 3d elektron sayıları,

$n_{4s,4p}$: Alaşımı oluşturan metaller için 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı,

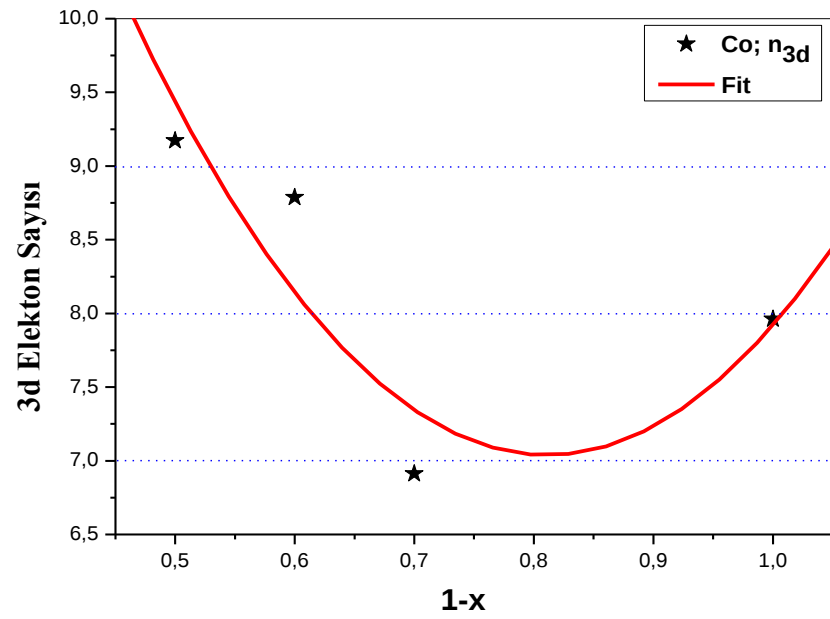
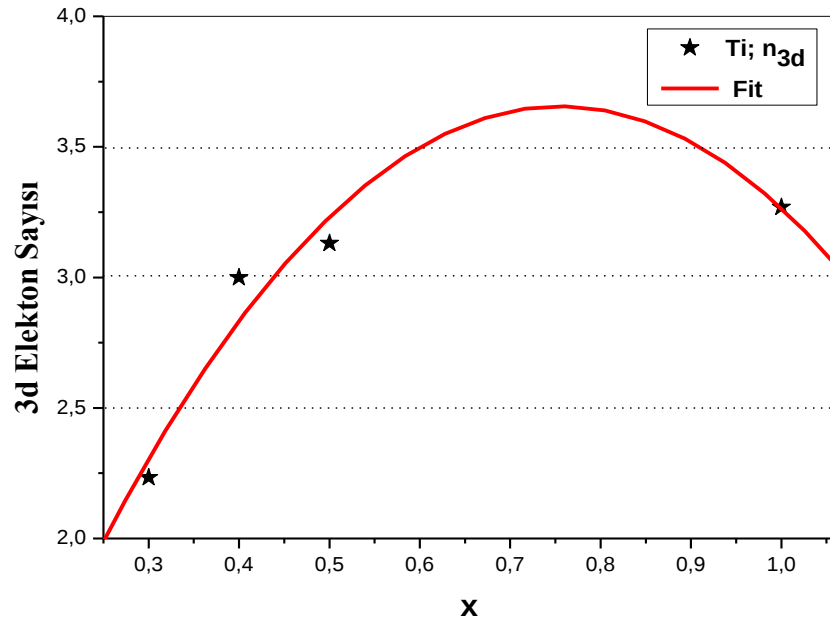
Dn_{3d} : İlgili metalin alaşımdaki 3d elektron sayısının saf halindeki ile kıyaslandığında 3d elektron sayısındaki değişim,

Tn_{3d} : Alaşımdaki 3d elektronlarının toplam sayısı,

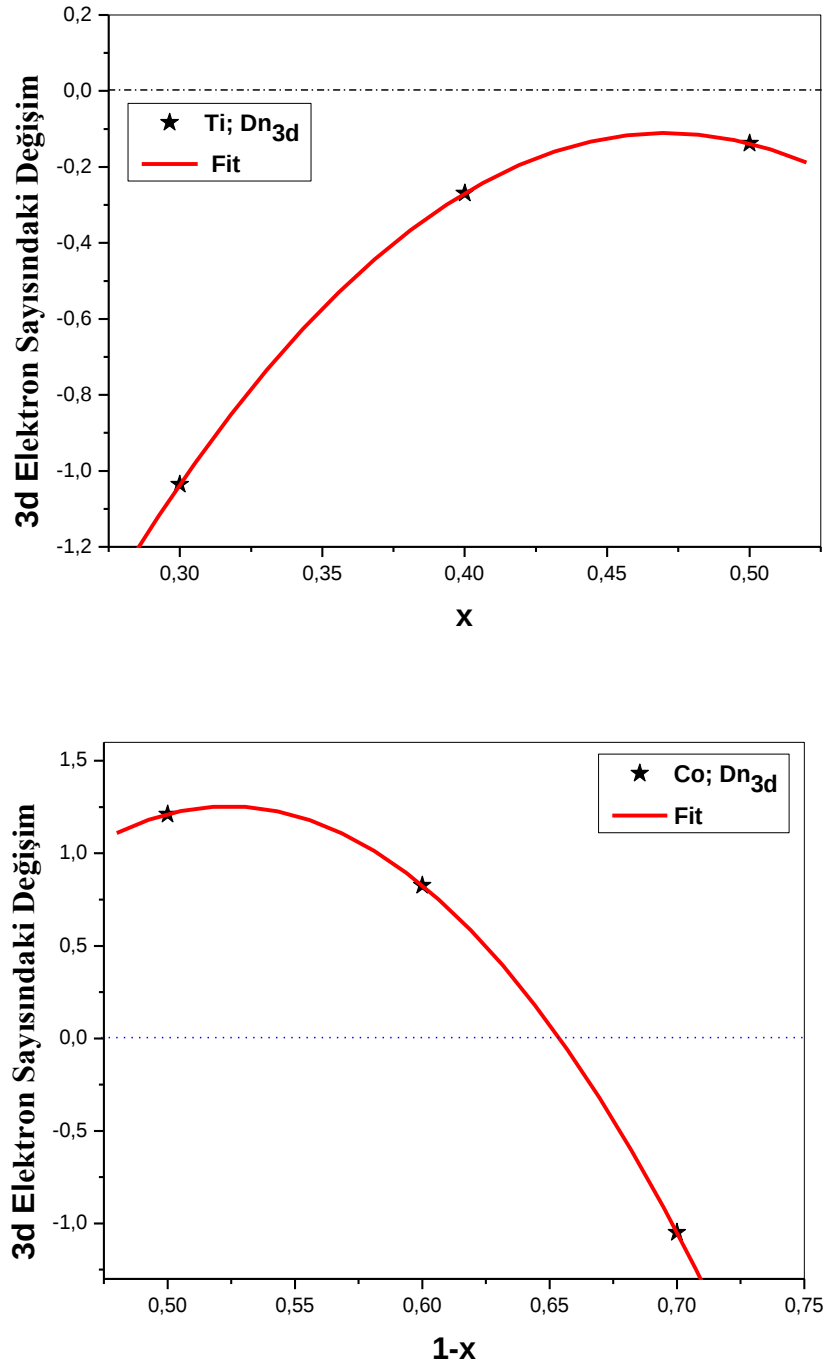
Tn_{3d}^* : Saf metaller için elde edilen 3d elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaşım için elde edilen toplam 3d elektronu sayısı,

$Tn_{4s,4p}$: Alaşımdaki 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı,

$Tn_{4s,4p}^*$: Saf metaller için elde edilen 4s, 4p elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaşım için elde edilen toplam 4s, 4p elektronu sayısı,



Şekil 4.4. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co için 3d elektron sayılarının metallerin kendi konsantrasyonlarına bağlı değişimleri.



Şekil 4.5. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co'nun 3d elektron sayılarındaki değişimlerin (pür metaller ile kıyaslandığında) metallerin alaşımdaki kendi konsantrasyonlarına bağlı olarak gösterimi.

Çizelge 4.3. Fe_{0,54}Co_{0,17}Ni_{0,29} alaışımında $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları. ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$ düzeltilmemiş, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ düzeltilmiş ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$ alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları).

Element veya Alaşım	Fe			Co			Ni		
	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$
Fe	0,1641	0,1298	1,0000	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	0,1747	0,1327	1,0000	—	—	—
Ni	—	—	—	—	—	—	0,1549	0,1346	1,0000
Fe _{0,54} Co _{0,17} Ni _{0,29}	0,1713	0,1293	0,9962	0,0855	0,2189	1,6493	0,1526	0,1393	1,0351

Çizelge 4.4. Fe_{0,49}Co_{0,49}V_{0,02} alaışımında $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları. ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$ düzeltilmemiş, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ düzeltilmiş ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$ alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları).

Element veya Alaşım	Fe			Co			V		
	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$	$N_{K\beta}/N_{K\alpha}$	$I_{K\beta}/I_{K\alpha}$	$R_{K\beta}/R_{K\alpha}$
Fe	0,1641	0,1298	1,0000	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	0,1747	0,1327	1,0000	—	—	—
V	—	—	—	—	—	—	0,1708	0,1256	1,0000
Fe _{0,49} Co _{0,49} V _{0,02}	0,1762	0,1320	1,0172	0,0565	0,1339	1,0087	0,1703	0,1254	0,9987

Çizelge 4.5. Fe_{0,54}Co_{0,17}Ni_{0,29} alaışımında 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.

Element veya Alaışım	Fe			Co			Ni			Fe _{0,54} Co _{0,17} Ni _{0,29}			
	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	Tn _{3d}	Tn _{3d} [*]	Tn _{4s,4p}	Tn _{4s,4p} [*]
Fe	7,7941	0.2059	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	7,9618	1,0382	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	—	—	—	—	—	—	8,5000	1,5000	—	—	—	—	—
Fe _{0,54} Co _{0,17} Ni _{0,29}	8,0548	-0,0548	0,2607	-3,7937	12,793	11,755	7,1181	2,8819	-1,3819	5,7689	8,0273	2,9811	0,7227

n_{3d}: Alaışımı oluşturan metaller için K X-ışını şiddet oranları kullanılarak belirlenen 3d elektron sayıları.

n_{4s,4p}: Alaışımı oluşturan metaller için 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı.

Dn_{3d}: İlgili metalin alaışımındaki 3d elektron sayısının saf halindeki ile kıyaslandığında 3d elektron sayısındaki değişim.

Tn_{3d}: Alaışımındaki 3d elektronlarının toplam sayısı.

Tn_{3d}^{*}: Saf metaller için elde edilen 3d elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaışım için elde edilen toplam 3d elektronu sayısı.

Tn_{4s,4p}: Alaışımındaki 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı.

Tn_{4s,4p}^{*}: Saf metaller için elde edilen 4s, 4p elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaışım için elde edilen toplam 4s, 4p elektronu sayısı

Çizelge 4.6. Fe_{0,49}Co_{0,49}V_{0,02} alaşımda 3d elektron sayıları ve rölatif değişimleri.

Element veya Alaşım	Fe			Co			V			Fe _{0,49} Co _{0,49} V _{0,02}			
	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	n _{3d}	n _{4s,4p}	Dn _{3d}	Tn _{3d}	Tn _{3d} [*]	Tn _{4s,4p}	Tn _{4s,4p} [*]
Fe	7,7941	0,2059	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	7,9618	1,0382	—	—	—	—	—	—	—	—
V	—	—	—	—	—	—	4,7905	0,2095	—	—	—	—	—
Fe _{0,49} Co _{0,49} V _{0,02}	6,8928	1,1072	-0,9013	7,5335	1,4665	-0,4283	4,8714	0,1286	0,0809	7,1663	7,8162	1,2637	0,6138

n_{3d}: Alaşımı oluşturan metaller için K X-ışını şiddet oranları kullanılarak belirlenen 3d elektron sayıları.

n_{4s,4p}: Alaşımı oluşturan metaller için 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı.

Dn_{3d}: İlgili metalin alaşımdaki 3d elektron sayısının saf halindeki ile kıyaslandığında 3d elektron sayısındaki değişim.

Tn_{3d}: Alaşımdaki 3d elektronlarının toplam sayısı.

Tn_{3d}^{*}: Saf metaller için elde edilen 3d elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaşım için elde edilen toplam 3d elektronu sayısı.

Tn_{4s,4p}: Alaşımdaki 4s, 4p elektronlarının toplam sayısı.

Tn_{4s,4p}^{*}: Saf metaller için elde edilen 4s, 4p elektron sayılarının ağırlıklı toplamından, alaşım için elde edilen toplam 4s, 4p elektronu sayısı.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

X-ışını spektroskopisinin ilk günlerinden beri elementler için, daha sonra alaşımlar ve çeşitli bileşikler için $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları deneysel olarak çalışılmıştır. K X-ışınlarının rölatif şiddetlerinin doğru ölçümü atomik iç tabaka iyonizasyon süreçlerinin anlaşılması için ve mevcut teorileri test etmek için önemlidir. Ayrıca $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranlarının doğru bir şekilde tespit edilmesi moleküler ve radyasyon fiziği araştırmaları, kimyevi ve tıbbi analizler, radyoaktif cevher analizleri, metalurji alaşım analizleri ve elemental analizler gibi X-ışınlarının pratik uygulamaları açısından son derece önemlidir. Çünkü, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranı değerleri; kimyasal yapı, moleküler yapı ve merkez atomun çevresindeki atomlara hangi tür bağlarla bağlı olduğu gibi parametrelerle yakından ilişkilidir. Kısacası, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları atomik yapıya kuvvetlice bağlı olup atomik modelin doğru bir biçimde oluşturulabilmesi için son derece önemlidir.

Metallerin ve alaşımların valens elektron yapılarının belirlenmesi fiziksel özelliklerinin anlaşılması için büyük önem taşır. Çünkü, valens elektron yoğunluğu atomik parametrelerin değişimine bağlıdır ve atomik parametrelerin değişimi de maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimine neden olmaktadır. Dolayısıyla maddelerin valens elektron yapılarının değişimi, bu maddelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştiği anlamına gelir. Çünkü, valens elektronlarının yoğunluğunda oluşabilecek bir değişime; bağ çeşidine bağlı olarak, molekül veya kristalde bulunan komşu atomlardaki elektron yoğunluğunun artıp veya azalması sonucu oluşan kimyasal bağdaki değişim sebep olabilir. Bağ çeşidinin yanısıra molekül yapının özel karakteristikleri olan komplekslik ve kristallikte valens elektron yoğunluğunu etkiler. Böylece tüm bu etkenler göz önüne alındığında ve yukarıdaki paragrafta da belirtilen $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranlarının atomik yapıya kuvvetlice bağlı olduğu bilgisi ışığında denilebilirki; valens elektron yoğunluğunda meydana gelen bir değişikliğe bağlı olarak $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları da değişir. Bundan dolayı metallerin ve alaşımların valens elektron yapılarını $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları ile belirlemek oldukça önemli bir metottur (Alım 2012).

Bu çalışmada, farklı Co konsantrasyonuna sahip alaşımların valens elektron yapıları, çeşitli alaşım bileşimlerinin $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları vasıtasıyla araştırıldı.

Çalışmamızda, Fe, Ni, V, Co, Ti, $Fe_{54}Ni_{29}Co_{17}$, $Co_{49}Fe_{49}V_2$ ve Ti_xCo_{1-x} ($x=0,3; 0,4; 0,5$) alaşımlarının $K\alpha$ ve $K\beta$ emisyon spektrumları bir Si(Li) katı hal dedektörü kullanılarak belirlendi. Örnek olarak $Ti_{0,4}Co_{0,6}$ alaşımı için elde edilen K X-ışını spektrumu Şekil 4.2’de verilmiştir. Spektrumlar incelendiğinde, alaşımlardaki herhangi bir elementin konsantrasyonu arttıkça $K\alpha$ ve $K\beta$ X-ışını şiddetlerinin arttığı görülmektedir.

Elde edilen spektrumlardan her bir alaşım ve saf Fe, Ni, Co, V, Ti için pik tepesi net alanları belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarının tüm numuneler için hesaplanmasıyla elde edilen $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranları ($N_{K\beta}/N_{K\alpha}$; herhangi bir düzeltme işlemine tabi tutulmamış şiddet oranları, $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$; gerekli düzeltme işlemi yapıldıktan sonraki şiddet oranları ve $R_{K\beta}/R_{K\alpha}$; alaşımlar için pür metallere göre normalize edilmiş şiddet oranları), Çizelge 4.1’de, Çizelge 4.3’de ve Çizelge 4.4’ de verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde, $K\beta/K\alpha$ X-ışını şiddet oranlarının alaşımdaki metallerin oranlarına bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Bu değişim alaşımı oluşturan metallere bağlı olarak konsantrasyon değişimi ile aynı veya zıt yönlü olabilmektedir. Kıyaslama için alaşımlarda belirlenen şiddet oranları saf metaller için belirlenen şiddet oranlarına göre normalize edilmiştir. Çizelge 4.1 incelendiğinde, Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti konsantrasyonu (x) azaldıkça X-ışını şiddet oranlarının ($I_{K\beta}/I_{K\alpha}$) arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda Ti_xCo_{1-x} alaşımındaki Co konsantrasyonu arttıkça $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranlarının arttığı gözlenmiştir. Buradan anlaşılan Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında, alaşımı oluşturan Ti elementi için $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları ve Ti konsantrasyonu arasında ters yönlü bir eğilim vardır. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında alaşımı oluşturan Co elementi için $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları ve Co konsantrasyonu ($1-x$) arasında doğru yönde bir eğilim vardır. Bu eğilim, alaşımdaki Co elementinin Ti elementine şiddetlendirme etkisi gösterdiği şeklinde yorumlanabilir. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarını oluşturan ilgili metaller için deneysel olarak elde edilen $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları bu metallerin farklı elektron konfigürasyonları için *MCDF* hesaplamaları sonucu elde edilmiş değerler ile

karşılaştırmalı bir şekilde grafiksel olarak Şekil 4.3' de verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde alaşımlardaki Ti ve Co için elde edilen X-ışını şiddet oranlarının büyük çoğunluğunun *MCDF* hesaplamaları sonucu bulunan şiddet oranı değer aralığında olduğu görülmektedir.

Hesaplanan $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranları kullanılarak alaşımları oluşturan geçiş metalleri için 3d elektronlarının sayısı (n_{3d}), (4s,4p) elektronlarının toplam sayısı ($n_{4s,4p}$), saf metale kıyasla 3d elektron sayısındaki değişimler (Dn_{3d}) ve alaşımlar için 3d ve (4s,4p) elektronlarının toplam sayıları Tn_{3d} ve $Tn_{4s,4p}$, saf metaller için ölçülen değerlerin alaşımlar için ağırlıklı toplamından elde edilen 3d ve (4s,4p) elektronlarının toplam sayıları Tn_{3d}^* ve $Tn_{4s,4p}^*$ ile birlikte çizelgeler halinde Çizelge 4.2, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.2 incelendiğinde Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti konsantrasyonu arttıkça alaşımdaki 3d elektron sayısının arttığı ve buna bağlı olarak (4s,4p) elektron sayısı azaldığı gözlenmektedir. Aynı zamanda Co konsantrasyonu arttıkça alaşımdaki Co 'nun 3d elektron sayısı azalmaktadır. Buna bağlı olarak (4s,4p) elektron sayısı artmaktadır. Bu yönelimlerin grafikleri Şekil 4.4' de verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde alaşımdaki Ti konsantrasyonu ile 3d elektron sayısının genel itibariyle doğru orantılı, alaşımdaki Co konsantrasyonu ile alaşımdaki Co elementinin 3d elektron sayısı ters orantılı olduğu görülmektedir. Alaşımdaki 3d elektronlarının toplam sayısı (Tn_{3d}) yorumlanırsa, Ti konsantrasyonundaki artma 3d elektronlarındaki artmayla karşılanmaktadır, Co konsantrasyonundaki artma ise 3d elektronlarındaki azalma ile karşılanmaktadır. Ti elementinin 3d elektron sayısındaki artış Co elementinin 3d elektronlarının sayısındaki azalışla tam olarak karşılanmadığı için Tn_{3d} 'de düzenli bir değişim görülmemektedir. Tn_{3d}^* ile Tn_{3d} birbiri ile kıyaslandığında birbirlerinden farklılık gösterir. Bu farklılık, alaşımdan kaynaklanmaktadır. Ti_xCo_{1-x} alaşımlarında Ti ve Co'nun 3d elektron sayılarındaki değişimler pür metaller ile kıyaslamalı olarak elde edilen değerler metallerin alaşımdaki kendi konsantrasyonuna bağlı olarak grafiksel bir biçimde Şekil 4.5'te verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde alaşımdaki Ti için 3d elektron sayısındaki değişim (Dn_{3d}) Ti konsantrasyonu arttıkça artmaktadır. Aynı zamanda alaşımdaki Co için 3d elektron sayısındaki değişim (Dn_{3d}) alaşımdaki Co konsantrasyonu arttıkça azalmaktadır.

Literatürde, alaşımları oluşturan metallerin 3d elektron sayılarında meydana gelen değişimler kıyaslamalı olarak incelendiğinde bu değişimin iki sebepten kaynaklanabileceği görülmüştür. Bunlardan ilki elementin 3d ve (4s,4p) durumları arasında gerçekleşen elektron dağılımlarının yeniden düzenlenmesi (delokalizasyon) ve ikincisi alaşımı oluşturan metaller arasında gerçekleşen yük transferidir. Raj *et al.* (1999) 'e göre alaşımlarda 3d elektron popülasyonlarında meydana gelen değişimin asıl sebebi alaşımı oluşturan elementler arasında gerçekleşen 3d elektron transferidir. Ancak bu değişimin sebebi açıklanırken 3d ve (4s,4p) durumları arasında elektronların yeniden düzenlenmesi de çok az da olsa etkilidir. Powlowski *et al.* (2002) 'e göre alaşımlarda metallerin valens elektron yapılarında gözlenen değişimi açıklamak için ilgili metallerin 3d ve (4s, 4p) durumları arasında elektronların yeniden düzenlenmesini hesaba katmak gerekirken bir elementten diğerine elektron transferi ihmal edilebilir. Buradan da anlaşılabileceği üzere literatürdeki çalışmalarda; alaşımlarda 3d elektron popülasyonlarında gözlenen değişimin sebebiyle ilgili olarak net bir sonuca varılamamıştır. Bu çalışmada; dış manyetik alanın atom içi valens elektronlarının transferine etkimesinin yanısıra alaşımdaki elementler arasındaki 3d elektron transferine etki ettiği söylenebilir (Alım 2012).

3d elektron transferi yüksek konsantrasyonlu elementten düşük konsantrasyonlu elemente doğru gerçekleşebileceği gibi bu transfer düşük konsantrasyonlu elementten yüksek konsantrasyonlu elemente doğru da gerçekleşebilir. Bununla birlikte bir elementin atomları tarafından verilen 3d elektronlarının sayısı ile ikinci elementin atomları tarafından alınanların sayısı arasında basit bir nicel ilişki yoktur. Ayrıca bir elementin 3d elektron sayısındaki değişim diğer elementin 3d elektron sayısındaki değişime her zaman uygun olmamaktadır. Buna göre alaşımı oluşturan ilgili elementlerin atomlarının 3d ve 4s, 4p seviyeleri arasında elektronların yeniden düzenlenmesi, alaşımlarda elementlerin valens elektron konfigürasyonlarının değişimini etkileyen diğer bir etkidir (Han 2009).

Çizelge 4.3 incelendiğinde $\text{Fe}_{0,54}\text{Co}_{0,17}\text{Ni}_{0,29}$ alaşımını oluşturan geçiş metallerinin alaşımdaki $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları saf hallerinde elde edilen şiddet oranlarına göre

önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak Çizelge 4.5 incelendiğinde alaşımdaki 3d elektron sayısı pür metallere göre değişmektedir. Çizelge 4.4 incelendiğinde $\text{Fe}_{0,49}\text{Co}_{0,49}\text{V}_2$ alaşımını oluşturan geçiş metallerinin alaşımdaki $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları saf hallerinde elde edilen şiddet oranlarına göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak Çizelge 4.6 incelendiğinde alaşımdaki 3d elektron sayısı pür metallere göre değişmektedir. Alaşımdaki Fe in 3d elektron sayısı saf metale göre azalmış, alaşımdaki Co 'ın 3d elektron sayısı saf metale göre azalmış ancak alaşımdaki V 'ın 3d elektron sayısı saf metale göre artmaktadır. Bu sonuç alaşımı oluşturan elementler arasında Fe ve Co metallerinden V'a yük geçişi ihtimali ile açıklanabilir.

$\text{Ti}_{0,5}\text{Co}_{0,5}$ ve $\text{Fe}_{0,49}\text{Co}_{0,49}\text{V}_{0,02}$ alaşımlarına ait grafikler ve çizelgeler beraber incelendiğinde bu alaşımlarda Co konsantrasyonu hemen hemen birbirinin aynı olmasına rağmen alaşımdaki Co'nun $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ şiddet oranları ve (n_{3d}) 3d elektron sayısı birbirinden oldukça farklılık göstermektedir. Bu sapma diğer alaşım elementlerinin alaşımın karakteristiğine etkisi ile alakalıdır. Yani, Co alaşımlarını oluşturan diğer alaşım elemanlarının fiziksel özellikleri, kimyasal özellikleri vb. özelliklerinin farklı olması nedeniyle alaşımlar farklı karakteristiğe sahip olurlar. Alaşım elemanlarının elektronegatiflikleri ve elektron ilgilerinin birbirinden farklı olması nedeni ile bu elementlerin 3d elektron sayısında farklılıklar olabilir. Bunun için bu alaşımlar incelendiğinde Co 'nın dışındaki Ti, Fe, ve V'nin elektronegatiflikleri birbirinden farklı olması sebebiyle bunların 3d elektron sayıları ve buna bağlı olarak Co'nun 3d elektron sayısı farklılık göstermektedir. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.6 beraber incelendiğinde $\text{Ti}_{0,5}\text{Co}_{0,5}$ ve $\text{Fe}_{0,49}\text{Co}_{0,49}\text{V}_{0,02}$ alaşımlarına ait değerlere bakınca her iki alaşımda da hemen hemen Co konsantrasyonu aynı olmasına rağmen alaşımlardaki Co'nun 3d elektron sayısı $\text{Ti}_{0,5}\text{Co}_{0,5}$ alaşımında daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi alaşımı oluşturan ve çoğunlukta olan diğer elementlerin (Fe ve Ti çoğunlukta, V elementi eser miktardadır.) elektronegatifliklerinin farklı olmasından kaynaklanabilir. Zira periyodik çizelgede soldan sağa gidildikçe elektronegatiflik arttığından dolayı Fe elementinin elektronegatifliği, Ti elementinin

elektronegatifliğinden fazladır. Hesaplanan deneysel değerlerde de Fe ile alaşımlanmış Co 'nun 3d elektron sayısı daha azdır.

Tüm elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde saf Fe, saf Ni, saf Co, saf V, saf Ti elementlerinde ve $\text{Fe}_{54}\text{Ni}_{29}\text{Co}_{17}$, $\text{Co}_{49}\text{Fe}_{49}\text{V}_2$, $\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alaşımlarındaki elementlerin $I_{K\beta}/I_{K\alpha}$ X-ışını şiddet oranlarının ve valens elektron konfigürasyonlarının alaşım elementine ve bu elementlerin konsantrasyonuna yani alaşımı oluşturma oranlarına bağlı olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alım, B., 2012. Dış manyetik alanda geçiş metal alaşımlarının K α X-ışını şiddet oranları ve valens electron yapılarının belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Apaydın, G., 2002. $69 \leq Z \leq 92$ Bölgesindeki Bazı Elementlerin ve M Kabuğuna Ait Tesir Kesitlerinin, Ortalama Floresans Verimlerinin ve Diferansiyel Tesir
- Apaydın, G., Aylıkçı, V., Bıyıklıoğlu, Z., Tıraşoğlu, E., Kantekin, H., 2008. Influence of Chemical Effect on the K_{β}/K_{α} Intensity Ratios and K_{β} Energy Shift of Co, Ni, Cu, and Zn Complexes. Chinese Journal of Chemical Physics, 21,6
- Aylıkci, N.K., Tıraşoğlu, E., Karahan, İ.H., Aylıkci, V., Cengiz, E., Apaydın, G., 2010. Alloying effect on K shell X-ray fluorescence parameters and radiative Auger ratios of Co and Zn in Zn_xCo_{1-x} alloys. Chemical Physics Letters, 484, 368-373.
- Aylıkci, N.K., Tıraşoğlu, E., Karahan, İ.H., Aylıkci, V., Eskil, M., 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, 475, 135-140.
- 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)
- Bertin, E., 1975. Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, Plenum Press, New York, 6-20, 29-32, 51-60, 100-120
- Bhuinya, C.R, Padhi, H.C., 1993. Alloying effect on K_{β} -to- K_{α} X-ray intensity ratios in Ti_xNi_{1-x} and Cr_xNi_{1-x} alloys studied γ -ray fluorescece and fast proton ionization. Physical Review A, 47, (6), 4885–4890.
- Bhuinya, C.R., Padhi, H.C., 1992. Alloying effect on the K_{β}/K_{α} intensity ratios of Ti, Cr and Ni. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 25, 5283–5287.
- Brouwer, P. 2003. Theory of XRF. Panalytical B.V. Netherlands.
- Brundle, C.R., Evens, C.A. ve Wilson Jr. S., Encyclopedia of Materials Characterization, Butterworth-Heineman, New York, 1992.
- Çevik, U., Değirmencioğlu, İ., Ertuğral, B., Apaydın, G., Baltaş, H., 2005. Chemical effects on the K_{β}/K_{α} X-ray intensity ratios of Mn, Ni and Cu complexes. Eur. Phys. J. D 36, 29-32 (2005)
- Dağıstanlı, H., Mutlu, R.H., 2012. Effect of the crystal structure on the X-ray intensity ratios of 3d metals. Elsevier Science Publishers, 969-806
- Dağıstanlı, H., Kalayci. Y., Mutlu, R.H., 2010. Calculated valence electronic structure of 3d metals for use in the X-ray intensity ratio studies. Elsevier Science Publishers, 79, 938-940.
- Debertin, K., Hemler, R.G., 1988. Gamma and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. Elsevier Science Publishers, 94–97, New York, U.S.A.
- Demirci, A. H., 2004. Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi. Alfa Basım Yayım, İstanbul. 314.

- Dözen, C., 2006. M tabakası X ışınları üretim tesir kesitlerinin hesaplanması. Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Ertuğral, B., 2004. K Tabakasından L tabakasına Bosluk Geçisi İhtimaliyetlerinin Ölçülmesi İçin Bir Metot, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Trabzon.
- Ertuğrul, M., Şimşek, Ö., 2002. Measurement of $K\beta_2/K\beta_1$ and $K\beta_2/K\alpha_1$ relative intensities with ^{57}Co for heavy elements. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 35, 601–604.
- Gerward, L., Guilbert, N., Bjorn J.K., Levring, H., 2001. X-ray absorption in matter, Reengineering XCOM. Radiation Physics and Chemistry, 60, 23–24.
- Gündüz, E. 1995 “Modern Fizige Giriş” Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:110, İzmir.
- Han, I., Demir, L., 2009. Valence-electron configuration of Fe, Cr, and Ni in binary and ternary alloys from $K\beta$ -to- K X-ray intensity ratios. Physical Review A, 80, 052503
- Han, I., Demir, L., 2010. Alloying effect on K to L shell vacancy transfer probabilities in 3d transition metals. Elsevier science journal, 79, 1174-1119
- Han, I., Demir, L., 2010. Effect of annealing treatment on $K\beta$ -to- $K\alpha$ intensity ratios of 3d transition-metal alloys. Physical Review A, 81, 062514.
- Han, I., Demir, L., 2010. Relative K X-ray intensity studies on valence-electron structure of Ti and Co in $\text{Ti}_x\text{Co}_{1-x}$ alloys. Physical Review A, 82, 042514.
- Han, I., Şahin, M., Demir, L., 2007. Measurement of K X-ray fluorescence cross-sections, fluorescence yields and intensity ratios for some elements in the atomic range $22 \leq Z \leq 68$. Applied Radiation and Isotopes, 65, (6), 669–675.
- Hubbell, J.H., Mehta, D., Garg, M.L., Garg, R.R., Singh, Surinder, Puri, S.J., 1994. A review, bibliography and tabulation of K, L and higher atomic shell X-ray fluorescence yields. Phys. Chem. Ref. Data, 23, 339.
- Inoue, S., Saito, J.-I., Morinaga, M., Kano, S., 1994. Alloying effect on the electronic structures of Nb and Mo. J. Phys. Condens. Matter, 6, 5081-5096.
- Jenkins R., 1986. An Introduction to X-ray Spectrometry, Heyden and Son, New York
- Jenkins, R., Manne, R., Robin, R. ve Senemaud, C., 1991. Nomenclature, Symbols, Units and Their Usage in Spectrochemical Analysis, Nomenclature System for X-Ray Spectroscopy, X-Ray Spect., 20 , 149.
- Kalayci, Y., Agus, Y., Ozgur, S., Efe, N., Zararsiz, A., Arikan, P., Mutlu, R.H., 2005. Influence of the alloying effect on nichel K-shell fluorescence yield in Ni-Si alloys. Spectrochimica Acta Part B, 60, 277-279.
- Kalayci, Y., Aydinuraz, A., Tugluoglu, B., Mutlu, R.H., 2007. Valence 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.
- Kesitlerinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Fen Bil. Enst., Trabzon
- Krause, M.O., Nestor, Jr, C.W., Sparks, Jr, C.J., Ricci, E., 1978. X-ray fluorescence cross sections for K and L X rays of the elements. OAK Ridge National Laboratory, 253, ORNL-5399.

- Küçükönder, A., 1988. Radyoizotop X Isını Floresans Metodu ile Küre Bakılababa Cevherinde Fe ve Cu Miktarının Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi,
- Liu, Y., Fujiwara, T., Yukowa, H., Morinaga, M., 2001. Alloying effect on electronic structures of lithium intercalation compounds. *Computational Materials Science*, 22, 309-317.
- Mukoyama, T., Taniguchi, K., Adachi, H., 2000. Variation of $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratios in 3d elements. *X-Ray Spectrometry*, 29, 426-429.
- Özden, N., 1977. Radyoaktivite ve radyasyon, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Yayınları. İstanbul, 1982 s.
- Pawłowski, F., Polasik, M., Raj, S., Padhi, H.C., 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 Section B*, 195, 367-373.
- Polasik, M., 1998. Influence of changes in the valence electronic configuration on the $K\beta$ -to- $K\alpha$ X-ray intensity ratios of 3d transition metals. *Physical Review A*, 58, (3), 1840-1845.
- Polasik, M., Koziol, K., Slabkowska, K., Czarnota, M., Pajek, M., 2009. Influence of changes in the valence electronic configuration on the structure of L X-ray spectra of molybdenum. *Journal of Physics: Conference Series*, 163, 012050.
- Porikli, S., 2009. Dış manyetik alanda 3d ve 4d grubu geçiş elementlerinin K tabakası X-ışını şiddet oranı ve emisyon çizgileri üzerine kimyasal etkilerinin araştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Porikli, S., Demir, D., Kurucu, Y., 2008. Variation of $K\beta/K\alpha$ X-ray intensity ratio and lineshape with the effects of external magnetic field and chemical combination. *The European Physical Journal D*, 47, 315-323.
- Porikli, S., Kurucu, Y., 2011. Comparisons of an external magnetic field effect and chemical effect on X-ray $K\beta/K\alpha$ intensity ratio and line-shape of some Chromium compounds. *J. Radioanal Nucl. Chem.*, 289:739-750.
- Prinz, G.A., 1998. Magneto-electronics. *Science*, 282, 1660-1663.
- Raj, S., Dhal, B.B., Padhi, H.C., Polasik, M., 1998. Influence of solid-state effects on the $K\beta$ -to- $K\alpha$ X-ray intensity ratios of Ni and Cu in various silicide compounds. *Physical Review B*, 58, (14), 9025-9029.
- Raj, S., Padhi, H.C., 2002. Relative K x-ray intensity studies of the valence electronic structure of 3d transition metals. *Physical Review B*, 65, 193105
- Raj, S., Padhi, H.C., Basa, D.K., Polasik, M., Pawłowski, F., 1999. $K\beta$ -to- $K\alpha$ X-ray intensity ratio studies on the changes of valence electronic structures of Ti, V, Cr, and Co in their disilicide compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 152, 417-424.
- Raj, S., Padhi, H.C., 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 Section B*, 155, 143-152.
- Raj, S., Padhi, H.C., Polasik, M., Pawłowski, F., 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., Raychaudhury, P., Nigam, A.K., Pinto, R., Polasik, M., Pawlowski, F., Basa, D.K., 2001. Valance electronic structure of Mn in undoped and doped lanthanum manganites from relative K X-ray intensity studies. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 174, 344–350.
- Şahin, Y., 1989. Çekirdek Fiziginin Esasları. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 344 s.
- Sahin, Y., 1999. Çekirdek Fiziginin Esasları. Çeviri, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 340 s.
- Şahin, Y., Kurucu, Y., 2005. Atom Fiziği, Pegem A Yayıncılık, Erzurum, 248.
- Scofield, J.H., 1973. Theoretical photoionization cross-section from 1-1500 keV. Lawrence Livermore Laboratory Report No. UCRL-51326.
- Scofield, J.H., 1974. Relativistic Hartree-Slater values for K and L X-ray emission rates. Lawrence Livermore Laboratory Report No. UCRL-94550 Atomic Data and Nuclear Data Tables, 14, 121–137.
- Shcherba, I.D., Nemoshkalenko, V.V., Antonov, V.M., Koterlyn, M.D., Dobrjans 'ka, L.O., Czycvhrij, S.I., Bilyk, D.V., 2003. Electron structure and valence state of CeM_2P_2 (M=Fe, Co, Ni) compouds. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 131-132, 125-132.
- Siegbahan, K., 1974. Alpha-Beta and Gamma-Ray Spect., North-Holland Publishing Company, 1, 38-39.
- Söğüt, Ö., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., Ertuğul, M., Şimşek, Ö., 1995. Alloying Effect on $K\beta/K\alpha$ Intensity Ratios in $\text{Cr}_x\text{Ni}_{1-x}$ and $\text{Cr}_x\text{Al}_{1-x}$ Alloys. Applied Spectroscopy Reviews, 30, (3), 175 – 180.
- Tanyel, B., 1994. Nükleer Fizik Ege Üniversitesi Fen Fakültesi. İzmir, 340 s.
- Tuzluca, F., 2007. Bazı elementlerin L tabakasından M ve Ntabakasına boşluk geçiş ihtimallerinin ölçülmesi. Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Van Grieken, R., MarkowCZ, A.A., 1993. Handsbook of X-Ray Spectrometry, Marcell Dekker, New York, 704.

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Erzurum’da tamamladı. Lise eğitimini Nenehatun Kız Lisesinde tamamladı.2002 yılında Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünden mezun oldu.2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans’a başladı. Şu an Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.