

**BİYOMEDİKAL ÖNEME SAHİP BAZI ELEMENTLERİN  
BİLEŞİKLERİNİN KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ  
ÖLÇÜLMESİ ve KATKILI, KATKISIZ  
YARIİLETKENLERDE TRANSMİSYON  
FAKTÖRLERİNİN TAVLAMA  
SICAKLIĞI VE SÜRESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

**Burcu AKÇA**

**Doktora Tezi**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU**

**2014**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BİYOMEDİKAL ÖNEME SAHİP BAZI ELEMENTLERİN  
BİLEŞİKLERİNİN KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ  
ÖLÇÜLMESİ VE KATKILI, KATKISIZ YARIİLETKENLERDE  
TRANSMİSYON FAKTÖRLERİNİN TAVLAMA SICAKLIĞI VE  
SÜRESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

**Burcu AKÇA**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2014**

**Her Hakkı Saklıdır**



Her Hakkı Saklıdır  
T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**BİYOMEDİKAL ÖNEME SAHİP BAZI ELEMENTLERİN BİLEŞİKLERİNİN  
KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ VE KATKILI, KATKISIZ  
YARIİLETKENLERDE TRANSMİSYON FAKTÖRLERİNİN TAVLAMA  
SICAKLIĞI VE SÜRESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU danışmanlığında, Burcu AKÇA tarafından hazırlanan bu çalışma 13/06/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Elif BOYDAŞ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Paşa YALÇIN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuba ÖZNÜLÜER

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 19/06/2014 tarih ve 25/785 nolu kararı ile onaylanmıştır.

**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

DOKTORA TEZİ

### **BİYOMEDİKAL ÖNEME SAHİP BAZI ELEMENTLERİN BİLEŞİKLERİNİN KÜTLE SOĞURMA KATSAYILARININ ÖLÇÜLMESİ VE KATKILI, KATKISIZ YARIİLETKENLERDE TRANSMİSYON FAKTÖRLERİNİN TAVLAMA SICAKLIĞI VE SÜRESİNE BAĞLI DEĞİŞİMİ**

Burcu AKÇA

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU

Bu tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır ki birinci kısımda; biyomedikal öneme sahip olan Na, Mg, Al, Ca ve Fe elementlerinin oluşturduğu;  $\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaF,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , MgO,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  ve  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ölçülerek elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar WinXCom ve FFAST teorik sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızın ikinci kısmında ise lam (cam) üzerine buharlaştırılmadan hazırlanmış InSe, InSe:Sn yarıiletken kristalleri ve lam üzerine buharlaştırılarak hazırlanmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin  $\gamma$ -ışını transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve süresine göre değişimleri incelenmiştir. Transmisyona faktörlerinin ölçülmesinde kullanılan dar-şua geometrisinin daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür. Yaptığımız literatür taramasına göre, daha önce bu konularda yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden yaptığımız tez çalışması ilk deneysel sonuçları oluşturmaktadır.

**2014, 94 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** EDXRF, kütle soğurma katsayıları, transmisyona faktörleri, biyomedikal öneme sahip elementler, InSe yarıiletken kristali.

## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### MEASUREMENT OF MASS ATTENUATION COEFFICIENTS OF COMPOUNDS OF BIOMEDICALLY IMPORTANT SOME ELEMENTS AND CHANGE ACCORDING TO THE ANNEALING TEMPERATURE AND TIME OF TRANSMISSION FACTORS AT DOPED, UNDOPED SEMICONDUCTORS

Burcu AKÇA

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics  
Discipline of Atomic and Molecular Physics

Supervisor: Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEÖĞLU

This thesis study consists of two parts: firstly, the mass attenuation coefficients of  $\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  and  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  compounds of biomedically important Na, Mg, Al, Ca and Fe elements have been measured and electronic, atomic and molecular cross sections, effective atomic numbers and densities of electron have been calculated. The experimental results are compared with theoretical results of WinXCom and FFAST.

Secondly, the change according to the annealing temperature and time of  $\gamma$ -ray transmission factors of InSe, InSe:Sn semiconductor crystals that prepared by not evaporated onto stage (glass) and InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd semiconductor crystals that prepared by evaporated onto stage have been examined. Narrow-beam geometry has given very sensitive results in measuring of transmission factors. To the best of our knowledge there are no experimental data reported in the literature. The present results constituting the first experimental results.

**2014, 94 pages**

**Keywords:** EDXRF, the mass attenuation coefficients, transmission factors, biomedically important elements, InSe semiconductor crystal.

## **TEŞEKKÜR**

Doktora tezi olarak sunduğum bu alıőmanın planlanması ve yşrştşlmesinde engin tecrşbelerini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Salih Zeki ERZENEOLU'na en içten duygularla teőekkřr eder, saygılarımı sunarım.

Bu çalışmanın yşrştşlmesinde gereken yardımı esirgemeyen çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yusuf ŐAHİN'e, Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir GŐRBULAK'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat KURUDİREK'e, arkadaşlarıma ve fizik bşlşmş personeline sonsuz teőekkřrlerimi sunarım. Numunelerin teminindeki katkılarında dolaylı kimya bşlşm baőkanı Sayın Prof. Dr. Abdullah MENZEK'e en içten teőekkřrlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca hayatımın her dşneminde yardımlarını esirgemeyen, bana hep destek olan aileme sonsuz teőekkřrlerimi sunarım.

**Burcu AKÇA**

**Haziran, 2014**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>8</b>
2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi.....	8
2.2. Canlıların Yaşamı İçin Gerekli Olan Elementler.....	11
2.3. Biyomedikal Öneme Sahip Elementlerin Sınıflandırılması.....	12
2.4. Biyomedikal Öneme Sahip Na, Mg, Al, Ca ve Fe Elementlerinin Biyokimyasal Fonksiyonları.....	19
2.5. Katıların Çeşitleri.....	23
2.6. Yarıiletken Malzemeler.....	24
2.6.1. Katkılı yarıiletkenler.....	25
2.7. Yarıiletkenlerde Soğurma Olayları.....	27
2.8. InSe Bileşiğinin Özellikleri.....	29
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>31</b>
3.1. Deney Geometrisi.....	31
3.2. Numunelerin Hazırlanması.....	34
3.3. Alınan Ölçülerin Değerlendirilmesi ve Hesaplamalar.....	38
3.4. WinXCom ve FFAST Programları.....	40
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>42</b>
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....</b>	<b>74</b>
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	95

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$A_{et}$	Etkin Atom Ağırlığı
$E_F$	Fermi Seviyesi
$E_{Fi}$	Asal Fermi Seviyesi
$E_c$	İletkenlik Bandının Tabanı
$N_A$	Avogadro sayısı
$N_I$	Yarıiletkendeki Toplam İyonize Olmuş Kirlilik Konsantrasyonu
$N_a$	Akseptör Hallerin Konsantrasyonu
$N_c$	İletkenlik Bandındaki Hallerin Etkin Yoğunluk Fonksiyonu
$N_d$	Donor Hallerin Konsantrasyonu
$N_e$	Elektron Yoğunluğu
$Z_{et}$	Etkin Atom Numarası
$f_i$	Bileşikteki i. Elementin Bolluk Kesri
$n_0$	Termal-Denge Elektron Konsantrasyonu
$n_i$	Bileşikteki i. Elementin Atom Sayısı
$p_0$	Termal-Denge Boşluk Konsantrasyonu
$w_i$	Bileşikteki i. Elementin Kütle Kesri
$\eta_i$	Asal Taşıyıcı Konsantrasyonu
$\mu_I$	İyonize Olmuş Kirlilik Saçılmasının Olduğu Durumdaki Mobilite
$\mu_L$	Örgü Saçılmasının Olduğu Durumda Gözlenen Mobilite
$\mu_m$	Kütle Soğurma Katsayısı
$\sigma_{t,a}$	Atomik Tesir Kesiti
$\sigma_{t,e}$	Elektronik Tesir Kesiti
$\sigma_{t,m}$	Moleküler Tesir Kesiti
$I$	Elektromanyetik Radyasyonun Soğurucudan Geçtikten Sonraki Şiddeti
$I_0$	Elektromanyetik Radyasyonun Başlangıçtaki Şiddeti
$M$	Bileşiğin Moleküler Ağırlığı
$T$	Transmisyon Faktörü
$\mu$	Lineer Soğurma Katsayısı



## **Kisaltmalar**

EDXRF	Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
FFAST	X-Ray Form Factor, Attenuation and Scattering Tables
FWHM	Full Width at Half Maximum
NCCLS	National Committee for Clinical Laboratory Standards
PIXE	Proton-Induced X-Ray Emission
SRIXE	Synchrotron Radiation Induced X-Ray Emission
TSW	Trommel Sieve Waste
TXRF	Total-Reflection X-Ray Fluorescence
WDXRF	Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence
WinXCom	Windows-Photon Cross Sections Database
XCom	Photon Cross Sections Database
XRD	X-Ray Diffraction

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. InSe yarıiletken bileşiğinin birim hücresi perspektif görünüşü.....	3
Şekil 2.1. a) Röntgen çekimi, b) t kalınlığındaki bir numune için radyasyon şiddetindeki değişim.....	9
Şekil 2.2. NCCLS'ye göre biyomedikal elementlerin periyodik cetveldeki şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.3. Karaciğer dokularındaki elementlerin yaşa göre konsantrasyonları.....	16
Şekil 2.4. Genel kristal tipleri a) amorf, b) polikristal, c) tek kristal.....	24
Şekil 2.5. n-tipi yarıiletken malzemenin oluşturulması.....	26
Şekil 2.6. Enerji bandı yapısı üzerine verici katkının etkisi.....	27
Şekil 3.1. Deney için hazırlanan dar şua geometrisi.....	31
Şekil 3.2. MgO için örnek bir spektrum.....	32
Şekil 3.3. InSe: Cd için örnek bir spektrum.....	32
Şekil 3.4. Voltaj değerine karşı sayımlardaki değişim.....	33
Şekil 3.5. Sayma sistemi.....	34
Şekil 3.6. Termal buharlaştırma yöntemiyle ince film kaplama sistemi.....	36
Şekil 3.7. Tavlama fırını.....	37
Şekil 3.8. Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> bileşiği için örnek bir grafik.....	38
Şekil 4.1. InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin XRD spektrumu.....	47
Şekil 4.2. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe: Cd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	51
Şekil 4.3. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	51
Şekil 4.4. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe:Ag yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	52
Şekil 4.5. Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 320°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	52

<b>Şekil 4.6.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 50°C, 100°C ve 300°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	53
<b>Şekil 4.7.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 200°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	53
<b>Şekil 4.8.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	54
<b>Şekil 4.9.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi .....	54
<b>Şekil 4.10.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 150°C ve lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 60°C ve 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	55
<b>Şekil 4.11.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 50°C ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 350°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	55
<b>Şekil 4.12.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 180°C ve lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 50°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	56
<b>Şekil 4.13.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 100°C ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 300°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	56
<b>Şekil 4.14.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	57
<b>Şekil 4.15.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 100°C, 150°C, 200°C ve 320°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresi ile değişimi .....	57

<b>Şekil 4.16.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn ve InSe:Fe yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	58
<b>Şekil 4.17.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag ve InSe:Cd yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	58
<b>Şekil 4.18.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	59
<b>Şekil 4.19.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	59
<b>Şekil 4.20.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörünün tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	60
<b>Şekil 4.21.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyona faktörünün tavlama sıcaklığı ile değişimi.....	60
<b>Şekil 4.22.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristali için farklı tavlama sıcaklıklarındaki (350°C’de numune 40. dakikada yandı) transmisyona faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	61
<b>Şekil 4.23.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki (400°C’de numune 40. dakikada yandı) transmisyona faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	61
<b>Şekil 4.24.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyona faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	62
<b>Şekil 4.25.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyona faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi.....	62

<b>Şekil 4.26.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Fe yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	63
<b>Şekil 4.27.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	63
<b>Şekil 4.28.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	64
<b>Şekil 4.29.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	64
<b>Şekil 4.30.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Gd yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	65
<b>Şekil 4.31.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	65
<b>Şekil 4.32.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	66
<b>Şekil 4.33.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi .....	66
<b>Şekil 4.34.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dakika tavlama süresiyle değişimi .....	67
<b>Şekil 4.35.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dakika tavlama süresiyle değişimi .....	67

<b>Şekil 4.36.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dakika tavlama süresiyle değişimi .....	68
<b>Şekil 4.37.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dakika tavlama süresiyle değişimi.....	68
<b>Şekil 4.38.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dakika tavlama süresiyle değişimi .....	69
<b>Şekil 4.39.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi.....	69
<b>Şekil 4.40.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	70
<b>Şekil 4.41.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Fe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	70
<b>Şekil 4.42.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	71
<b>Şekil 4.43.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	71
<b>Şekil 4.44.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	72
<b>Şekil 4.45.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Gd yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	72

<b>Şekil 4.46.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	73
<b>Şekil 4.47.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi .....	73
<b>Şekil. 5.1.</b> Üç Bölgeyi (kısmi iyonizasyon, katkılı ve asal) gösteren sıcaklığa karşılık elektron konsantrasyonu.....	83

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Enzimler tarafından aktive edilen bazı biyomedikal elementler .....	12
<b>Çizelge 2.2.</b> Çeşitli canlı türleri için karaciğer hastalıklarının biyoelementlerle ilişkisi.....	18
<b>Çizelge 2.3.</b> Majör esansiyel elementlerin genel olarak etkili oldukları olaylar veya katıldığı yapılar, bol buldukları besinler, eksiklik veya fazlalıkları sonucu oluşan hastalıklar ve günlük ihtiyaç miktarları. ....	20
<b>Çizelge 2.4.</b> Üç vücut dokusunun elemental kompozisyonunun yüzde kütle bileşimi...	21
<b>Çizelge 2.5.</b> Kan veya plazma serumundaki element ölçümleri .....	22
<b>Çizelge 2.6.</b> Kan serumundaki demir elementinin yaşa göre değişimi.....	23
<b>Çizelge 4.1.</b> Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin moleküler kütle, etkin atom ağırlığı ve yoğunluk değerleri.....	42
<b>Çizelge 4.2.</b> Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının deneysel değerleri.....	43
<b>Çizelge 4.3.</b> Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları, elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının WinXCom ile hesaplanan teorik değerleri.....	44
<b>Çizelge 4.4.</b> Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları, elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının FFAST ile hesaplanan teorik değerleri .....	45
<b>Çizelge 4.5.</b> 59,5 keV enerjide, literatürde verilmiş bazı deneysel değerlerle bizim deneysel sonuçlarımızın karşılaştırılması .....	46
<b>Çizelge 4.6.</b> InSe kristaline katılan elementlerin özellikleri .....	47
<b>Çizelge 4.7.</b> Lam (cam) üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 60°C’de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ).....	48



<b>Çizelge 4.8.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 120°C'de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ).....	48
<b>Çizelge 4.9.</b> Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 180°C'de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ).....	48
<b>Çizelge 4.10.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin farklı tavlama süreleri ve sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ) .....	49
<b>Çizelge 4.11.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresi ve farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ) .....	49
<b>Çizelge 4.12.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresi ve farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ).....	50
<b>Çizelge 4.13.</b> Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 320°C sabit tavlama sıcaklığı ve farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörleri ( <i>T</i> ).....	50

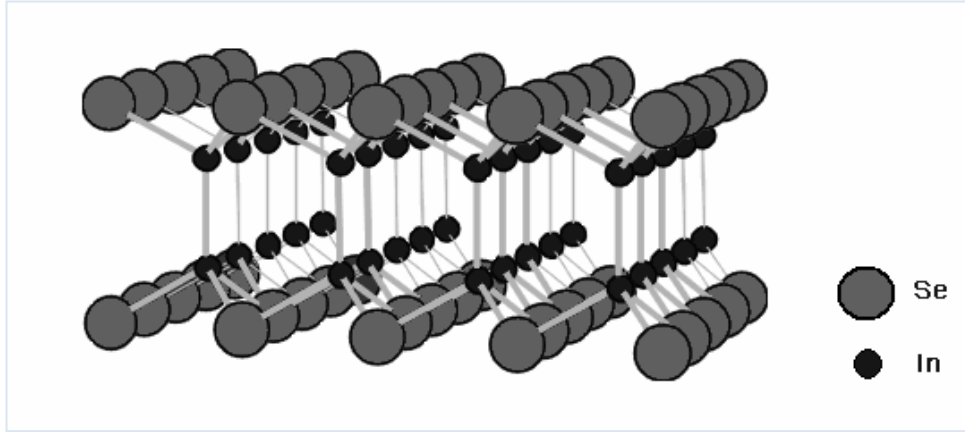
## 1. GİRİŞ

Canlı organizmalarda karbon, hidrojen, oksijen ve azot elementleri dışında, eksiklik veya fazlalığı sorunlara yol açan bir dizi element daha vardır ki, tüm bu elementler biyomedikal öneme sahip elementler adını alır. Bu dört temel element karbon, hidrojen, oksijen ve azot, çok fazla sayıda bileşik oluşturmakta ve insan vücudunda yer alan atomların yaklaşık yüzde 96'lık en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bunun dışında biyomedikal öneme sahip başka elementler de vardır ve bunlar epeyce düşük bir oran oluşturmalarına karşın, yaşam için kritik önemde çok sayıda işleve sahiptirler. Yaşam için kritik önem, söz konusu elementlerden herhangi birinden yoksun olan bir canlının, bazı durumlarda sağlığını yitirmesi hatta ölebilmesi anlamına gelir. Biyomedikal öneme sahip element ve bileşiklerin mutlak yokluğu durumunda ölüm, sınırlı alımı durumunda ise biyolojik fonksiyonların zarar görmesi gözlenmektedir. Gerekli miktarların alımında sağlıklı yaşam ve biyolojik fonksiyonların iyi durumu, aşırı miktarlarda da kesin zehirlenme gözlenir. Birçok elementin, yaşam için gerekli miktarları ile zehirli etki gösterdikleri miktarları arasında 10 ile 100 katlık bir aralık söz konusudur (Thomas 1998). Normal bir insan vücudundaki sert doku ve elektrolitleri beş ana elementin (karbon, hidrojen, oksijen, azot ve fosfor) organik bileşikleri ile kalsiyum, sodyum, potasyum, magnezyum, kükürt ve klor gibi elementler oluşturur. Bu 11 element dışında kalan elementlerin toplamı 70 kg gelen bir insanda ancak 10 g civarında olup bu elementlere eser elementler denir. Zira bu elementlerin vücuttaki konsantrasyonları  $\sim(1 - 2)/10000$  veya 50 mg/kg'ın altındadır. Son araştırmalar 11 element dışında 40-50 kadar elementin de insan vücudunda bulunduğunu göstermiştir. Son yüzyılda bu elementlerden 20 kadarının yaşamsal önemi anlaşılmıştır. Diğerlerinin ise işlevleri, vücuda giriş şekilleri, yarar ve zararları henüz tam anlaşılamamıştır. Buna rağmen bazı elementlerin vücuda alerjik, toksik ve kanserojen etki yaptıkları da kesin olarak anlaşılmıştır. Genel olarak vücut için yaşamsal öneme sahip olan elementlerin bile fazlası vücuda toksik etki yaparken, yetersiz alınmalarında eksikliklerinden kaynaklanan birçok hastalık ve bozukluklar görülür. Organizmanın fizyolojik fonksiyonlarının normal olması için gerekli elementler veya minerallerin biyomedikal

öneme sahip oldukları söylenir. Biyomedikal öneme sahip bu maddeler olmadan organizma normal yaşamını veya sağlıklı gelişimini sürdüremez. Bu temel elementler veya mineraller metaloenzimlerin yapısında kilit rol oynamaktadırlar. Ayrıca oksijen taşınması, hormonal aktivitelerin düzenlenmesi, serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi gibi daha birçok önemli biyolojik süreç de görev almaktadırlar (Patrick and Fernando 2007).

Çalışmamızda elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan soğurma olayı incelenmiştir. Elektromanyetik radyasyonla etkileşen iki farklı madde grubu seçilmiştir ve radyasyon soğurulması ile oluşan değişimler gözlenmiştir. Bu etkileşim için seçilen maddeler biyomedikal öneme sahip bazı elementlerin bileşikleriyle, katkılı ve katkısız InSe yarıiletken kristalleridir.

Yarıiletkenler genellikle tek kristal şeklinde büyütülmektedir. InSe ikili bileşikleri veya kristalleri tabakalı yapıya sahip olup tabakalı yapılar oldukça fazla anizotropik özelliklere sahiptir. II-VI, II-IV veya III-V grubu yarıiletkenlerdeki gibi 3 boyutlu bağlanma yerine bu kristallerde moleküler bağlanma iki boyutta I. mertebeden iyonik veya kovalent bağlardır. Bu bağlanma şekli, tabakalı yarıiletkenlerin eşsiz özelliklerinin ortaya çıkma sebebidir ve bu yarıiletkenler belirgin bir şekilde diğer klasik yarıiletkenlerin band yapısı, titreşim spektrumu, optik özellikleri ve mekanik özelliklerinden tamamen farklıdırlar (Segura *et al.* 1983). İndiyum III-A grubu elementi olup, atom numarası 49, kütle numarası ise 114,818'dir. VI-A grubu elementi olan selenyumun ise atom numarası 34, kütle numarası ise 78,950'dir. Yarıiletkenlerin III-VI tabakalı ailesinin en karakteristik özelliği katmanların varlığıdır. Bu aile  $A^{III}B^{VI}$  tipi bileşiklerin tek kristali olarak bilinmektedir (Mooser 1976). InSe kristali Şekil 1.1'de görüldüğü gibi Se-In-In-Se yapısında kristalleşir (Olguin *et al.* 2003). Atomlar birbirlerine kovalent veya iyonik bağla bağlanmışlardır ve her bir tabaka arasında Van-der Waals bağı vardır.



**Şekil 1.1.** InSe yarı iletken bileşiğinin birim hücresi perspektif görünüşü

InSe bileşiğinde indiyum düzlemindeki her bir atom, bitişiğindeki selenyum atomik düzleminde yer alan üç selenyum atomuna ve diğer tarafta ise bir indiyum atomuna yakın komşudur. Selenyum atomları arasındaki mesafe, indiyum atomları arasındaki mesafeden daha fazladır ve indiyum ve selenyum atomları arasındaki bölgede bir asimetri söz konusudur. Birbiri üzerine gelen iki boyutlu atomik düzlemler arası mesafe, oluşan politipin örgüsünü belirler (Choi *et al.* 2003). İkili yarıiletken bileşikler, görünür ve kızılötesi ışık yayan diyotlar, kızılötesi detektörler, optik parametrik osilatörler, doğrusal olmayan optikler, güneş pilleri, optik frekans dönüştürücü, ikinci dereceden harmonik üretim cihazları ve birçok elektro-optik cihazlar gibi pratik uygulamalardan dolayı teknolojik olarak ilgi çekicidirler (Pellicer *et al.* 2002). Yarıiletken bileşikler ince film üretilmesi için substrat olarak kullanılmalarına rağmen, güneş pillerinin fabrikasyonu için son yıllarda daha dikkat çekici hale gelmişlerdir. Son zamanlarda ise indiyum selen ince filmlerin büyütülmesi, indiyum selenin optoelektronik ve fotovoltaik uygulamalar için sahip olduğu potansiyelden dolayı fazlaca ilgi çeken bir çalışma konusu haline gelmiştir.

Bradley and Ghose (1984) biyomedikal öneme sahip düşük atom numaralı elementlerin  $\gamma$ -ışınlarının koherent ve inkoherent saçılmasını 30 keV ve birkaç yüz keV enerji aralığında incelemiştir. Atom numarasına bağlılığın daha gerçekçi yaklaşımını ortaya çıkarmaya çalışmışlardır.  $\gamma$ -ışınlarının koherent saçılmasında saçıcının atom numarasına

güçlü bir bağıllık, inkohherent saçılmada ise saçıcının atom numarasına zayıf bir bağıllık bulunduğu tespit edilmiştir. Bradley *et al.* (1999) biyomedikal öneme sahip C, O, Al, Ca, Fe, I ve Pb elementlerinden elastik foton-atom saçılmasında anormal saçılma etkilerini incelemişlerdir. Nayak *et al.* (2001) bazı polimerlerde 59,5 keV enerjide fotoelektrik işlemler için etkin atom numaralarını tayin etmişlerdir. Angelone *et al.* (2001) 22 tane saf elemental materyali (C, Al, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Ta, Pt, Au, Pb) kullanarak 50 keV X-ışını enerjisinde kütle azaltma katsayılarını incelemişlerdir. Berilyum pencere kalınlığı 50  $\mu\text{m}$  olan pür germanyum detektör kullanmışlardır. Deneysel değerler XCOM programı kullanılarak elde edilen teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Turgut vd (2002) Co, Mn elementlerinin ve  $\text{Co}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  bileşiklerinin 4,508 ve 11,210 keV enerji aralığında ikincil uyarıcı kaynak kullanarak toplam kütle azaltma katsayılarını incelemişlerdir. İkincil uyarıcı kaynak olarak Ti, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se kullanmışlardır. 59,5 keV enerjili  $^{241}\text{Am}$  kaynağı ana kaynak olarak kullanılmıştır ve  $K_\alpha$  ( $K-L_3$ ,  $L_2$ ) ışınları ile ikincil uyarmalar sağlanmıştır. Rezolüsyonu 160 eV olan bir Si(Li) detektör kullanmışlardır. Elde edilen deneysel ve teorik değerleri karşılaştırmışlardır. Bileşikler için kütle azaltma katsayısının tanımlanmasında karışım kuralının kullanışsız olduğu sonucuna varmışlardır. İçelli *et al.* (2005a) elektrodpozisyon yöntemiyle hazırlanan CoCuNi alaşımlarındaki Ni yüzdesi değiştirilerek, etkin atom numarasındaki değişimi incelemişlerdir. Çalışmada 15,746 ve 40,930 keV enerji aralığındaki X-ışınları ve 5,9 keV enerjide 160 eV rezolasyona sahip olan Si(Li) detektör kullanılmıştır. Eisa *et al.* (2005) Zn, Cu, Ni, Co, Fe, V, Ti elementlerinin soğurma kıyısı yakınındaki, kütle soğurma katsayılarını sinkrotron radyasyon kullanarak ölçmüşlerdir. İçelli *et al.* (2005b) Stockbarger metodu kullanılarak büyütülmüş n-tipi InSe ve Gd, Ho, Er elementleri ile katkılanmış InSe kristallerinin kütle azaltma katsayılarını, 15,746-40,930 keV enerji aralığında Si(Li) detektör ve EDXRF sistemi kullanarak ölçmüşlerdir. Erzeneoğlu *et al.* (2006) Bridgman-Stockbarger metodu kullanılarak elde edilmiş InSe ve farklı konsantrasyonlarda Holmiyum dop edilmiş InSe kristallerinin 15,746-40,930 keV enerji aralığındaki kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. Carvalho *et al.* (2007) multi elemental teknikler kullanarak birkaç sağlıklı ve tümörlü (neoplastik) insan dokusunu

SRIXE, EDXRF, TXRF ve PIXE sistemlerini kullanarak analiz etmişlerdir. Vücutta eser miktarda bulunan elementlerin insan fizyolojisinde fazla ya da eksikliğinin kanser başta olmak üzere birçok hastalığın meydana gelmesine sebep olduğu ortaya çıkmıştır. Glover *et al.* (2010) 14-21 keV enerji aralığında sinkrotron radyasyonu kullanılarak altın elementi için X-ışını kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. Kurudirek *et al.* (2010) TSW, çimento ve kireç numunelerine farklı oranda (%25, 50 ve 75) katılmış TSW için toplam kütle azaltma katsayısı, foton etkileşimli tesir kesiti, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Çalışmada WDXRF kullanılmıştır. Ayrıca 22,1 keV ve 25 keV enerjili X-ışınları ve 88 keV enerjili  $\gamma$ -ışınlarını kullanmışlardır. Menesguen and Lepy (2010) Ti, V, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn elementleri için  $K_{\alpha}$  ve  $K_{\beta}$  floresans verimini, K-tabakası soğurma-sıçrama oranlarını ve  $3,8 \leq E \leq 11$  keV enerji aralığındaki kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. El-Sersy *et al.* (2011)  $(80-\chi)\text{B}_2\text{O}_3-10\text{Al}_2\text{O}_3-10\text{SiO}_2-\chi\text{CaF}_2$  (ki burada  $\chi$ = yüzde 5, 10, 20, 25, 30, 35 ve 40 mol) cam sisteminin toplam kütle azaltma katsayılarını, kısmi etkileşimlerini ve etkin atom numarasını 0,662 ve 1,25 MeV enerjilerde foton ışını ve karışım kuralına dayanan WinXCom kullanarak hesaplamışlardır. Abdinov *et al.* (2012) n-tipi InSe kristalinin fotoiletkenliğine dış elektrik alanın etkisini çalışmışlardır. Medhat (2012) zümrüt cinsinden değerli bir taş olan doğal beril, titanyum, korundum, lal taşı (garnet), inci ve bir bor silikat minerali olan turmaline taşı için 81; 356,5; 661,6; 1173,2 ve 1332,5 keV foton enerjilerinde kütle azaltma katsayılarını ölçmüştür. Numuneler  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  radyoaktif nokta kaynakları ile gama ışını iletim yöntemi kullanılarak uyarılmıştır. Çalışmada HpGe detektörü kullanılmıştır. Vishwanath and Nagappa (2012) karbondioksit, metan, asetilen, propan, bütan ve pentan için 1 keV-100 GeV foton enerjisi kullanarak toplam kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını ölçmüşlerdir. Marcelo *et al.* (2012) Rayleigh-Compton saçılması oranı ve etkin atom numarasına dayanarak düşük atom numaralı numunelerin kütle azaltma katsayılarının tanımlanması için yeni bir metot geliştirmişlerdir. Kulwinder *et al.* (2012) düşük atom numaralı inşaat materyalleri için 0,015-15 MeV enerji aralığında eşdeğer atom numarası ve kütle azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir. Baltej *et al.* (2012) aniline ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ), sikloheksan ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ), gliserin ( $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ ), botil alkol N- ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ ), DMSO- dimetil-sülfoksit ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_5$ ), metil-etil keton ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ ), ksilen

(C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>), asetofenon (C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O), trietil aminin (C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>N) bileşiklerinin toplam kütle azaltma katsayısı, toplam foton etkileşim tesir kesiti, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğunu 59,54 keV enerjide 100 mCi şiddetinde <sup>241</sup>Am nokta kaynağı ve dar şua geometrisi kullanarak tespit etmişlerdir. Marashdeh *et al.* (2012) 16,59-25,26 keV enerji aralığındaki fotonlar kullanılarak bir ağaç türü olan doğal ham haldeki Rhizophora spp.'nin kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. Latha *et al.* (2012) 59,54 enerjili  $\gamma$ -ışını kullanarak  $13 \leq Z \leq 50$  aralığındaki elementlerin, çeşitli kombinasyonlarının, etkin atom numaralarını heterojen tabakalarda değerlendirmişlerdir. Limkitjaroenporn *et al.* (2013) Compton saçılma tekniğini kullanarak farklı  $\gamma$ -ışını enerjilerinde Inconel 738 süper alaşımının kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir. Etkin atom numarasını ve elektron yoğunluğunu hesaplamışlardır.  $\gamma$  - ışını enerjisinin azalması sonucu kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğunun arttığını gözlemlemişlerdir. Ahmadi *et al.* (2013) 1 keV ile 100 GeV enerji aralığındaki amino asit ihtiva eden bakteriorodopsinin etkin atom numarası ve elektron yoğunluğunu hesaplamışlardır. Manjunatha and Rudraswamy (2013) 1 keV ile 100 GeV enerji aralığında insan organ dokularının etkin atom numarasını ve elektron yoğunluğunu çalışmışlardır. Darwish *et al.* (2013) Hegzegonal sistem ile InSe tozlarının polikristal olduklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca X-ışını kırınımlı taramalı elektron mikroskobu kullanarak InSe filmlerin doğal nano yapıya sahip olduklarını göstermişlerdir.

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır ki birinci kısımda; biyomedikal öneme sahip olan Na, Mg, Al, Ca ve Fe elementlerinin oluşturduğu; NaO<sub>2</sub>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaF, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgO, Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, AlCl<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaF<sub>2</sub>, CaHPO<sub>4</sub>, CaO<sub>6</sub>C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>, FeCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ölçülerek; elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmamızın ikinci kısmında ise lam (cam) üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleriyle, lam üzerine buharlaştırılma işlemi yapılmamış (direk büyütüldüğü gibi, doğal haliyle kullanılmış) InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin  $\gamma$ -

ışını transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve süresine göre değişimleri incelenmiştir.

Yaptığımız literatür araştırması sonucu biyomedikal öneme sahip element ve bileşikler için kütle soğurma katsayılarına ve yarıiletken kristallerde tavlama süresi ve sıcaklığına bağlı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki ilk deneysel değerleri oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasındaki amacımız ve hedefimiz literatürdeki bu eksikliği tamamlamak, ölçtüğümüz deneysel değerleri literatüre kazandırmak ve gelecekte yapılacak çalışmalara temel oluşturmaktır.



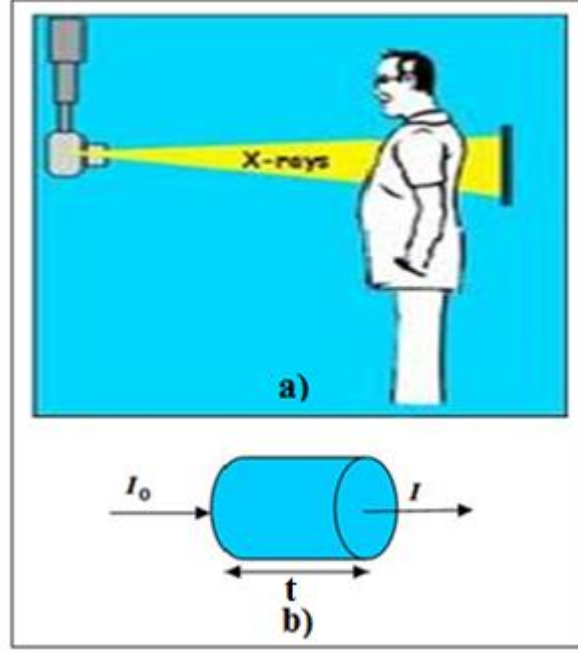
## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşmesi

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi ve enerji kaybına ilişkin bilgiler radyasyonun dedeksiyonu, korunma ilkelerinin belirlenmesi, biyolojik etkilerinin incelenmesi ve nükleer tekniklerin çok çeşitli alanlarda kullanılmasına temel oluşturur. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesinde temel ajanlar atomik elektronlardır. Etkileşme mekanizması, etkileşme olasılığı ve enerji kaybı, gelen radyasyonun enerjisine, etkileştiği ortamın atom numarasına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşmesi; elektromanyetik radyasyonun soğurulması (fotoelektrik olay ve çift oluşumu) ve elektromanyetik radyasyonun saçılması (koherent ve inkoherent ) olayı olmak üzere iki ana başlık altında incelenir. Madde içine giren elektromanyetik radyasyon, çekirdek ve elektronlarla etkileşir.

Madde ve elektromanyetik radyasyon etkileşmesi sonucu meydana gelen soğurma ve saçılma olaylarının, daha iyi bir şekilde açıklanmasında tesir kesitleri, soğurma ve saçılma katsayıları önemli rol oynamaktadırlar. Kütle soğurma katsayıları; fotoelektrik soğurma, Compton saçılması, Rayleigh saçılması ve çift oluşum yoluyla madde ile elektromanyetik radyasyon etkileşimini tanımlayan önemli parametrelerdir. Kütle soğurma katsayıları birçok uygulama alanında önemli bir role sahiptir. X ve  $\gamma$ -ışınlarının kütle soğurma katsayıları; endüstriyel, biyolojik, tarımsal uygulamalar, dozimetri, radyografi ve bilgisayarlı tomografi gibi önemli uygulama alanlarına sahiptir. Kütle soğurma katsayıları maddenin atomik ve moleküler seviyede birçok temel özelliği hakkında geniş bilgiler sunmaktadır. Literatürde birçok çalışmada; inşaat malzemeleri, metal alaşımlar, mineral numuneler, kemik, kas ve yağ gibi biyolojik numuneler için kütle soğurma katsayılarının doğru ölçümleri aranmıştır. İletilen ışının azaltılması ölçülerek kütle azaltma katsayıları deneysel olarak elde edilebilir. Bu metot Beer-Lambert eşitliği denilen bir ifadeyle tanımlanır. Radyasyonun şiddetinde meydana

gelen azalma soğurucu malzemenin kalınlığı ( $t$ ) ile orantılıdır. Bu olay aslında tıptaki tomografi ve röntgen çekimi ile aynı mantığı taşır. Orada numunenin yerini belli bir organ, doku, kemik veya bütün vücut alır. Bu olay Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.1.** a) Röntgen çekimi, b)  $t$  kalınlığındaki bir numune için radyasyon şiddetindeki değişim

Başlangıçtaki şiddeti  $I_0$  olan elektromanyetik radyasyonun bir soğurucu tabakasından geçtikten sonraki  $I$  şiddeti,

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \quad (2.1)$$

olur. Burada  $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) lineer soğurma katsayısı,  $I/I_0$  oranı ise transmisyon faktörü veya transmisyon katsayısı ( $T$ ) adını alır. Transmisyon ölçümleri tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Bu ölçümler petrol kuyularında çok fazlı akış kompozisyon ölçümleri, yassı haddelenmiş alüminyum ve çelik üretimi için kalınlık ölçümleri, damarlarda kan basıncı seviye ölçümleri, kemik yoğunluk

ölçümleri, sigara tütün miktarı ve toprak yoğunluğu belirleme gibi birçok önemli uygulamada yer almaktadır (Moss *et al.* 2013). Lineer soğurma katsayısı  $\mu$  'nın soğurucu maddenin yoğunluğuna ( $\rho$ ) oranı kütle soğurma katsayısı ( $\mu_m$ ) olarak adlandırılır ve

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{\rho t} \ln \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilir.

Kütle soğurma katsayısı değeri soğurucu materyalin fiziksel haline bağlı olmadığından dolayı lineer soğurma katsayısından daha önemlidir. Kütle soğurma katsayısı direkt olarak soğurucu materyalin tabiatını yansıtır. Bu nedenle lineer soğurma katsayısından kütle soğurma katsayısını ölçmek daha uygundur.

Bir olayın meydana gelme ihtimaliyetinin ölçüsü olarak tanımlanan tesir kesiti kavramı; deneysel olarak ölçülebilen, deneysel ve teorik değerleri karşılaştırılabilen bir kavram olduğundan dolayı nükleer, atomik ve moleküler olayların ayrıntılı bir şekilde açıklanmasına imkan verir. Tesir kesiti, foton ile madde arasındaki etkileşmenin türüne göre isimlendirilir. Örneğin foton madde tarafından soğuruluyorsa soğurma tesir kesiti, madde tarafından saçılmaya uğratılıyorsa saçılma tesir kesiti ifadeleri kullanılır.

Foton etkileşmelerinde; alaşım, toprak, biyolojik malzemeler şeklindeki kompoze materyaller, elementler gibi tek bir atom numarası ile bütün enerji bölgeleri için temsil edilemezler. Bu atom numaraları kompozit malzemeler için etkin atom numarası olarak adlandırılırlar ve enerji ile değişim gösterirler (Prasad *et al.* 1998). Etkin atom numarası ( $Z_{et}$ ); kompleks ortamlar, tıbbi radyasyon dozimetre ile X ve  $\gamma$ -ışınlarının azaltılmasının yorumlanması için çok kullanışlı bir parametredir. Etkin atom numarası fiziksel olarak anlamlıdır ve bir tek değer ile materyalin karakteristiğinin görsel olmasını sağlar (Singh *et al.* 1996). Elementlerden oluşan kompoze materyallerde, kısmi etkileşme tesir kesitleri, elementlerin her birine bağlıdır (Jackson and Hawkes 1981).

## 2.2. Canlıların Yaşamı İçin Gerekli Olan Elementler

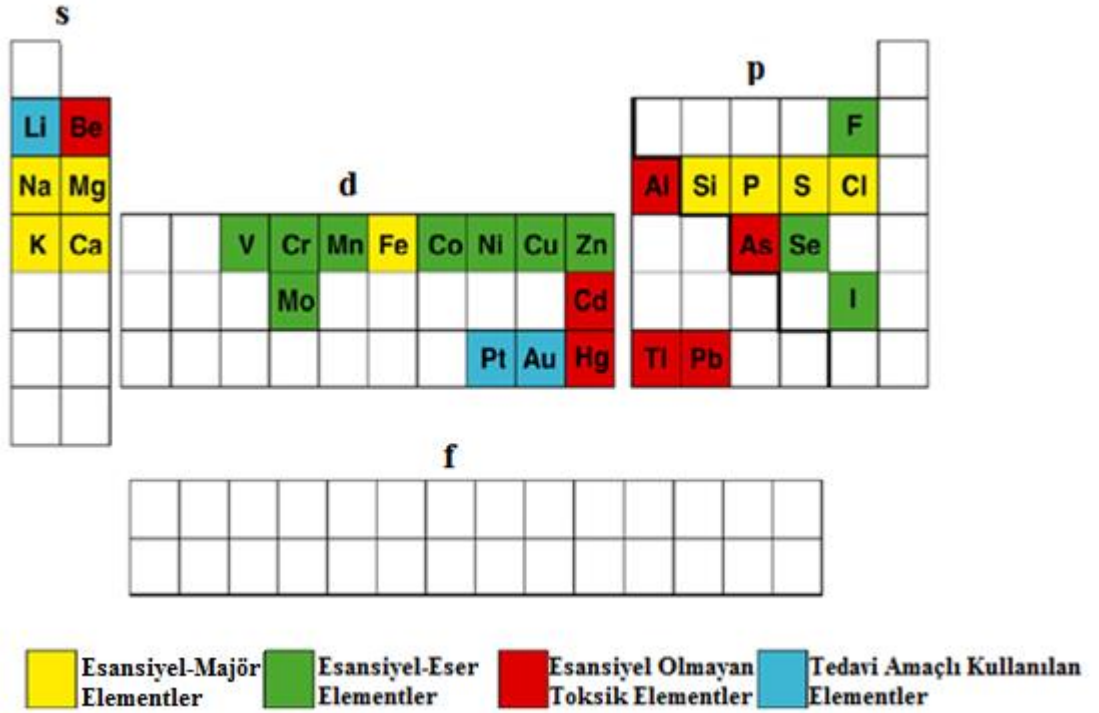
Doğada yaygın olarak bulunan elementlerin çoğu organizmada da bulunurlar. Canlı organizmada organik yapıya katılan C, H, O, N ile birlikte Na, K, Cl, Ca, P, Mg, Cu, Fe, Co, I, Se, Mn, Mo, Cd, Cr, F, S, Zn, B, As, Br, Si, Ni, Al gibi elementlerin de bulunduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Halen canlı yaşamı için öneme sahip elementlerin birçok fonksiyonunun detayları açıklanamamasına rağmen, bazı genel karakteristikler iyi bilinmektedir. Bazen bu elementlerin çok küçük bir miktarı tüm organizmanın uygun performansta çalışması için gerekli olabilmektedir. Örneğin demir elementininin eksikliğinin sonucu, anemi hastalığının belirtileri ortaya çıkar. Küçük miktardaki bu elementlerin büyük etkisi metabolizmada etkin rol oynayan biyokimyasal substratlarla olan ilişkisine bağlanmaktadır. Yaşam için gerekli elementler kendilerine özgü bazı özelliklerinden dolayı kesinlikle kimyasal olarak benzer özellikte bir diğer element ile yer değiştiremezler. Bu eser elementler elektronik dizilişlerine ve bağ yapılarına göre azot, sülfür ve oksijen gibi elektron donör atomları ile etkileşirler. Demir, bakır, molibden gibi elementler birden fazla kararlı iyonik yapıda olabilirler ve bu sayede biyolojik indirgenme ve yükseltgenme fonksiyonlarında rol alabilirler. Geçiş metalleri, kısmen dolu *d* orbitalleri sayesinde (Fe, Cu, Co) tam dolu metallere (Zn) nazaran daha fazla sayıda elektron donör atom ile koordinasyona girebilir. Yaşam için gerekli birçok element metaloenzim veya nonenzimatik metaloprotein olarak enzim aktivitesini düzenleyici veya harekete geçirici rol oynarlar. Bunlardan bazıları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Ayrıca bazı elementler de proteinlerin taşınmasında ve depolanmasında etkin rol alırlar (transferrin ve ferritin için demir, albümin ve  $\alpha_2$  makroglobulin için çinko, transmanganan için mangan, nikeloplasmin için nikel).

**Çizelge 2.1.** Enzimler tarafından aktive edilen bazı biyomedikal elementler (Thomas 1998).

<b>Enzimler</b>	<b>Elementler</b>
Aminopeptidaz	Mg
Arginaz	Ca, Mg
Karboksi-peptidaz A	Fe
Enolaz	Fe
Dipeptidaz	Ca, Mg
Glukokinaz	Ca, Mg
NADP sitokrom reduktaz	Fe
Suksinat dehidrogenaz	Fe
Fosfataz	Ca, Fe, Mg

### 2.3. Biyomedikal Öneme Sahip Elementlerin Sınıflandırılması

Esansiyel elementler; organizmanın normal fizyolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gereklidirler. Esansiyel elementler olmadan organizma yaşam döngüsünü tamamlayamaz veya normal gelişimini gerçekleştiremez (Zheng *et al.* 2008). Esansiyel elementler metalloenzimlerin yapısında kilit rol oynarlar. Ayrıca oksijen taşınması, hormonal aktivitelerin düzenlenmesi, serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi gibi birçok önemli biyolojik fonksiyonun yerine getirilmesinde yine bu elementler karşımıza çıkmaktadır (Parsons and Barbosa 2007). İnsan sağlığı için gerekli olan biyomedikal öneme sahip elementler, genellikle vücut sıvıları ve dokularda bulunmaktadır. Bu elementler konsantrasyonlarına göre alt sınıflara ayrılabilirler (eser veya majör elementler). Analitik kimyagerler tarafından insan sağlığı dikkate alınarak uygun bir sınıflandırma oluşturulmuştur. Bu sınıflandırma esansiyel ve esansiyel olmayan (temel ve temel olmayan) biyomedikal elementler şeklindedir. NCCLS'ye göre biyomedikal elementlerin periyodik olarak sınıflandırılması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.2.** NCCLS'ye göre biyomedikal elementlerin periyodik cetveldeki şematik gösterimi

Esansiyel elementler vücut sıvılarında 10 mg/L ya da dokularda 10 µg/L üzerindeyse majör elementler adını alır ve bunlar 1. ve 2. gruptaki Na, K, Ca ve Mg elektrolit elementlerdir. Klinik amaçlı olarak sınıflandırılırsa, eser elementler vücut sıvılarında 10-10<sup>4</sup> µg/L konsantrasyon aralığında iken dokularda 0,01-100 µg/g konsantrasyon aralığındadır. 10 µg/L (<0,01 µg/g dokular için) altındaki konsantrasyonlar için temel elementlerin bir alt grubu daha vardır ki bunlar ultraeser elementler adını alır (Gillian *et al.* 1997).

Birçok ortamda olabilen, temel olmayan elementler vücut doku ve sıvılarında kolayca dedekte edilebilmektedir. Bazıları nispeten tehlikesiz olan fakat Pb, Cd, Hg ve As gibi diğerleri, eser kabul edilebilir konsantrasyonlarda olmalarına rağmen toksik elementlerdir. Klinikal laboratuvar tıpta yaygın olarak karşılaşılan, temel olmayan toksik elementler Şekil 2.2'de kırmızı renkli olarak gösterilmiştir. Bununla birlikte unutulmamalıdır ki kritik bir eşik konsantrasyonunun üzerinde bütün elementler toksik

etkiler içerebilirler. Aksine temel elementlerden herhangi biri sağlıklı gelişim için olması gereken konsantrasyon düzeyinin altında ise bu durumda da sağlığın olumsuz etkileneceği açıktır (Delves 1982; Savory and Wills 1992). Bu nedenle herhangi bir elementin toksisite konsantrasyonu; maruz kalma yolu ve süresi, kimyasal yapı veya kimyasal türe bağlıdır.

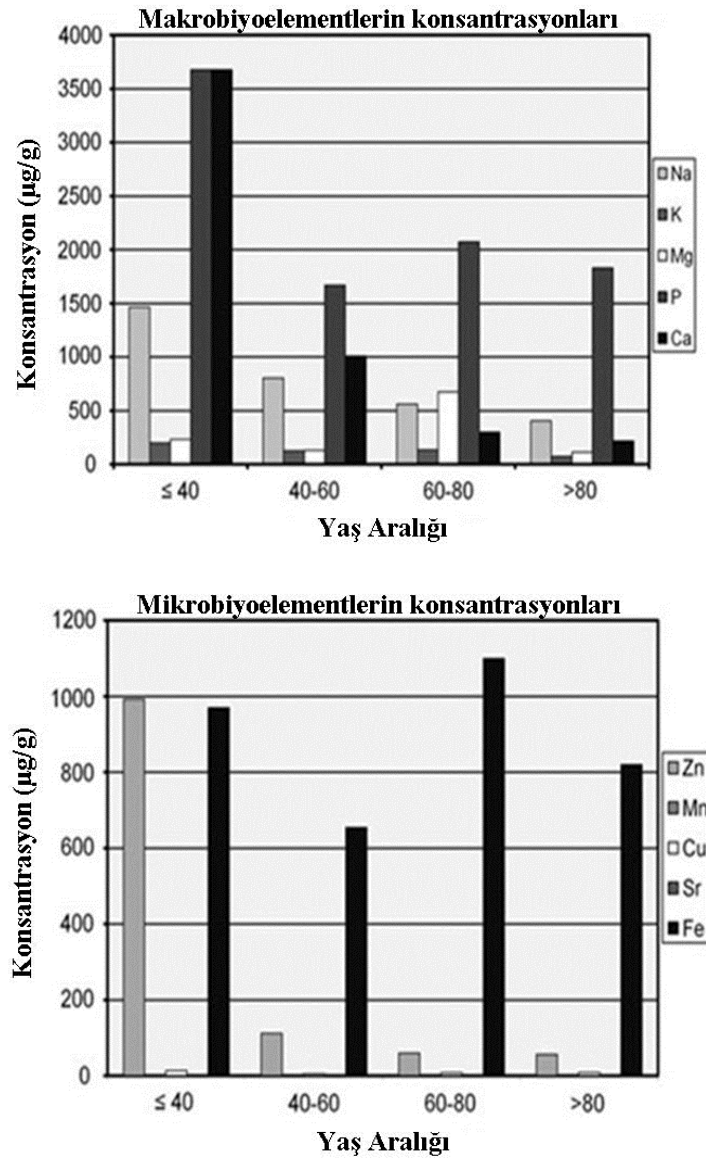
Biyomedikal öneme sahip elementler veya biyoelementler insan, hayvan ve bitki organizmalarında özellikle hücre metabolizması içinde önemli rol oynamaktadırlar. 104 element içerisinde dört tanesi doğal olarak bilinmektedir ki bunlar, karbon, hidrojen, azot ve oksijendir. Tabiatta doğal olarak bulunan bu dört organik element insan vücut ağırlığının yaklaşık yüzde 96'sını oluşturmaktadır (Murray *et al.* 2009). Elementlerin oluşum konsantrasyonları  $>0,01$  (ağırlıkça yüzde) ise makro elementler ya da makro biyoelementler adını alırlar. Ca, Mg, P, S, K, Na ve Cl bu gruba ait olan başlıca elementlerdir. Diğer elementlerin oluşum konsantrasyonları  $<0,01$  (ağırlıkça yüzde) ise mikro elementler veya mikro biyoelementler adını alırlar. Fe, Zn, Cu, Mo, Ni, Co, Cr ve Mn bu gruba örnektir. Üçüncü grup ise, güçlü toksik etkiler ihtiva ettiğinden insan organizmasında oluşmayan Tl, Hg, Al, Cd ve Ba gibi ağır elementlerdir (Andrews *et al.* 2004). Bir organizmanın kendi fonksiyonu için gerekli elementlerden (Ca, Mn, Cu, Zn ve Fe), başka diğer elementlerde (Se, Cr ve Mn) yaşamsal fonksiyonların işlevinin yerine getirilmesinde önemlidir. Çünkü bu elementlerin sadece yüksek miktarları toksik etki içermektedir (Kuczyn'ska and Biziuk 2007). Her element bir organizma içinde kendine özgü bir biyokimyasal rol oynar. Makro ve mikro elementler kesinlikle belirlenen konsantrasyon aralıkları içinde meydana gelmektedir. Az miktardaki eksikliği bile hastalık ve ölüme yol açan ciddi metabolik değişikliklere neden olabilir. Yalnızca birkaç tanesi önemli metabolik etkiler olmaksızın yüksek konsantrasyonlarda oluşmaktadır (Murray *et al.* 2009). Fizyolojik süreçler organizmadaki belirli elementlerin konsantrasyonları ve oranlarına bağlıdır. Bazı elementler birlikte çalışırken diğerleri ile de rekabet halindedirler. Birinin eksikliği ya da fazlalığı diğerlerinin içeriğini de etkiler (Lucyna *et al.* 2011). Örneğin osteoporoz, kalsiyum eksikliği sonucu kemik kütlesinin azalması sonucu oluşmaktadır. Ayrıca kalsiyumdan başka Si, Cu, Mg, K, B, Zn ve Sr elementleri de kemik yapısından sorumludur. Özellikle iki element çifti

arasında önemli bir ilişki vardır bunlar: Cu-Si ve Mg-K'dur. Her iki durumda da uygun bir işleyiş hastalık etkilerini ve semptomlarını azaltabilir (Berg *et al.* 2002). Toksik metallerin mide ve bağırsak sisteminden emilimi veya hücre tarafından soğurulması diğer özel elementleri de önemli ölçüde etkilemektedir. Vücutta fosfatın fazlalığında kalsiyum ve magnezyum eksiklikleri artmaktadır, kadmiyumun aşırı alımında çinko eksikliği artmaktadır ayrıca kurşun fazlalığında ise magnezyum eksikliği artmaktadır (Rose and Mileusnic 1999; Menke *et al.* 2009). Ayrıca bir elementin eksikliği sonucu organizmanın yeteneği artarken bazen de elementin artmasıyla bu yetenek azalır bu durum zehirlenmeye karşı organizmanın oluşturduğu korumadır. Bir organizma da belirli bölgeler için sabit bir düzeyde tutulan bir iyon dengesi vardır. Metabolik aktivite ve fizyolojik durum belli elementler arasında ki oranlara bağlıdır. Birçok eser element, organizma ve metabolizmayla doğrudan bağıntılı olan sinerjik (olumlu) ve antagonist (olumsuz) ilişkileri göstermektedir. Birçok durumda, belirli elementlerin doğru içerik oranlarını koruması onların bireysel konsantrasyonlarını desteklemelerinden daha önemlidir (Da Silva and Williams 1991).

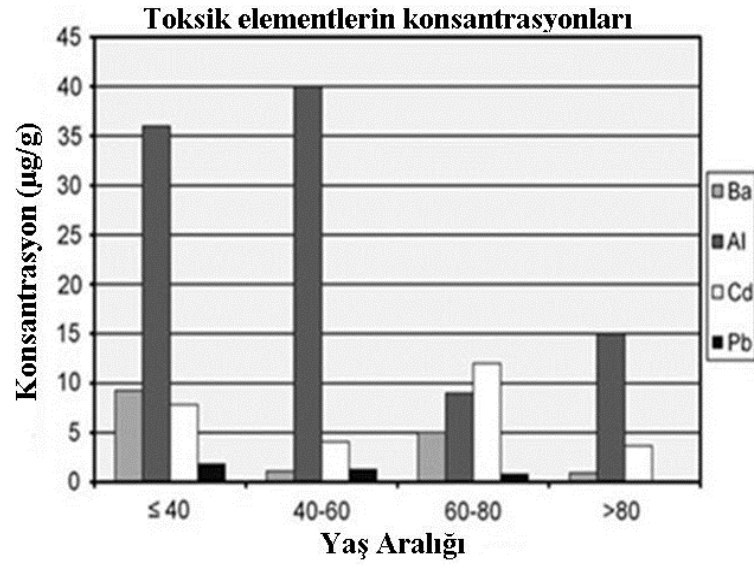
Toksik elementlerin özellikle karaciğer, böbrek, pankreas ve bağırsak gibi organlarda birikme eğilimi vardır. Kronik maruziyet durumlarında bu elementler diğer organ ve dokularda da birikebilirler, örneğin; kemikler de kurşun ve civa, beyinde alüminyum ve saç köklerinde kadmiyum birikebilir (Kabata-Pendias and Pendias 1999; Jakubowski and Trzcinka-Ochocka 2005; Prasad *et al.* 2006). Bağırsak dokularında elementlerin gösterdikleri toksik etkiler, deri ve kemiklerdekine oranla çok daha yüksektir (Bona *et al.* 1992). Organizmada aşırı element birikimi düşük aktivitenin elemanlarının şekillenmesinde rol oynayan bir mekanizmadır. Bu birikim gizli mineralleşmeye ve eser elementlerin dokuların biyolojik yapılarına dâhil olunmasına sebep olabilir (Pawlikowski 2003). Bu eser elementler hastalıklar sırasında ya da stresli koşullar altında biyokimyasal süreçlere katılabilirler. Karaciğer; biyokimyasal reaksiyonları ve enerji akışını yönlendiren, bir organizmanın doğru çalışmasını sağlayan kilit organlardan biridir. Karaciğer, insan vücudunda 5000'den fazla yaşam fonksiyonundan sorumludur. Karaciğerin bu yaşamsal fonksiyonları; toksinleri ortadan kaldırmak veya parçalamak, hormon üretmek ve kanı pıhtılaştırmaktır (Berg *et al.* 2002). Ağır metaller,



gıdalarda ki zirai ilaçlar, virüsler, bakteriler, antibiyotikler, ilaçlar ve mitotoksinler karaciğer fonksiyonlarını etkileyen tehlikeli tehditlerdir. Bunların birikimi karaciğerin fazla çalışmasına yol açarak, bazı işlevlerin devre dışı kalmasına sebep olur (Barile 2003). Bu yüzden insan karaciğerindeki biyoelementler ve onların oranları organizmada bütünüyle biriktiği sonucunu düşündürmektedir (Lucyna *et al.* 2011). İncelenen karaciğer dokularındaki makro, mikrobiyoelementler ve toksik elementlerin yaşa göre konsantrasyonları Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.3.** Karaciğer dokularındaki elementlerin yaşa göre konsantrasyonları (Lucyna *et al.* 2011).



**Şekil 2.3.** devam

Sadece insan değil diğer canlılar için de karaciğer ile biyoelementler ve toksik elementler arasında önemli ilişkiler vardır. Bu ilişkilere bir örnekte Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Çeşitli canlı türleri için karaciğer hastalıklarının biyoelementlerle ilişkisi (Sorensen *et al.* 2008).

İlişkili Hastalıklar	Türler	Elementler	Diğer Serum Kimyası	Referanslar
Akut Karaciğer Hastalığı(Hepatit)	İnsan	↓S-Ca, S-Mg, S-Zn; ↑S-Cu, S-Fe, S-P; ↓Cu/Zn	↑GGT, ALP & ↓Bilirubin ve Albumin	Cesur <i>et al.</i> 2005; Suzuki <i>et al.</i> 1996; Süleyman <i>et al.</i> 2005; Van Gossum and Neve 1998
Alkole İlişkili Kronik Karaciğer hastalığı	İnsan	↓S-Mg, S-Zn, P-Mg, P-Zn, P-Se, P-Cr; ↑S-Cu, S-Fe	↑AST, ALT, GGT & Bilirubin	Avşaroğlu <i>et al.</i> 2005; Cook <i>et al.</i> 1991
Hepatopati, Hepatit, Karaciğer Hastalıkları, Porfiriya Kutanea Tarda	İnsan, Köpek, Gelincik	↑S-Cu, S-Fe, S-Mg & T-Cu	↑ALT & AST	Fuentealba and Aburto 2003; Dabrowska <i>et al.</i> 2000
Asemptomatik veya spesifik olmayan Karaciğer Hastalıkları	İnsan, Yunus	↓P-Fe, P-Cu, S-Zn, S-Cu; ↑T-Hg	↑AST & ALT	Johnston 1999; Pramoolsinsap <i>et al.</i> 1994; Law 1996; Rawson <i>et al.</i> 1996
Bakır ile İlişkili Karaciğer Hastalıkları, Bakıra Maruz Kalma ya da Bakır Depolama, Wilson Hastalığı	Koyun, Köpek, Fare	↑S-Cu; ↑T-Cu; ↓S-Cu	↑Hemoliz, Hemoglobin, AST, GGT, ALP, BUN, ALT	Fuentealba and Aburto 2003; Thornburg 2000; Webb <i>et al.</i> 2002; Noaker <i>et al.</i> 1999
Siroz	İnsan, Kedi, Köpek	↓S-Zn; ↓P-Zn; ↑P-Cu, Cu/Zn; ↓S-Ca, S-Mg, S-P; ↑S-Cu; ↓S-Zn	↑ALP & GGT; ↓Akyuvarlar	Fuentealba and Aburto 2003; Fredricks <i>et al.</i> 1960; Halifeoğlu <i>et al.</i> 2004; Walravens 1979; Suzuki <i>et al.</i> 1996; Pramoolsinsap <i>et al.</i> 1994; Cesur <i>et al.</i> 2005

S=Serum; P=Plazma; T=Doku; B=Kan; ↑=Artış; ↓=Azalış; AST=Aspartat Aminotransferaz; ALT=Aminotransferaz Alanin; GGT=Gama glutamiltransferaz; ALP=Alkali Fosfor; BUN=Kan Üre Azotu

#### **2.4. Biyomedikal Öneme Sahip Na, Mg, Al, Ca ve Fe Elementlerinin Biyokimyasal Fonksiyonları**

Bazı elementler yaşam için gereklidir ve yokluğunda ya ölüm ya da organizmanın birçok fonksiyonunun işlevselliğinde zararlar karşılışılır. Özellikle eser miktardaki biyomedikal öneme sahip elementler söz konusu olduğunda ölüm ile organizmanın zarar görmesi arasındaki ölçüt genellikle deneylerle saptanamaz. Bu elementlerin yokluğunda gözlenen fonksiyon bozuklukları ancak ihtiyaç duyulan elementin ihtiyaç duyulan miktarının organizmaya verilmesiyle giderilebilir. Başka herhangi bir element bir diğereinin gösterdiği etkiyi gösteremez. Biyomedikal öneme sahip elementler büyüme, doku tamiri ve çeşitli metabolik işlevlerin yürütülmesi için gereklidir. Bazıları eser miktarlarda olan bu önemli elementler dokularda ve vücut sıvılarında çok düşük yoğunluklarda bulunmakla beraber yaşam için gereklidirler. Biyolojik örneklerde yürütülen biyomedikal öneme sahip element tayinleri insan sağlığı ve hastalıkları ile ilgili bilgi dağarcığımızın zenginleşmesine katkıda bulunurlar. Çeşitli hastalıkların tanı ve tedavisinde bu elementlerin oynadıkları rol göz ardı edilemez. Örneğin, eser element konsantrasyonunun sağlıklı ve tümörlü dokuda bilinmesi kanser etiyolojisinin gelişmesinde yardımcı olmuştur (Carvalho *et al.* 2007). Canlı yaşamında bu kadar önem arz eden bu elementlerin oluşturduğu bileşikler de önemlidir. Bu kısımda biyomedikal öneme sahip olan elementlerin bazılarının, biyokimyasal fonksiyonları üzerinde durulacaktır. Çizelge 2.3’de majör esansiyel elementlerin buldukları yapılar, genel olarak etkili oldukları olaylar, eksiklik veya fazlalıkları sonucu oluşan hastalıklar, buldukları besinler ve günlük ihtiyaç miktarları verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Majör esansiyel elementlerin genel olarak etkili oldukları olaylar veya katıldığı yapılar, bol buldukları besinler, eksiklik veya fazlalıkları sonucu oluşan hastalıklar ve günlük ihtiyaç miktarları (Samur 2008).

Element	Etkili Olduğu Olaylar veya Katıldığı Yapı	Bol Buldukları Besinler	Oluşacak Hastalıklar	Günlük İhtiyaç
Ca	Kemik ve dişlerin yapısı, kas kasılması, sinirlerin çalışması, normal kan basıncının sağlanması, kanın pıhtılaşması, enzimlerin aktivasyonu, hücrelerin birarada tutulması	Lahana, tere, maydanoz, zeytin, kereviz, süt, peynir, yumurta, deniz ürünleri, kuru baklagiller, yağlı tohumlar	Raşitizm ( kemik eğriliği) Osteomalazi (kemik erimesi), Osteoporoz(kemiklerin zayıflaması)	Yetişkin bireyler=1000mg, Çocuklar= 800mg, Adölesan(ergenlik) dönemindekiler=1300 mg, Gebe ve emzikiler=1300 mg
Fe	Alyuvarların (hemoglobin) yapısı, bazı enzimlerin aktivasyonu, kas proteini(miyoglobin)	Baklagiller, pekmez, yeşil sebzeler, kuru meyveler, balık, kırmızı et, beyaz et, yumurta	Anemi (kansızlık)	Yetişkin erkekler=10 mg, Kadınlar=15-18 mg, Gebeler= 27-30 mg
Mg	Kemiklerin yapısı, sinir ve kasların çalışması, enerji üretimi, klorofilin yapısı, kan basıncının düzenlenmesi	Yeşil yapraklı sebzeler, tahıllar, baklagiller, soğan, ceviz, süt, yumurta, balık, kırmızı et, yağlı tohumlar	-	Yetişkin erkek ve kadın=320-400 mg, 1-3 yaş=80 mg, 4-6 yaş= 120 mg, 7-10 yaş=170 mg
Na	Hücrelerin su alış veriş (osmatik denge) sinir ve kasların çalışması	Ekmek, zeytin, ıspanak, yemek tuzu, süt, peynir, yumurta, kırmızı ve beyaz et	Fazla alındığında yüksek tansiyon(hipertansiyon), böbrek hastalıkları	Yetişkinler=2-3 g, Günlük toplam miktar≤6 g olmalıdır.

**Sodyum;** vücutta özellikle ekstrasellüler (hücre dışı) sıvıda temel katyon olarak bulunur; hücre içinde az miktardadır. Sodyum, organizmada en çok kıkırdak, deri ve akciğerlerde bulunur. Vücut sıvılarının osmotik basıncını, plazma hacmini ve asit-baz dengesini düzenlemektedir. Hücre geçirgenliği, sinir aktivitesi, kas fonksiyonları, monosakkaritlerin, amino asitlerin, pirimidin ve sofra tuzlarının soğurma süreçleri, sinir impulslarının iletimi ve osmotik basınç değişiklikleri ve suyun dağılması sodyum konsantrasyonuna büyük oranda bağımlıdır. Sodyum, kolayca sodyum iyonu olarak emilir ve vücutta dolaşır. Sodyum klorürün (NaCl) aşırı alımı sodyum iyonu birikmesinden dolayı tuz toksitesine neden olabilmektedir (Soetan *et al.* 2010). Üç vücut dokusunun elemental kompozisyonunun yüzde kütle bileşimi Çizelge 2.4’de verilmiştir (Hendee and Ritenour 2002).

**Çizelge 2.4.** Üç vücut dokusunun elemental kompozisyonunun yüzde kütle bileşimi

<b>Kompozisyon (%)</b>	<b>Yağ Dokusu</b>	<b>Çizgili Kas</b>	<b>Uyluk kemiği</b>
Na	-	0,08	-
Mg	-	0,02	7
Ca	-	0,007	14,7

**Magnezyum;** enerji transferi, depolanımı ve kullanımı ile ilgili enzimatik reaksiyonların katalizinden sorumludur. Bu bağlamda magnezyum, hücre içinde ATP ve pirofosfataza bağlı bütün reaksiyonlarda; enolaz, fosforilaz, fosfoglukomutaz enzimlerinin aktivasyonunda; DNA, RNA ve protein sentezinde rol alır. Ayrıca temel intrasellüler (hücre içi) katyonlardandır. Magnezyum; yağ, protein, nükleik asit ve koenzimlerin sentezlenmesi, kas kontraksiyonu, glukozun sentezi ve kullanılması, sülfat, asetat ve formatın aktivasyonu, transmetilasyon ve oksidatif fosforilasyonda önemlidir. Thymine pyrophosphate‘ın kofaktör olduğu birkaç enzim sisteminin aktif bir bileşenidir. Creatine kinase, diphophopyridinenucleotide kinase ve fosfat transfer enzimleri için başlıca aktivatördür. Mg enzim kofaktörleri (kinases vb.) dış ve kemiklerin yapıtaşdır. Magnezyum bağırsaklarda emilerek hücre ve dokulara kan yoluyla taşınmaktadır. Magnezyum, sinir impulslarının iletilmesinde gerekli olan asetil kolinin sentezinde ve yıkılmasında da rol oynar. Canlılar da enerji kaynağı olarak kullanılan ATP sentezinde kullanılan yollardan biri olan oksidatif fosforilasyon olayı magnezyum eksikliğinde azalmaktadır.

**Alüminyum;** makro moleküler biyolojik yapılarda oksijen donörleri için çekici bir özelliğe sahiptir. Alüminyumun bağlandığı en önemli moleküller; fosfat, karboksilat, aminler, tiolatlar, aminoasitler, nükleik asitler ve nükleoditlerdir. Özellikle AMP, ADP, ATP, 2,3-difosfogliserat, inozitol fosfat, glukoz 6-fosfat gibi metabolizmada önemli yeri olan fosfat bağlı biyomolekülleri etkileyebilmektedir. Birçok biyolojik oluşumda ATP ile  $Mg^{2+}$  olduğundan daha stabil bir kompleks oluşturarak magnezyumun yerini geri dönüşümsüz olarak alabilmektedir. Alüminyum hücrede yüksek konsantrasyon da iken fosforilasyonu baskılayabilmekte, eser elementler olan manganez ve demirin konsantrasyonunu değiştirebilmekte ve orada lipit

peroksidasyonunun oluşmasına neden olabilmektedir. Ayrıca  $Ca^{2+}$  ATPaz'ın aktivitesini doza bağımlı olarak azaltıp, intrasellüler kalsiyum hareketini bozabilmektedir. Aminolevülinikasit-dehidrataz ve izositrat dehidrogenaz enzimlerini inhibe edebilmekte,  $Na^+-K^+$  ATPaz ve  $Mg^{2+}$  aktivitesini azaltabilmektedir. Alüminyum tuzları da DNA ve RNA'ya bağlanarak heksokinaz, asit ve alkale fosfataz, fosfodiesteraz ve fosfooksitaz gibi enzimleri inhibe edebilmektedir. Alüminyumun beyin hücrelerinde birikimi Alzheimer, Parkinson, amiotrofik lateral sklerozis (Lou Gehrig's hastalığı) gibi nöronal hastalıklara; uzun süreli alüminyum içeren antiasit kullanımı ise kemiklerde birikerek kemik yumuşamasına, adinamik kemik hastalığına; hemoglobin sentezini inhibe ederek anemiye neden olmaktadır (Günaydın 2005). Kan veya plazma serumundaki element ölçümleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Kan veya plazma serumundaki element ölçümleri (Gillian *et al.* 1997).

Element	Esansiyel	Konsantrasyon $\mu\text{g/L}$ (nmol/L)
Al	esansiyel olmayan toksik	< 10 (< 370)
Fe	esansiyel	yaşa bağlı

**Kalsiyum;** diş ve kemiklerin yapı taşıdır, ayrıca sinir, kas fonksiyonlarının düzenlenmesi gibi işlevlere de sahiptir. Fosfor, adenozin trifosfat (ATP) ve nükleik asitlerin önemli bir bileşenidir. Kan pıhtılaşmasında, protrombinin trombine dönüşümünü aktive etmektedir. Hormonal etkinliklerin başlatılmasında ikinci haberci olarak rol oynar. Kapiller damarların ve membranların geçirgenliğini azaltır. Sinir impulslarının naklinde etkindir. Kalp ve kas-sinir sisteminin uyarılma yeteneğini azaltır ve dengede tutar; plazma iyonize kalsiyum konsantrasyonu çeşitli nedenlerle azalır tetani oluşur. Ayrıca, lipaz, ATPaz, süksinat dehidrojenaz gibi bazı enzimlerin aktivatörüdür. Kalsiyum, normal kas kasılması için gereklidir. Enzim aktivasyonunda önemli bir yere sahiptir. Kalsiyum eksikliği gelişmekte olan çocuklarda raşitizme neden olmaktadır. Yetişkinlerde ise kemik erimesi ve kemikte demineralizasyona yani mineral madde azalmasına sebep olmaktadır.

**Demir;** özellikle vücutta oksijen taşınmasında önemi büyüktür. Biyolojik olarak önemli olan Fe; hemoglobin, miyoglobin, sitokromlar, katalazlar ve peroksidazların yapısında bulunmaktadır. Demir eksikliğinde anemi olarak bilinen kansızlık ortaya çıkmaktadır. Kan serumundaki demir elementinin yaşa göre değişimi Çizelge 2.6’da verilmiştir.

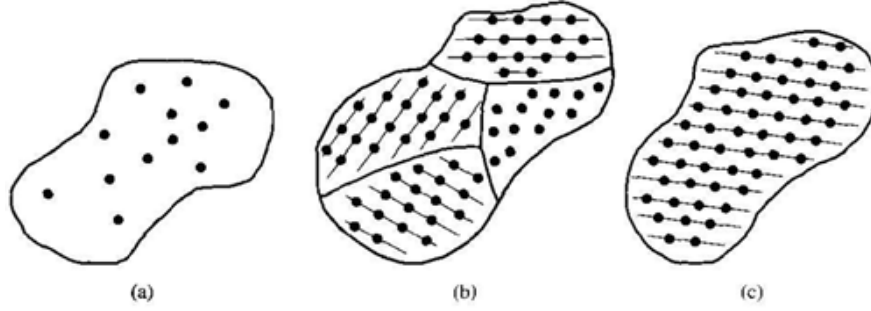
**Çizelge 2.6.** Kan serumundaki demir elementinin yaşa göre değişimi (Versieck 1985; Meites 1989; Gillian *et al.* 1997).

Yaş Grubu	n(kişi sayısı)	µg/L	µmol/L
1-5	44	223-1396	4-25
6-9	50	391-1396	7-25
<b>Erkekler</b>			
10-14	31	279-1340	5-24
14-19	65	335-1620	6-29
<b>Kadınlar</b>			
10-14	40	447-1452	8-26
15-19	110	279-1843	5-33

## 2.5. Katıların Çeşitleri

Katılar en genel olarak, amorf, polikristal ve tek kristal olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Her bir tip malzeme, içerisindeki düzenli bölgelerin boyutlarına göre karakterize edilir. Bir düzenli bölge, atom ve moleküllerin geometrik olarak düzenli dizilmeleri ya da periyodik olarak dizilmeleri ile oluşan uzaysal bir hacimdir. Amorf malzemelerde düzen sadece birkaç atom veya molekül mertebesinde iken, polikristallerde atom ve moleküllerin boyutlarındaki düzenlilik daha yüksek mertebelere sahiptir. Amorf, polikristal ve tek kristal malzemelerin iki boyutlu gösterimleri Şekil 2.4’de görülmektedir.





**Şekil 2.4.** Genel kristal tipleri  
a) amorf, b) polikristal, c) tek kristal

Bu düzenli bölgelerin veya tek kristal bölgelerin yönelimi ve büyüklüğü bir diğerine göre farklıdır. Tek kristal bölgeleri taneler olarak adlandırılır ve biri diğerinden tane sınırları ile ayrılmaktadır. İdeal olarak, tek kristal maddeler, maddenin bütün hacmi boyunca düzenli geometrik periyodikliğe uyan yüksek derecede bir düzene sahiptirler.

## 2.6. Yarıiletken Malzemeler

Yarıiletkenler günümüzün en önemli teknolojik malzemelerinden biridir. Yarıiletkenler doğrusal olmayan optik özellik gösterir. Elektronik ve optoelektronik cihazlar açısından geniş bir uygulama alanına sahiptir. Yarıiletkenler, yüksek hızlı transistörler (MODFET, HBT), fotodetektörler, lazerler, fototransistörler, güneş pilleri gibi uygulama alanlarının yanında gaz analiz sensörleri, ısısal kameralar, gece görüş sistemleri gibi hassas cihazların yapımında da kullanılır. Yarıiletkenler, metaller ve yalıtkanlar arasında elektriksel iletkenliğe sahip olan bir malzeme grubudur. Bu malzemelerin iletkenliği sıcaklığa, optik uyarıya, katkı konsantrasyonuna ve manyetik alana bağlıdır.

Yarıiletkenler, iletkenlikleri metallerle yalıtkanlar arasında olan malzemelerdir. Yarıiletkenler genel olarak iki grupta sınıflandırılabilir; Bunlardan ilki periyodik tablonun IV. grubunda bulunan elementel yarıiletkenlerdir. Diğerleri ise III ve V. grup elementlerinin bileşimi ile oluşan bileşik yarıiletken malzemelerdir. Tek cins atomların

birleşmesiyle oluşan element malzemelere örnek, Si ve Ge'dur. Si entegre devrelerde en çok kullanılan yarıiletken malzemelerden biri olup, gün geçtikçe Si ile ilgili olan çalışmalar artmaktadır. GaAs ve GaP gibi iki element veya ikili (binary) bileşikler, III ve V. grup elementlerinin birleşmesiyle meydana gelirler. GaAs en yaygın olarak bilinen birleşik yarıiletkendir (Neamen 2003).

Yarıiletken bir maddenin sıcaklığındaki değişme serbest elektron sayısını önemli oranda değiştirebilir. Sıcaklık mutlak sıfırdan başlayarak arttırılırsa valans elektronları kovalent bağları kırmak için gerekli enerjiyi alır ve dolayısıyla serbest elektron sayısı artar. Artan taşıyıcı sayısı iletkenliği arttıracak ve daha düşük direnç düzeyine yol açacaktır. İletkenlerin birçoğunda ise durum bunun tam tersidir ve direnç sıcaklıkla birlikte artar. Bunun nedeni iletkendeki taşıyıcı sayısının artan sıcaklıkla önemli ölçüde artmaması buna karşın atomların titreşim genliklerinin sıcaklıkla artarak elektronların geçişlerini giderek zorlaştırmasıdır. Yarıiletken kristallerde yük taşıyıcılarının hem hareketlilikleri hem de sayıları sıcaklığa ve kristal yapıda yer alan kristal yapı bozukluklarına bağlıdır (Durlu 1992).

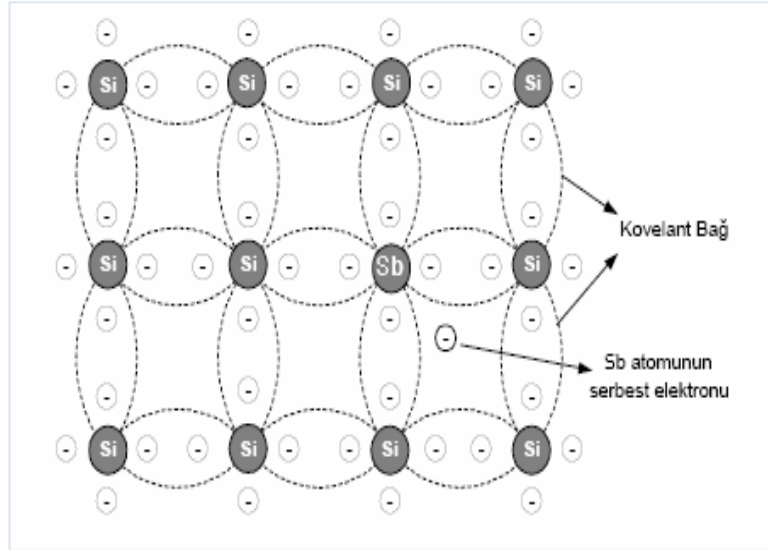
### **2.6.1. Katkılı yarıiletkenler**

Asal yarıiletken, kristal içinde kirlilik atomlarının mevcut olmadığı bir yarıiletken olarak bilinmektedir. Katkılı yarıiletken, özel katkı veya kirlilik atomlarının kontrollü bir miktarının ilave edilmiş olduğu bir yarıiletken olarak tanımlanır ve bu yüzden termal-denge elektron ve boşluk konsantrasyonları asal taşıyıcı konsantrasyonlarından farklıdır. Katkılı yarıiletkende taşıyıcının bir tipi (n veya p-tipi) baskın olacaktır.

Yarıiletken malzemeler akımı iyi iletmezler. Aslında ne iyi bir iletken, ne de iyi bir yalıtıcıdır. Çünkü valans bandındaki boşlukların ve iletim bandındaki serbest elektronların sayısı sınırlıdır. Yarıiletken malzemelerin karakteristikleri, nispeten saf yarıiletken malzemeye bazı katkı atomları eklenerek önemli ölçüde değiştirilebilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarıiletken malzemeye katkı malzeme adı verilir.

Yarıiletken eleman üretiminde büyük öneme sahip iki katkılı malzeme vardır: n-tipi ve p-tipi.

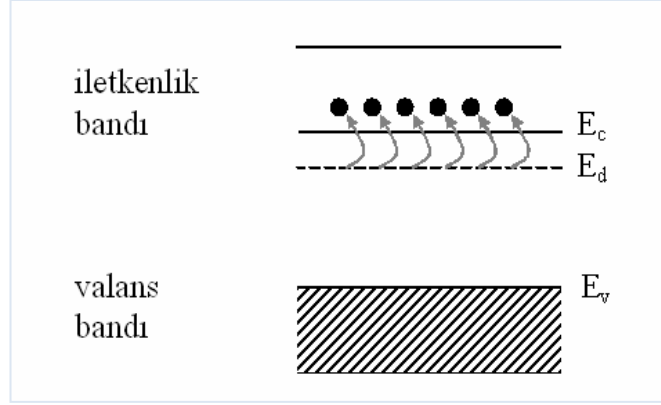
Hem n-tipi hem de p-tipi malzeme silisyum veya germanyum tabana önceden belirlenen katkı atomlarının eklenmesiyle oluşturulur. n-tipi malzeme silisyum veya germanyum malzeme içerisine Sb, As ve P gibi beş valans elektronuna sahip (pentavalans) katkı maddeleri eklenmek suretiyle oluşturulur. Bu katkı maddelerinin etkileri Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Burada silisyum taban üzerine katkı maddesi olarak antimon kullanılmıştır.



**Şekil 2.5.** n-tipi yarıiletken malzemenin oluşturulması

Ancak katkı atomunun beş valans elektronuna sahip olmasından dolayı fazladan bir elektron vardır ve bu elektronun herhangi bir kovalent bağla ilişkisi yoktur. Geriye kalan ve katkı atomuna gevşek bir şekilde bağlı olan bu elektron yeni oluşturulan n-tipi malzeme içerisinde nispeten hareket serbestliğine sahiptir. Eklene katkı atomu nispeten serbest bir elektron katkısında bulunduğu için beş valans elektronuna sahip katkı atomlarına donör atomları denir. n-tipi malzemede çok sayıda serbest taşıyıcı olmasına rağmen, malzemenin atom çekirdeğindeki pozitif yüklü protonların sayısı negatif yüklü elektronların sayısına eşit olduğundan, malzeme elektriksel olarak nötr durumdadır. Bu

katkılama işleminin iletkenlik üzerindeki etkisi Şekil 2.6'daki enerji band diyagramı ile açıklanabilir.



**Şekil 2.6.** Enerji bandı yapısı üzerine verici katkının etkisi

Katkılama işlemi neticesinde, yasak enerji aralığında ( $E_g$ ) değeri öz malzemenin önemli ölçüde düşük olan ayırık bir enerji düzeyi ortaya çıkar. Buna donör düzeyi adı verilir ve  $E_d$  ile gösterilir. Eklenen katkı atomlarından gelen serbest elektronlar, bu enerji düzeyinde kalır ve dış ortamdan, oda sıcaklığında yeterli ısısal enerjiyi alarak iletkenlik bandına geçerler. Bunun sonucunda oda sıcaklığında iletkenlik bandında çok sayıda elektron oluşur ve malzemenin elektriksel iletkenliği önemli ölçüde artar. n ve p-tipi elektriksel iletkenliğe sahip malzemeler yarıiletken elemanların temel yapı taşlarını oluştururlar. p-tipi malzeme ise, saf germanyum veya silisyum kristaline üç valans elektronuna sahip katkı atomları eklenerek oluşturulur. Bu amaç doğrultusunda en çok kullanılan elementler B, Ga ve In dur.

## 2.7. Yarıiletkenlerde Soğurma Olayları

Genel olarak soğurma, bir malzemenin içerisinde elektriksel yüklerin üzerine gelen elektromanyetik dalgalarla etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybı olarak tanımlanmaktadır. Yarıiletken malzemelerde fotonların soğurulması temel soğurma, serbest yük taşıyıcılarının soğurması ve katkı atomlarının soğurması şeklinde

sıralanabilir. Temel soğurma olayında, yarıiletken malzeme üzerine gelen bir fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan büyük olduğunda, bu foton yarıiletkenin değerlik bandındaki bir elektron tarafından soğurularak bir elektron boşluk çifti oluşturulur. Böylece değerlik bandındaki bir elektron iletkenlik bandına geçer. Yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcıları olan elektronlar ve boşluklar bir banttı diğer banda uyarılmadan da fotonu soğurabilirler. Bu durum, gelen foton enerjisi  $h\nu \leq E_g$  olduğunda görülür ve bu enerji iletim bandındaki elektronun veya valans bandındaki boşluğun aynı band içerisinde bulunan daha yüksek enerji düzeylerine uyarılmasını sağlar. Serbest yük taşıyıcı soğurmasında bir fotonun enerjisi yasak enerji aralığı değerinden büyük olduğunda, aynı anda hem temel soğurma, hem de serbest yük taşıyıcı soğurması olayı meydana gelebilir (Seeger 1982). Katkı atomlarının soğurması, katkılama türüne ve katkı konsantrasyonuna bağlıdır. Katkılı yarıiletkenlere gelen foton enerjisi, yasak enerji aralığı'ndan küçük ise valans bandındaki bir elektron iletkenlik bandına uyarılamayacak ve bu fotonun alıcı ve verici atomlar tarafından soğurulması ihtimali artacaktır. Böylece katkı atomlarının iyonlaşması, soğurma tayflarında keskin pikler şeklinde görülecektir.

Soğurma çalışmaları, katkı ve kusurların titreşim özellikleri, katının elementer uyarılmalarının tabiatı ve bunlar arasındaki etkileşimler hakkında sağlıklı bir bilgi vermektedir. Yarıiletkenin direkt ve indirekt yasak enerji aralığının belirlenmesi, fonon enerjilerinin hesaplanması, kusur seviyelerinin belirlenmesi, eksitonun olup olmadığının yanı sıra eksiton enerjileri, bağlanma enerjileri ve enerji seviyeleri birkaç teknik dışında (fotoluminesans, fotoiletkenlik, transmission, elektriksel ve elektromanyetik deneyleri) genelde soğurma deneyleri ile tayin edilir (Gürbulak 1997). Soğurma deneylerinde kullanılan numunelerin başka deneylerde de kullanılmasından dolayı soğurma deneyleri bir avantaja sahiptir. Bir yarıiletken bir ışık vasıtasıyla aydınlatıldığı zaman bu fotonlar ya yarıiletken tarafından soğurulur ya da fotonun enerjisine ve yarıiletkenin yasak enerji aralığına bağlı olarak yarıiletkenden geçer. Metal olmayan malzemelerde kusurlar ve safsızlıklar, yasak enerji aralığında elektronik seviyelere sahip olan lokalize olmuş elektron ya da boşluk merkezleri olarak düşünülebilir. Eğer fotonun enerjisi yasak enerji aralığından daha küçük  $E_f < E_g$  ise fotonlar kolayca soğurulmazlar. Bu durumda ışık

malzeme boyunca geçirilir ve yarıiletken bu fotonlar için şeffaf (transparan) diye adlandırılır. Eğer yarıiletkenin yasak enerji aralığında kusurlardan dolayı enerji seviyeleri varsa, bu seviyeler arasındaki geçişler ana malzemenin şeffaf olduğu spektral bölgede soğurma ve lüminesans spektrumu verirler. Bunun sonucunda da, her bir kirlilik ya da kusur merkezi bir veya daha fazla bant içeren kendi soğurma ve lüminesans spektrumu tarafından karakterize edilir. Fotonun enerjisi  $E_f > E_g$  olduğu zaman foton valans elektronları ile etkileşir ve elektronları iletkenlik bandına uyarabilir. Valans bandı birçok elektron ve iletkenlik bandı da birçok boş seviye içerdiğinden dolayı etkileşme ihtimali  $E_f > E_g$  olduğu zaman daha yüksektir. Bu etkileşme sonucu iletkenlik bandında bir elektron ve valans bandında bir boşluk oluşturulur.

## 2.8. InSe Bileşiğinin Özellikleri

İndiyum selen (InSe), direk optik bant aralığı yaklaşık 1,24-1,29 eV aralığında olan katmanlı bir yarıiletkendir. Büyütme esnasındaki şartlara ve katkılamaya bağlı olarak bu malzeme n-tipi veya p-tipi davranış sergileyebilir. InSe farklı fiziksel özellikler gösteren iki kristal yüzeyine sahiptir: birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmış selenyum atomlarından oluşan yüzey, diğeri ise Van der Waals kuvvetleriyle bağlı selenyum atomlarının komşu tabakalarından meydana gelen yüzeydir.  $\text{In}_2\text{Se}_3$ , CdS/  $\text{In}_2\text{Se}_3$  veya  $\text{In}_2\text{S}_3$ /  $\text{In}_2\text{Se}_3$  fotoseller için uygun bir soğurucudur ve fotovoltaik ve fotokimyasal uygulamalar için çok önemli özellikler gösterir. Bu durum  $\text{In}_2\text{Se}_3$ 'ün band aralığının güneş enerji dönüşümleri için uygun bir aralıkta olması ve buna bağlı olarak sahip olduğu yüksek soğurma katsayısından kaynaklanır (Bouzouita *et al.* 2002).

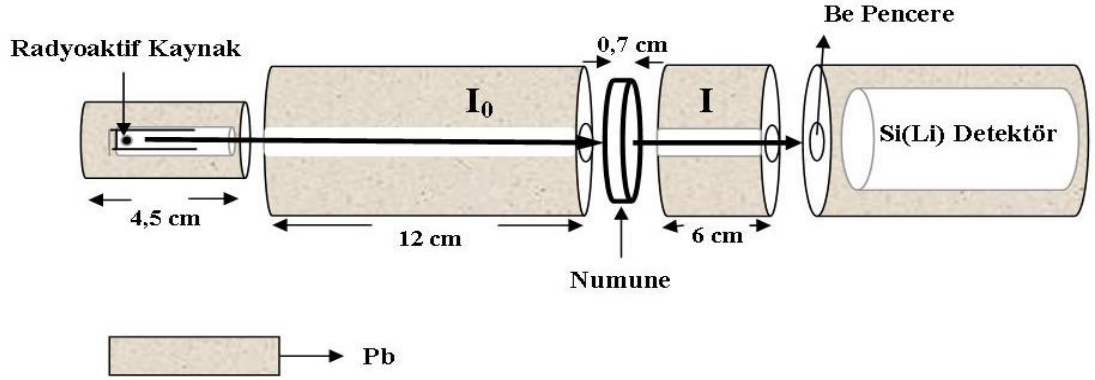
Güneş hücrelerinin maliyetini azaltmak için birçok araştırmacı InSe'den yola çıkarak ince film üretimi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Son yıllarda polikristal indiyum selenin potansiyel uygulamaları üzerine hatırı sayılır bir ilgi oluşmuştur. Polikristal indiyum selen fotoiletken olmasının yanında bileşiklerin katı hal iyonik iletken olarak kullanıldığı mikro bataryalar ve kapasitörler gibi mikro devre uygulamalarında ticari ve endüstriyel olarak yer almaktadır. İndiyum selen metal iyonlarına nazaran sahip olduğu

kusurlu yapısından dolayı küçük parçacıklar ve iyonlaştırıcı radyasyon için sensor olarak kullanıma uygundur (Sen *et al.* 2000). Tabakalı bir yapıda kristalleşen III-VI yarıiletken bileşikler iki boyutlu sistem örnekleri olarak geniş bir şekilde çalışılmaktadır. Şu an silisyum tek kristaline dayandırılan güneş hücreleri piyasada egemen olmasına rağmen, bileşik yarıiletkenlere dayandırılan güneş hücreleri cazip hale gelmeye başlamıştır. InSe, özellikle yüzeyinde sahip olduğu düşük eşlenmemiş bağ yoğunluğu nedeniyle güneş hücrelerinin üretimi için ilgi çeken bir aday malzeme olmuştur. Ne yazık ki üretilen InSe güneş hücrelerinin verimi çok düşüktür. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu verimin yükseltilmesi amaçlanır. InSe'in diğer uygulamaları, lineer olmayan frekans karıştırıcı devreleri ve Li mikro bataryalar için elektrotları içine alır (Chio *et al.* 2002). Özellikle yüzey tabakalarında eşlenmemiş bağ yoğunluğunun düşük olması ve dolayısıyla sahip olduğu düşük ara yüzey hal yoğunluğu nedeniyle InSe heteroeklem devreler için aday bir malzemedir. InSe'nin sahip olduğu yarıklı yüzey, p-n eklemi oluşturmada ilave bir işlem gerektirmez ve çevre koşullarından kimyasal olarak inörttür. Bu durum InSe taban malzemeler üzerine potansiyel bariyer oluşturmak için aktif element seçiminde birçok şans verir ve bunun hazırlamasındaki teknolojinin basitleştirilmesine olanak sağlar. InSe kristalinin en önemli dezavantajı fotovoltaiik devrelerde önemli seri dirence neden olan yüksek öz direncidir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deney Geometrisi

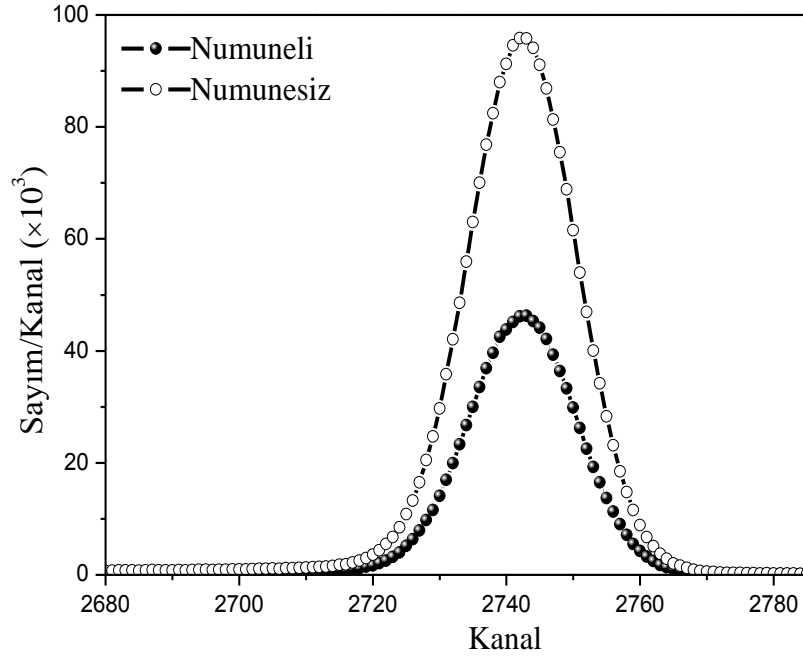
Çalışmada öncelikle kaynak-numune-detektör sistemi oluşturulmuştur. Sistemde dar şua geometrisi oluşturmak için yeterli foton akısını elde edebilecek şekilde farklı delik çaplarına sahip silindirik kolimatörler kullanılmıştır. Havadan saçılma etkilerinin ortadan kaldırılması için, aynı deneysel şartlar altında numunesiz ölçümler alınmıştır ve bu sayımlar numuneli ölçümlerden çıkarılmıştır. Çalışmamız için hazırlanan dar şua geometrisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



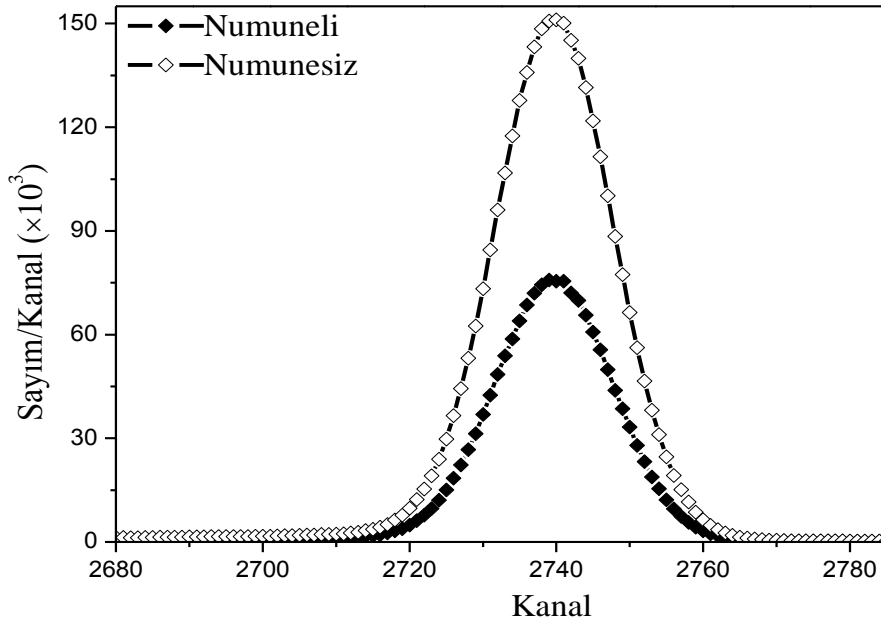
Şekil 3.1. Deney için hazırlanan dar şua geometrisi

MgO ve InSe: Cd için hazırlanan örnek bir spektrum Şekil 3.2 ve 3.3’de verilmiştir.





Şekil 3.2. MgO için örnek bir spektrum

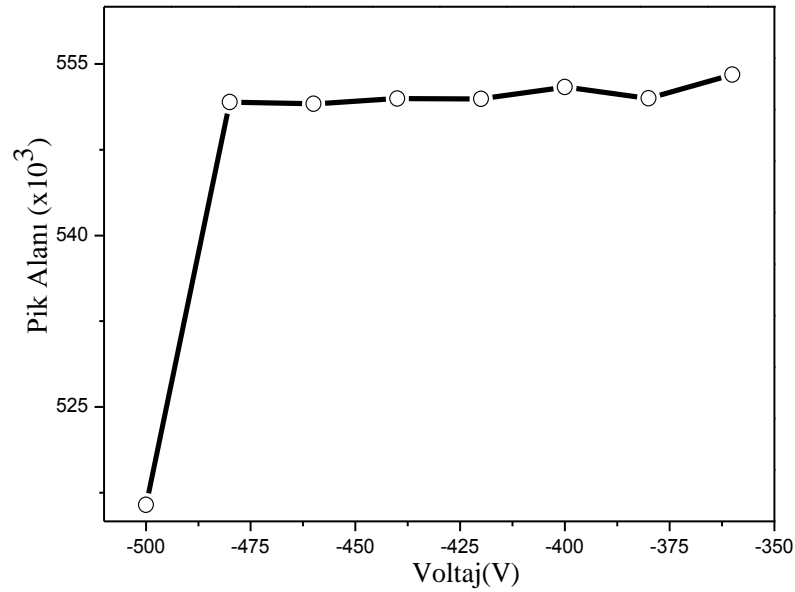


Şekil 3.3. InSe: Cd için örnek bir spektrum

Çalışmamız da aktif çapı 3,91 mm, aktif alanı 12 mm<sup>2</sup> ve 5,9 keV’de FWHM’u 160 eV olan bir Si(Li) detektör kullanılmıştır. Deney süresince sayaç kristali ve FET 30 litrelik

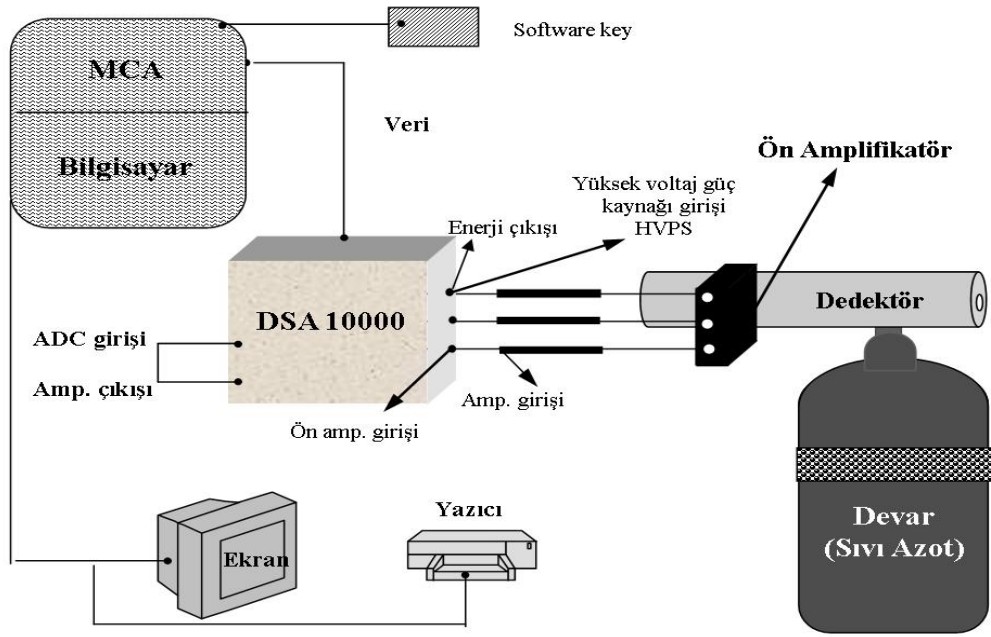
bir sıvı azot kabına bağlı, sıvı azot sıcaklığında tutulmuştur. Detektör dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmelerini önlemek için 0,025 mm kalınlığında bir berilyum pencereye sahiptir. Ölçü alma süresince çevresel koşulların olabildiğince değiştirilmemesine dikkat edilmiştir. Deneyde, şiddeti 100 mCi olan Am-241 radyoaktif kaynağının 59,5 keV enerjili fotonları ve sayma sistemi olarakda EDXRF spektrometresi kullanılmıştır. Analizör 4096 kanalda olacak şekilde, 600-1800 s sayma sürelerinde ölçüler en az üç kez tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır.

Çalışmaya başlamadan önce, en iyi verimin elde edileceği voltaj değerini belirlemek için detektöre uygulanan voltaja karşı sayım ölçüleri alınmıştır. Kullanılan Si(Li) detektör için üretici firma tarafından verilen maksimum voltaj -500 V'tur. Fakat çalışmanın daha az zamanda gerçekleştirilmesi, detektörün daha verimli çalışması ve daha az yıpranması açısından uygun çalışma voltajının deneysel olarak bulunması önemlidir. Bunun için farklı voltaj değerlerinde deneme ölçüsü alınarak bu voltaj değerlerindeki sayımlara bakılmıştır. Yaptığımız çalışma için pik alanı ve voltaj grafiğini değerlendirerek, detektörümüze yaklaşık -430 V voltaj uyguladık. Detektöre uygulanan voltajın belirlenmesi için kullanılan grafik Şekil 3.4'de verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Voltaj değerine karşı sayımlardaki değişim

Çalışma da kullandığımız sayma sistemi Şekil 3.5’de verilmiştir. Sistem; Si(Li) katıhal sayacı, ön yükseltici (preamplifier), yükseltici (amplifier) analog sayısal dönüştürücü (ADC), çok kanallı puls yükseklik analizörü (MCPHA), sistemin tüm birimlerinin yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan “Genie 2000” programının yüklü olduğu bir bilgisayar ve bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında interface görevi yapan bir dandandan (software key) oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Sayma sistemi

### 3.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmanın birinci kısmında kullanılan yüksek saflıktaki element ve bileşikler, deney düzeneğine uygun olarak tablet şeklinde hazırlanmışlardır. Büyük parçacıklı numuneler akik havanında dövülmüştür. Numunelerin kütleleri onbinde bir hassasiyetli (Gec AVERY) terazisi ile ölçülmüştür. Tablet yapımı zor olan numunelere bir miktar selüloz ilave edilmiştir ve deney sonuçlarında bu etki dikkate alınmıştır. Daha sonra selüloz ilaveli numuneler tüplere doldurularak spex marka karıştırıcıda homojenlik sağlanıncaya kadar (10 dak) karıştırılmıştır. Homojen karışımda yeterli miktar alınarak

13 mm çaplı tabletler elde etmek için Beckman marka pres kullanılarak 10 ton sabit basınç altında preslenmiştir. Deneyde kullanılan tabletler en iyi kütle soğurma katsayısını elde etmek amacıyla 4 farklı kütle değerinde ( 0,500; 0,600; 0,700 ve 0,800 g) hazırlanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise; lam (cam) üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili kristalleri ile lam üzerine buharlaştırılmamış (direk büyütüldüğü gibi kullanılmış) katkısız InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristalleri kullanılmıştır.

$A^{III}B^{VI}$  polikristalinin bileşenleri için ilk önemli adım, yapıya dâhil olan yüksek saflıktaki temel elementler kullanılarak yüksek saflıkta kristaller elde edilmesidir. Bu elementlerin stokiometrik oranları 0,1 mg hassaslığında tartılmıştır. Elementlerin toplam kütlesi yaklaşık 40 g'dır. Bu seçim için temel kriterler; birinci olarak çalışmanın değerini ispat edecek kadar yeterliliğe ihtiyaç duyulmasıdır, ikincisi ise malzemenin kırılması halinde minimum kayıp verilmesidir.

InSe yarıiletkenleri (yüzde 0,01 ağırlık Mn, Fe, Ag, Cd, Sn and Gd) kristal büyütme araştırma laboratuvarımız da Bridgman/Stockbarger metodu kullanılarak önceden Yrd. Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK tarafından büyütülmüşlerdir.

Stockbarger metoduyla kristal büyütme Bridgman tekniğinin geliştirilmiş şeklidir. Bridgman tekniğinde sabit sıcaklık gradiyentine sahip sabit fırın içinde ampul hareketliken Stockbarger metodunda ampul ve fırın hareketli olmayıp fırın tüpünün sıcaklık gradiyenti belirli adımlarla düşürülür. Birinci durumda büyütülmek istenilen kristal, fırın tüpü boyunca oluşan sıcaklık gradiyenti boyunca yatay veya düşey olarak hareket ettirilebilir. Bu metotlara sırasıyla yatay Bridgman ve düşey Bridgman metotları denilmektedir. Numuneler hazırlanırken külçe yüzeyde herhangi bir çatlak veya boşluk olmamalıdır. Numunelerin doğal aynaya benzer bölünme yüzeyleri üzerinde herhangi bir temizlik ve cilalama işlemi gerçekleştirilmemelidir. Katkısız ve katkılı InSe

kristalleri yaklaşık 10 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda külçe olarak hazırlanmıştır. Tek kristal elde etmek için, kristal büyütme işleminden önce bu kristallere ait faz diyagramlarının bilinmesi ve incelenmesi gerekir. Faz diyagramlarının koordinatları; basınç sabit kabul edilerek sıcaklık ve kompozisyon olarak ele alınmaktadır. Yarıiletken bileşiklerden, tek kristal elde edilebilmesi için erime sıcaklığı ve bileşiğin karşılıklı çözünebilirliğinin bilinmesi gerekir. İndiyum Selenyumun erime sıcaklığı,  $660\pm 5^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir.

Bridgman/Stockbarger metoduyla elde edilmiş InSe, InSe: Mn, InSe: Fe, InSe: Ag, InSe: Cd, InSe: Sn ve InSe: Gd numuneleri termal buharlaştırma yöntemiyle ince film kaplama (VAKSİS AR-GE) sistemi kullanılarak 76x26 mm/3x1 inç boyutlu cam lamlar üzerine buharlaştırılmışlardır. Termal buharlaştırma yöntemiyle ince film kaplama sistemi (Kristal Büyütme Araştırma Laboratuvarı) Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Termal buharlaştırma yöntemiyle ince film kaplama sistemi

Cam lamlar üzerine buharlaştırma işlemi vakum altında yapılmıştır ve lamlar kimyasal olarak temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Kimyasal temizleme işlemi; metanol, aseton ve saf su gibi malzemelerle yapılmıştır. Lam üzerine buharlaştırılan numuneler birden fazla elde edilmiş ve gözeneksiz olanlar tercih edilmiştir. Yarıiletken kristallerimizin kalınlığı  $645 \mu\text{m} \geq t \geq 630 \mu\text{m}$  arasındadır. Tavlama için kullanılan fırın  $0-1200^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında çalışmaktadır. Kristalleri tavlama için kullanılan fırın (Kristal Büyütme Araştırma Laboratuvarı) Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

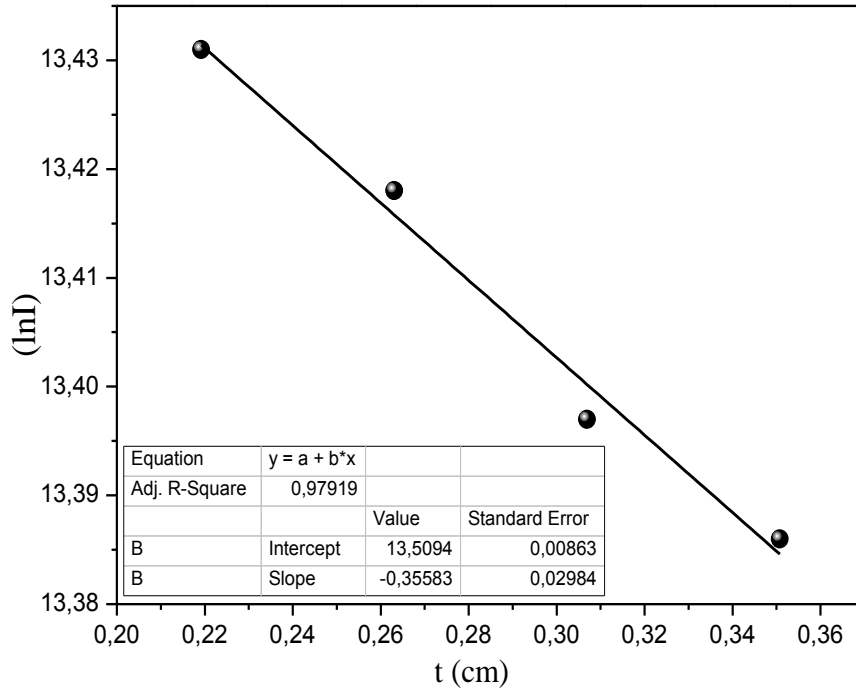


**Şekil 3.7.** Tavlama fırını (kristal büyütme araştırma laboratuvarı)

Lam üzerine buharlaştırılmadan kullanılan InSe ve InSe:Sn 0-60 dak (dakika) zaman aralığının da, 10 dakikalık zaman artışlarıyla  $50^\circ\text{C}$  sıcaklıktan başlanarak  $50^\circ\text{C}$ 'lık sıcaklık artışlarıyla yanma sıcaklığına gelinceye kadar tavllanmışlardır. InSe için yanma sıcaklığı  $300^\circ\text{C}$  iken, InSe:Sn için bu sıcaklık  $350^\circ\text{C}$ 'dir. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd numuneleri ise yine 0-60 dakikalık zaman aralığında, 10 dakikalık zaman artışlarıyla  $60^\circ\text{C}$  sıcaklıktan başlayarak  $60^\circ\text{C}$ 'lık sıcaklık aralıklarıyla camın çatlama sıcaklığına kadar ( $180^\circ\text{C}$ ) tavllanmışlardır. 0 dak; numunenin tavlama süresini belirtmektedir, yani bu süre için numune hiçbir işlem görmemiştir.

### 3.3. Alınan Ölçülerin Değerlendirilmesi ve Hesaplamalar

$\gamma$ -ışınları bir malzemedan geçtiği zaman, ışınların bir kısmı soğurulur. Soğurmanın derecesi farklı soğurma süreçleri ve saçılmaya bağlıdır. Deneysel soğurma katsayıları eşitlik (2.2) kullanılarak hesaplanabilir. Çalışmamızda; Origin Pro8 grafik programı kullanılarak  $\ln I$ - $t$  grafikleri çizilerek, grafiklerin eğiminden lineer soğurma katsayıları elde edilmiştir ve bu değer ilgili element veya bileşiğin yoğunluğuna oranlanarak deneysel kütle soğurma katsayısı tespit edilmiştir.  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  bileşiği için örnek bir grafik Şekil 3.8’de verilmiştir.



**Şekil 3.8.**  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  bileşiği için örnek bir grafik

Teorik kütle soğurma katsayılarını hesaplamak için elementler ve kimyasal bileşikler için karışım kuralını temel alan WinXCom programı kullanılmıştır (Jackson and Hawkes 1981). Karışım kuralına göre,

$$(\mu/\rho) = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \quad (3.1)$$

olmaktadır ve buradaki  $w_i$ ,  $(\mu/\rho)_i$  sırasıyla  $i$ . elementin ağırlık kesri ve kütle soğurma katsayısıdır. Bir kimyasal bileşiğin ağırlık kesri;

$$w_i = \frac{n_i A_i}{\sum_i n_i A_i} \quad (3.2)$$

olarak yazılabilir. Buradaki  $n_i$  ve  $A_i$  sırasıyla  $i$ . elementin atom sayısı ve atom ağırlığıdır. Teorik ve deneysel kütle soğurma katsayılarının değerleri;

$$\sigma_{t,m} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \frac{M}{N_A} \quad (3.3)$$

eşitliğinde kullanılarak toplam moleküler tesir kesiti (barn/molekül) teorik ve deneysel olarak elde edilmektedir. Eşitlikteki  $M$  moleküler ağırlık,  $N_A$  ise Avogadro sayısıdır. Teorik ve deneysel toplam atomik tesir kesiti;

$$\sigma_{t,a} = \frac{1}{N_A} \sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i = \frac{\sigma_{t,m}}{\sum_i n_i} \quad (3.4)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Eşitlikteki  $f_i$   $i$ . elementin bolluk kesri ya da bir elementin atom sayısının bileşikteki toplam atom sayısına oranıdır. Teorik toplam elektronik tesir kesiti (barn/molekül);

$$\sigma_{t,e} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i = \frac{\sigma_{t,a}}{Z_{et}} \quad (3.5)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Teorik ve deneysel toplam atomik, toplam moleküler tesir kesitleri oranlanarak etkin atom numarası elde edilir;

$$Z_{et} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (3.6)$$



Teorik ve deneysel etkin elektron sayısı ya da elektron yoğunluğu (electron/g) (Gowda *et al.* 2005 );

$$N_e = \frac{(\mu/\rho)}{\sigma_{t,el}} = \frac{N_A}{M} Z_{et} \sum_i n_i = N_A Z_{et} / A_{et} \quad (3.7)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Teorik etkin atom ağırlığı, numunenin moleküler ağırlığının, numunedeki toplam atom sayısına oranıdır ve

$$A_{et} = \frac{M}{\sum_i n_i} \quad (3.8)$$

denklemleri ifade edilir (Pravina and Govind 2011).

### 3.4. WinXCom ve FFAST Programları

Element, bileşik veya karışım için teorik toplam kütle soğurma katsayıları WinXCom ve FFAST programları veya veritabanları yardımıyla hesaplanabilmektedir. WinXCom karışım kuralına dayalı bir programdır. Karışım kuralı; herhangi bir bileşik, karışım ya da elemental kesri bilinen materyallere ait toplam kütle soğurma katsayılarını hesaplar, materyal içinde ağırlık kesri bilinen elementlerin kütle soğurma katsayılarını dikkate alarak hesaplama yapmaktadır. Bu hesaplamada her bir elementin kütle soğurma katsayısı bileşik içerisindeki ağırlık kesrine toplama eklenmektedir. Bu kuralda materyal içindeki elementler tek tek ele alınmaktadır ve birbirinden bağımsız kabul edilmektedir. Yani karışım kuralı, atomun moleküler, kimyasal ya da kristal çevresindeki değişimlerden ortaya çıkan atomik dalga fonksiyonundaki değişimleri ihmal eder (Kerur *et al.* 1994a). Bu durum da kütle soğurma katsayısı denklem (3.1)'de verilmiştir. Berger and Hubbell (1987/1999) toplam kütle soğurma katsayıları ya da her element için foton etkileşimli tesir kesitlerini hesaplamak için XCom programını geliştirdiler. Bu programda 1 keV'den 100 GeV'e kadar geniş foton enerji aralığında elementler, bileşikler ya da karışımlar için hesaplamalar yapılabilmektedir. Daha

sonraları XCom Windows'a transfer edilmiş ve Gerward *et al.* (2001) tarafından WinXCom olarak adlandırılmıştır. WinXCom programı, oldukça kullanışlı bir programdır (El-Sersy *et al.* 2011). WinXCom programı radyolojik fizik ve dozimetri için geliştirilmiştir. FFAST (Chantler *et al.* 2005), veri setindeki değerleri WinXCom'dan farklı metotlarla hesaplar ve farklı sonuçlar üretebilir. X-ışını kırınımı, interferometri, kristalografi ile ilgili alanlar için üretilmiştir ve 433 keV eşik enerjileri kapsamaktadır. Toplam soğurma tesir kesitlerindeki belirsizlik çoğunlukla yüzde 5'den azdır, fakat bu belirsizlik özellikle soğurma kıyılarına yakın kısımlarda daha büyük olabilir. Programlarda, farklı deneysel veri setlerinin dağılmasından dolayı teorik metotlar arasında seçim yapılmasına izin verilmemektedir. İki veri setinin içerdiği verinin yorumlanması için bazı genel kılavuzlar verilebilir. İkisi de teorik hesaplamalar için bazı yaklaşımlar kullanırlar fakat bu yaklaşımlardan kesin sonuçlar elde edilemeyebilir. 200-500 eV enerji aşağısı için, her ikisi de hesaplama yapar ve büyük belirsizlik içeren sonuçlar verir (yüksek atom numarası için yüksek değer). Aslında XCom veya WinXCom veri seti sadece 1 keV üzerindeki enerjiler için sonuçlar sunar. FFAST veri seti, 1 keV ve 3 keV arasındaki enerjilerde, 30'dan büyük atom numaralı ( $Z > 30$ ) bazı elementler için soğurma kıyısı yakınındaki önceki sıkıntıları çözmüştür. FFAST ve WinXCom veri setinde 300 keV enerji yukarısındaki ( $> 300$  keV) foton soğurma bileşenlerinin arasında küçük bir belirsizlik vardır. Çünkü bu enerjiler de saçılma baskındır ve toplam soğurma katsayısı daha az etkilenmiş olma eğilimindedir. Her iki veri seti için de foton soğurma değerleri üreten tek elektron modelleri kullanılmaktadır ve yüksek korelasyonlu atomik sistemler için güvenilirmez olabilirler (düşük atom numaralı, çok elektronlu atomlar gibi) (Patrick *et al.* 1901).

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır ki birinci kısımda; biyomedikal öneme sahip olan Na, Mg, Al, Ca ve Fe elementlerinin oluşturduğu;  $\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaF,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , MgO,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  ve  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ölçülerek; elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan element ve bileşikler için moleküler kütle, etkin atom ağırlığı ve yoğunluk değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin moleküler kütle, etkin atom ağırlığı ve yoğunluk değerleri

Kimyasal Formül	M (g/mol)	$A_{\text{et}}$ (g/mol)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Al	26,98	26,98	2,70
$\text{AlCl}_3$	133,34	33,34	2,44
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	375,13	16,38	1,72
Ca	40,08	40,08	1,55
$\text{CaF}_2$	78,08	26,03	3,18
$\text{CaHPO}_4$	136,06	19,44	2,93
$\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$	218,22	9,49	1,49
$\text{CaSO}_4$	136,14	22,69	2,96
Fe	55,85	55,85	7,86
$\text{FeCl}_2$	126,75	42,25	3,16
$\text{FeCl}_3$	162,21	40,55	2,90
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	399,87	23,52	3,09
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	148,30	16,48	1,46
MgO	40,30	20,15	3,58
$\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$	82,03	10,25	1,53
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	105,99	17,67	2,53
NaF	41,99	21,00	2,78
$\text{NaNO}_3$	84,99	17,00	2,26
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	126,04	21,01	2,63
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	142,04	20,29	2,68
NaCl	58,44	29,22	2,17

Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşikleri için kütle soğurma katsayıları, elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının deneysel değerleri Çizelge 4.2’de, WinXCom ile hesaplanan teorik değerleri Çizelge 4.3’de ve FFAST ile hesaplanan teorik değerleri de Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), atomik (barn/atom) ve moleküler (barn/atom) tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının (elektron/g) deneysel değerleri

Numuneler	$\mu/\rho$	$\sigma_{t,a}$	$\sigma_{t,m}$	$Z_{et}$	$N_e \times 10^{23}$
Al	$0,282 \pm 0,026$	$12,638 \pm 1,165$	$12,638 \pm 1,165$	$13,029 \pm 1,201$	$2,907 \pm 0,268$
$\text{AlCl}_3$	$0,375 \pm 0,010$	$20,765 \pm 0,554$	$83,061 \pm 2,215$	$14,832 \pm 0,396$	$2,679 \pm 0,071$
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	$0,207 \pm 0,005$	$5,633 \pm 0,136$	$73,231 \pm 1,769$	$8,535 \pm 0,206$	$3,136 \pm 0,076$
Ca	$0,647 \pm 0,011$	$43,076 \pm 0,732$	$43,076 \pm 0,732$	$19,317 \pm 0,328$	$2,901 \pm 0,049$
$\text{CaF}_2$	$0,401 \pm 0,051$	$17,337 \pm 2,205$	$52,010 \pm 6,615$	$14,569 \pm 1,853$	$3,370 \pm 0,429$
$\text{CaHPO}_4$	$0,354 \pm 0,033$	$11,430 \pm 1,066$	$80,009 \pm 7,458$	$12,290 \pm 1,146$	$3,806 \pm 0,355$
$\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$	$0,267 \pm 0,007$	$4,208 \pm 0,110$	$96,785 \pm 2,537$	$6,474 \pm 0,170$	$4,108 \pm 0,108$
$\text{CaSO}_4$	$0,429 \pm 0,035$	$16,169 \pm 1,319$	$97,017 \pm 7,915$	$15,698 \pm 1,281$	$4,165 \pm 0,340$
Fe	$1,270 \pm 0,225$	$117,823 \pm 23,657$	$117,823 \pm 23,657$	$26,839 \pm 5,389$	$2,893 \pm 0,581$
$\text{FeCl}_2$	$0,785 \pm 0,043$	$55,093 \pm 3,018$	$165,280 \pm 9,054$	$22,126 \pm 2,040$	$3,153 \pm 0,291$
$\text{FeCl}_3$	$0,689 \pm 0,024$	$46,413 \pm 1,617$	$185,652 \pm 6,467$	$20,537 \pm 0,715$	$3,049 \pm 0,106$
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	$0,485 \pm 0,056$	$18,950 \pm 2,188$	$322,154 \pm 37,197$	$15,661 \pm 1,808$	$4,008 \pm 0,463$
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$0,191 \pm 0,005$	$5,228 \pm 0,137$	$47,052 \pm 1,232$	$7,921 \pm 0,207$	$2,894 \pm 0,076$
MgO	$0,228 \pm 0,031$	$7,632 \pm 1,038$	$15,263 \pm 2,075$	$10,042 \pm 1,365$	$3,000 \pm 0,408$
$\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$	$0,208 \pm 0,005$	$3,543 \pm 0,085$	$28,343 \pm 0,681$	$5,808 \pm 0,140$	$3,410 \pm 0,082$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$0,219 \pm 0,015$	$6,426 \pm 0,440$	$38,558 \pm 2,641$	$9,450 \pm 0,647$	$3,221 \pm 0,221$
NaF	$0,210 \pm 0,040$	$7,324 \pm 1,395$	$14,648 \pm 2,790$	$9,897 \pm 1,885$	$2,838 \pm 0,541$
$\text{NaNO}_3$	$0,189 \pm 0,011$	$5,337 \pm 0,311$	$26,683 \pm 1,553$	$8,086 \pm 0,471$	$2,864 \pm 0,167$
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	$0,287 \pm 0,020$	$10,015 \pm 0,698$	$60,089 \pm 4,187$	$12,364 \pm 0,862$	$3,543 \pm 0,247$
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$0,237 \pm 0,023$	$9,202 \pm 0,775$	$64,413 \pm 5,427$	$11,648 \pm 0,981$	$3,456 \pm 0,291$
NaCl	$0,343 \pm 0,026$	$16,649 \pm 1,262$	$33,297 \pm 2,524$	$14,230 \pm 1,079$	$2,932 \pm 0,222$

**Çizelge 4.3.** Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), elektronik (barn/atom), atomik (barn/atom) ve moleküler (barn/atom) tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının (elektron/g) WinXCom ile hesaplanan teorik değerleri

Numuneler	$\mu/\rho$	$\sigma_{t,e}$	$\sigma_{t,a}$	$\sigma_{t,m}$	$Z_{et}$	$N_e \times 10^{23}$
Al	0,281	0,970	12,597	12,594	12,983	2,897
$\text{AlCl}_3$	0,413	1,400	22,869	91,477	16,335	2,950
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	0,201	0,660	5,470	71,108	8,288	3,046
Ca	0,671	2,230	44,674	44,674	20,033	3,009
$\text{CaF}_2$	0,438	1,190	18,936	56,809	15,913	3,681
$\text{CaHPO}_4$	0,371	0,930	11,979	83,851	12,880	3,989
$\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$	0,281	0,650	4,429	101,860	6,813	4,323
$\text{CaSO}_4$	0,384	1,030	14,473	86,840	14,052	3,728
Fe	1,230	4,390	114,112	114,112	25,994	2,802
$\text{FeCl}_2$	0,792	2,490	55,585	166,754	22,324	3,181
$\text{FeCl}_3$	0,717	2,260	48,299	193,197	21,371	3,173
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	0,535	1,210	20,904	355,366	17,276	4,421
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0,201	0,660	5,502	39,515	8,336	3,045
MgO	0,233	0,760	7,799	15,998	10,143	3,030
$\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$	0,202	0,610	3,441	27,525	5,640	3,311
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,206	0,680	6,045	36,269	8,889	3,029
NaF	0,213	0,740	7,428	14,857	10,038	2,878
$\text{NaNO}_3$	0,200	0,660	5,647	28,236	8,556	3,030
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	0,261	0,810	9,108	54,645	11,244	3,222
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0,253	0,790	8,528	59,695	10,795	3,203
NaCl	0,361	1,170	17,522	35,045	14,976	3,085

**Çizelge 4.4.** Biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), elektronik (barn/atom), atomik (barn/atom) ve moleküler (barn/atom) tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının (elektron/g) FFAST ile hesaplanan teorik değerleri

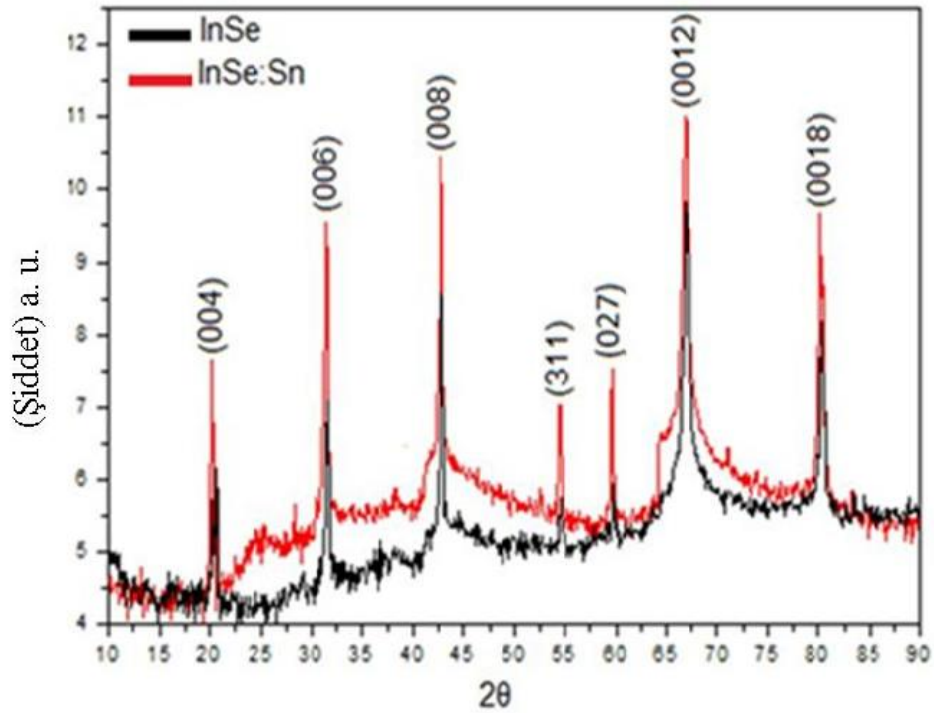
Numuneler	$\mu/\rho$	$\sigma_{t,e}$	$\sigma_{t,a}$	$\sigma_{t,m}$	$Z_{et}$	$N_e \times 10^{23}$
Al	0,289	0,996	12,952	12,952	13,004	2,902
$\text{AlCl}_3$	0,425	1,441	23,534	94,135	16,332	2,949
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	0,208	0,678	5,660	73,584	8,348	3,068
Ca	0,681	2,267	45,340	45,340	20,000	3,004
$\text{CaF}_2$	0,448	1,225	19,369	58,106	15,811	3,657
$\text{CaHPO}_4$	0,379	0,960	12,237	85,659	12,747	3,948
$\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$	0,287	0,672	4,523	104,035	6,731	4,271
$\text{CaSO}_4$	0,393	1,053	14,813	88,875	14,067	3,732
Fe	1,260	4,496	116,895	116,895	26,000	2,802
$\text{FeCl}_2$	0,812	2,559	56,988	170,965	22,270	3,173
$\text{FeCl}_3$	0,735	2,316	49,512	198,047	21,378	3,174
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	0,549	1,243	21,451	364,665	17,257	4,417
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0,206	0,676	5,639	50,747	8,342	3,048
MgO	0,236	0,768	7,899	15,799	10,285	3,073
$\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$	0,208	0,628	3,543	28,343	5,642	3,312
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,212	0,702	6,221	37,325	8,862	3,020
NaF	0,220	0,759	7,673	15,345	10,109	2,899
$\text{NaNO}_3$	-	-	-	-	-	-
$\text{Na}_2\text{SO}_3$	0,269	0,837	9,387	56,320	11,215	3,214
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0,261	0,812	8,797	61,582	10,834	3,214
NaCl	0,371	1,203	18,008	36,015	14,969	3,084

Yapılan literatür araştırmasında Al, Fe, MgO ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  numunelerinin 59,5 keV enerjideki bazı deneysel değerlerine ait sadece birkaç çalışmaya rastlanmıştır ve bunların çalışmamızdaki deneysel değerleriyle karşılaştırılması Çizelge 4.5’de verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** 59,5 keV enerjide, literatürde verilmiş bazı deneysel değerlerle bizim deneysel sonuçlarımızın karşılaştırılması

Numune	Atomik Parametreler	Murty 1965	Latha <i>et al.</i> 2012	Pereira <i>et al.</i> 2012	Bu Çalışma
Al	$\sigma_{t,m}$	-	12,4	-	12,6
	$\sigma_{t,a}$	-	12,4	-	12,6
	$Z_{et}$	13,0	13,0	-	13,0
Fe	$\sigma_{t,m}$	-	119,3	-	117,8
	$\sigma_{t,a}$	-	119,3	-	117,8
	$Z_{et}$	26,0	26,0	-	26,8
MgO	$\sigma_{t,m}$	-	-	-	15,3
	$\sigma_{t,a}$	-	-	-	7,6
	$Z_{et}$	-	-	10,2	10,0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$\sigma_{t,m}$	-	-	-	38,6
	$\sigma_{t,a}$	-	-	-	6,4
	$Z_{et}$	-	-	9,5	9,5

Çalışmamızın ikinci kısmında ise lam (cam) üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleriyle, lam üzerine buharlaştırma işlemi yapılmamış InSe, InSe:Sn yarıiletken kristallerinin  $\gamma$  -ışını transmisyona faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve zamanına göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kullandığımız kristaller katıhal fiziği araştırma laboratuvarında önceden hazırlanmıştır ki bu kristallerin yapısal özellikleri hakkında kısaca bilgi verecek olursak: InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleri Bridgman/Stockbarger metodu kullanılarak büyütülmüşlerdir. İkili kristallerin yapısal karakterizasyonları, XRD ölçümleri vasıtasıyla analiz edilmiştir. InSe ve Sn katkılı InSe yarıiletken kristallerinin yapısal ve örgü parametreleri  $\lambda=1,54050$  Å dalgaboylu Cu-K $\alpha$  radyasyonlu XRD sistemi kullanılarak analiz edilmiştir (Şata 2012). InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin XRD spektrumu Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin XRD spektrumu (Şata 2012).

InSe yarıiletken kristaline katılan elementlerin özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** InSe kristaline katılan elementlerin özellikleri

Element	Atom Numarası	Atom Ağırlığı	Grubu	Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )
Mn	25	54,94	7/B Geçiş Elementi	7,43
Fe	26	55,85	8/B Geçiş Elementi	7,87
Ag	47	107,87	1/B Geçiş Elementi	10,50
Cd	48	112,41	2/B Geçiş Elementi	8,65
Sn	50	118,71	4/A Metal	7,31
Gd	64	157,25	Lantanit	7,89

$\gamma$ -ışını transmisyon faktörlerinin ( $T$ ); tavlama sıcaklığı ve tavlama süresine göre değişimlerinin deneysel değerleri; lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için Çizelge 4.7–4.9’da, lam üzerine buharlaştırılmamış InSe, InSe:Sn yarıiletken kristalleri için de Çizelge 4.10–4.13’de verilmiştir.



**Çizelge 4.7.** Lam (cam) üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 60°C’de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Sıcaklığı (60 °C)							
	InSe	InSe:Mn	InSe:Fe	InSe:Ag	InSe:Cd	InSe:Sn	InSe:Gd
Tavlama Süresi (dak)	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$
0	0,973	0,985	0,968	0,984	0,981	0,993	0,980
10	0,969	0,975	0,966	0,971	0,979	0,971	0,985
20	0,966	0,975	0,959	0,969	0,975	0,971	0,984
30	0,966	0,971	0,962	0,965	0,975	0,968	0,982
40	0,970	0,978	0,963	0,957	0,977	0,968	0,980
50	0,970	0,984	0,965	0,961	0,982	0,970	0,982
60	0,974	0,991	0,969	0,964	0,985	0,974	0,987

**Çizelge 4.8.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 120°C’de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Sıcaklığı (120 °C)							
	InSe	InSe:Mn	InSe:Fe	InSe:Ag	InSe:Cd	InSe:Sn	InSe:Gd
Tavlama Süresi (dak)	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$
0	0,974	0,985	0,968	0,984	0,981	0,993	0,980
10	0,976	0,973	0,972	0,994	0,957	0,960	0,978
20	0,966	0,971	0,971	0,992	0,954	0,955	0,976
30	0,967	0,970	0,968	0,989	0,935	0,953	0,971
40	0,967	0,977	0,967	0,994	0,933	0,956	0,970
50	0,967	0,988	0,969	0,988	0,944	0,955	0,969
60	0,970	0,998	0,971	0,990	0,954	0,959	0,973

**Çizelge 4.9.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd ikili yarıiletken kristalleri için 180°C’de farklı tavlama sürelerine göre transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Sıcaklığı (180 °C)							
	InSe	InSe:Mn	InSe:Fe	InSe:Ag	InSe:Cd	InSe:Sn	InSe:Gd
Tavlama Süresi (dak)	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$
0	0,974	0,985	0,968	0,984	0,981	0,993	0,980
10	0,977	0,973	0,972	0,986	0,968	0,963	0,978
20	0,972	0,968	0,964	0,992	0,958	0,959	0,976
30	0,972	0,967	0,961	0,989	0,954	0,953	0,974
40	0,973	0,965	0,964	0,991	0,955	0,948	0,965
50	0,973	0,970	0,962	0,990	0,947	0,948	0,963
60	0,976	0,977	0,965	0,990	0,956	0,957	0,964

**Çizelge 4.10.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin farklı tavlama süreleri ve sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( $T$ )

InSe						
Tavlama Süresi (dak)	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C
	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$
0	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
10	0,986	0,983	0,980	0,991	0,986	0,985
20	0,986	0,990	0,979	0,995	0,975	0,983
30	0,983	0,990	0,977	0,986	0,990	0,972
40	0,973	0,987	0,978	0,990	0,981	0,923
50	0,986	0,984	0,985	0,991	0,984	0,954
60	0,976	0,981	0,978	0,986	0,984	0,971

InSe:Sn							
Tavlama Süresi (dak)	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C
	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$	$T$
0	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983	0,983
10	0,976	0,982	0,974	0,988	0,988	0,965	0,971
20	0,974	0,981	0,969	0,987	0,990	0,961	0,970
30	0,968	0,973	0,974	0,979	0,990	0,957	0,975
40	0,963	0,970	0,975	0,979	0,987	0,955	0,969
50	0,963	0,972	0,973	0,980	0,949	0,950	0,969
60	0,967	0,971	0,960	0,961	0,935	0,941	0,901

**Çizelge 4.11.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 30 dakika sabit tavlama süresi ve farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Süresi (30 dak)	
Tavlama Sıcaklığı (°C)	InSe
	$T$
0	0,923
10	0,962
20	0,928
40	0,995
60	0,994
80	0,931
100	0,936
120	0,928
140	0,968
160	0,959
180	0,968
200	0,981
220	0,928
240	0,922

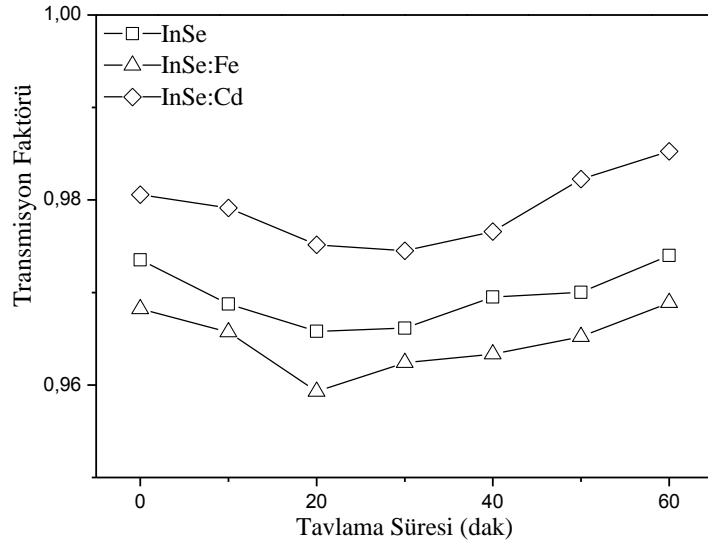
**Çizelge 4.12.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 30 dakika sabit tavlama süresi ve farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Süresi (30 dak)	
Tavlama Sıcaklığı (°C)	InSe:Sn
	$T$
0	0,917
10	0,743
20	0,675
40	0,641
60	0,849
80	0,895
100	0,707
120	0,627
140	0,828
160	0,786
180	0,697

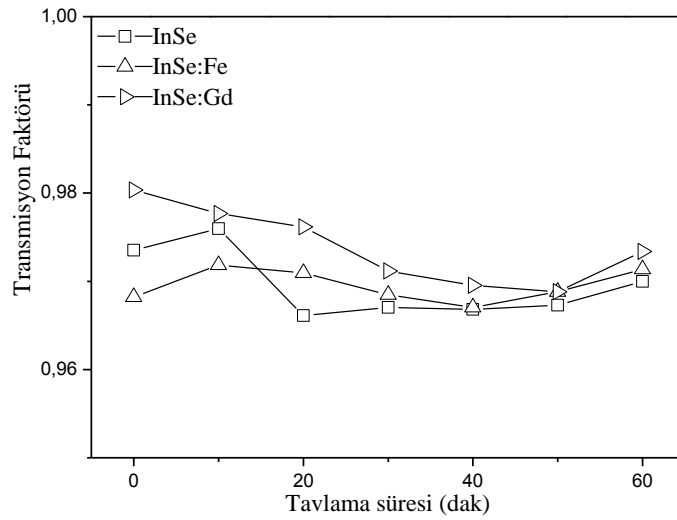
**Çizelge 4.13.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 320°C sabit tavlama sıcaklığı ve farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörleri ( $T$ )

Tavlama Sıcaklığı (320 °C)	
Tavlama Süresi (dak)	InSe
	$T$
0	0,989
20	0,957
40	0,954
60	0,945
65	0,947
70	0,962
75	0,965
80	0,964
85	0,965
90	0,967
95	0,968
100	0,970
105	0,979
110	0,992
115	0,984
120	0,991
125	0,994

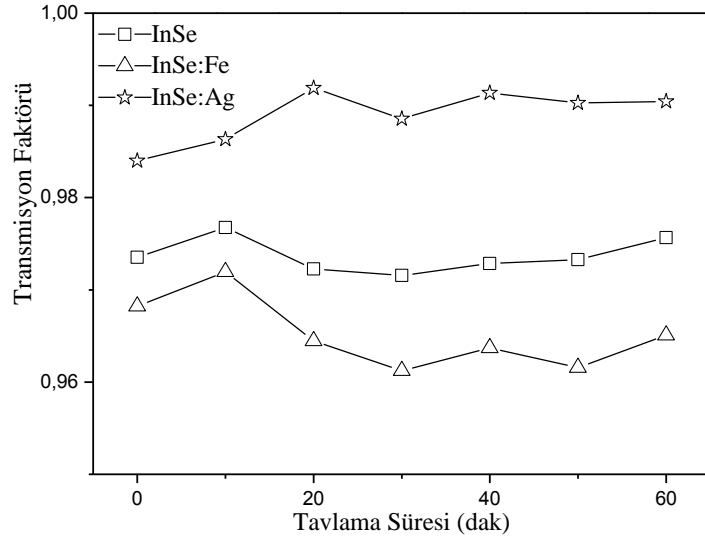
Lam üzerine buharlaştırılarak kullanılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin ve lam üzerine buharlaştırılmadan kullanılmış InSe, InSe:Sn yarıiletken kristallerinin  $\gamma$ -ışını transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve tavlama süresine göre değişimleri grafiksel olarak da Şekil 4.2-4.47'de verilmiştir.



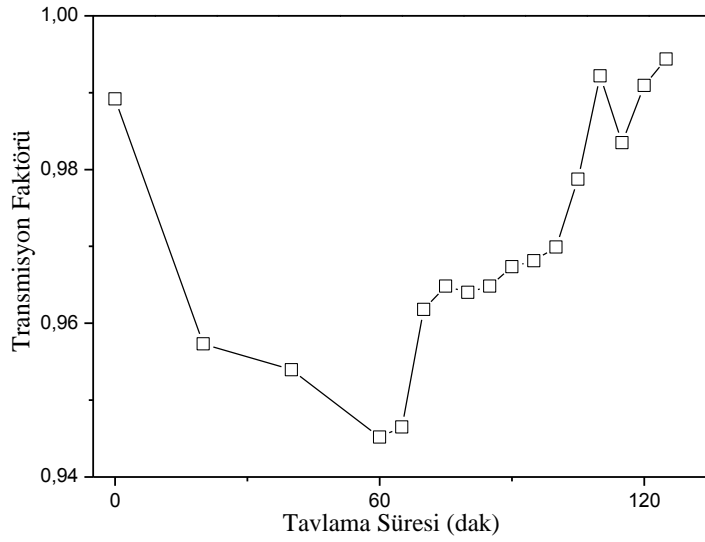
**Şekil 4.2.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe:Cd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



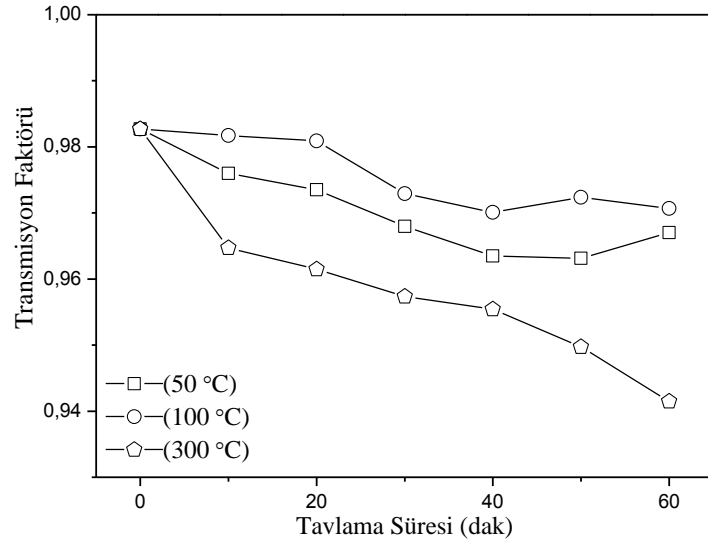
**Şekil 4.3.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



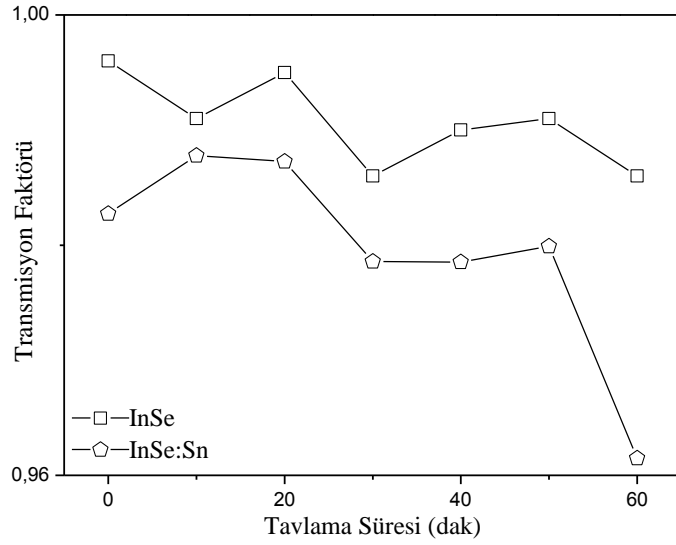
**Şekil 4.4.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Fe ve InSe:Ag yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



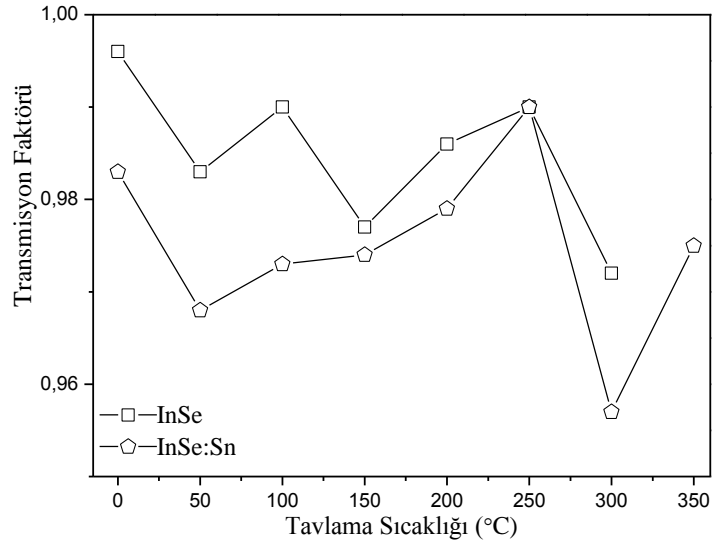
**Şekil 4.5.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 320°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



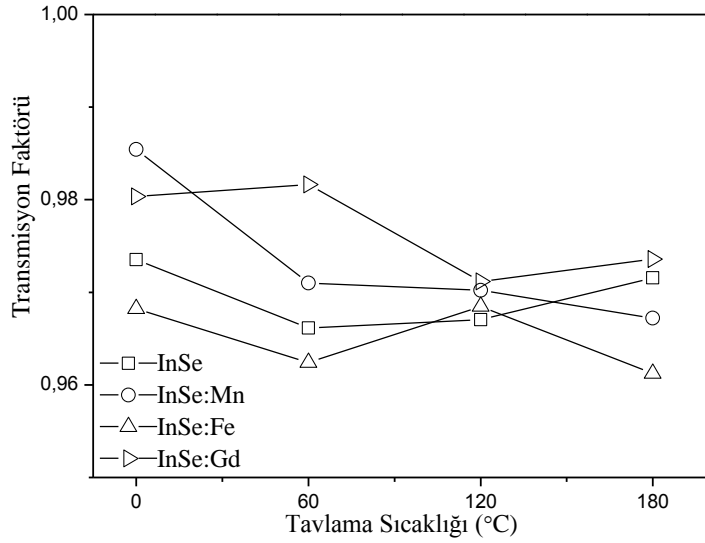
**Şekil 4.6.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 50°C, 100°C ve 300°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



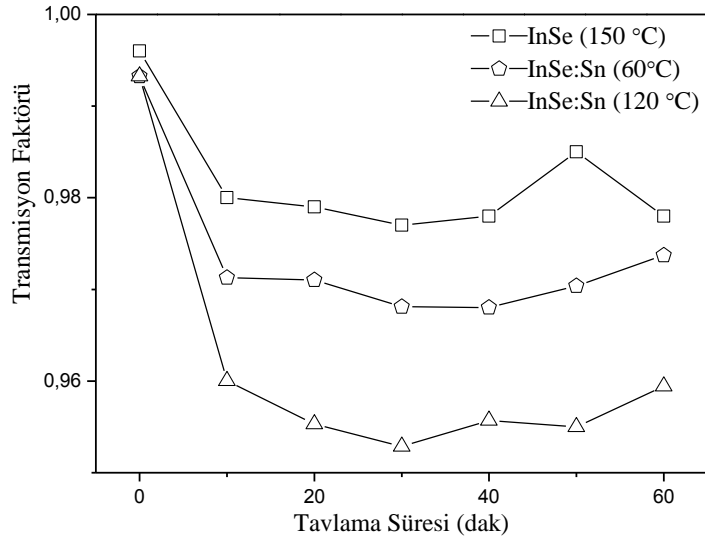
**Şekil 4.7.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 200°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



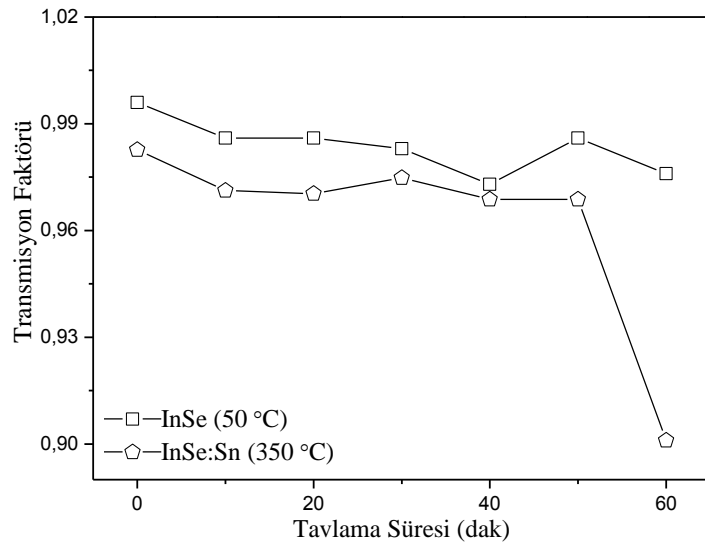
**Şekil 4.8.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



**Şekil 4.9.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe ve InSe:Gd yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi

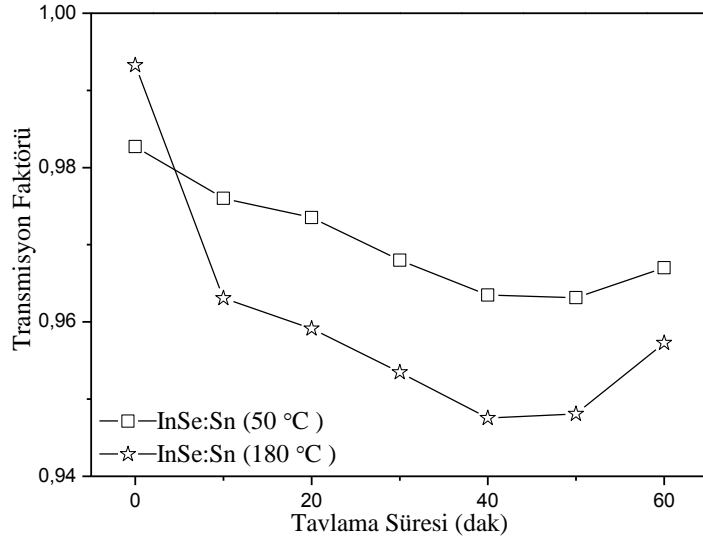


**Şekil 4.10.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 150 °C ve lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 60°C ve 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyön faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi

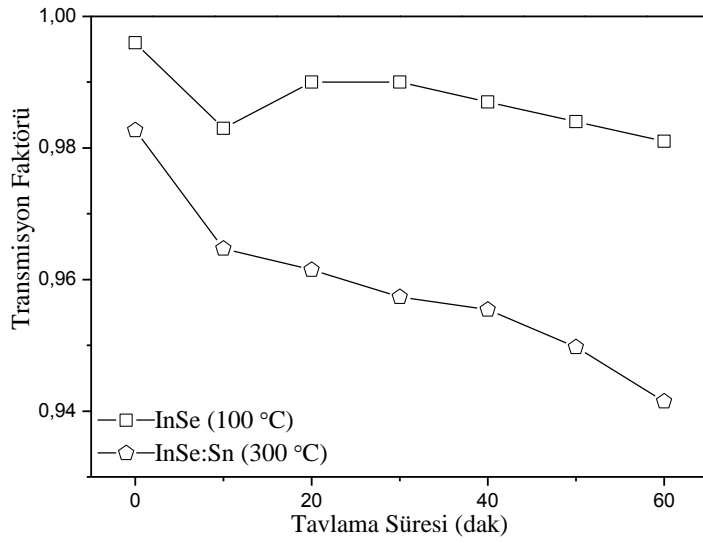


**Şekil 4.11.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 50°C ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 350°C tavlama sıcaklığındaki transmisyön faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi

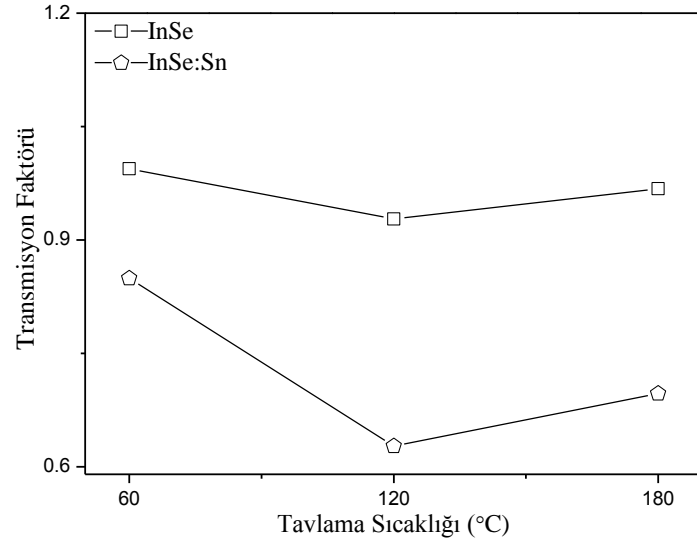




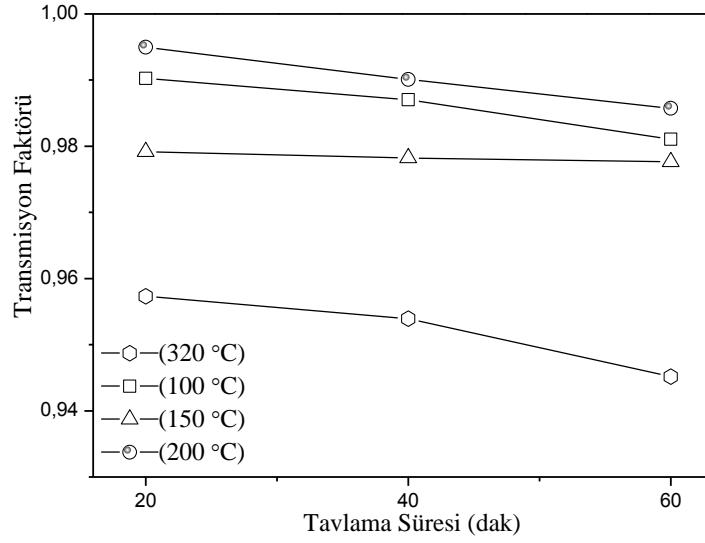
**Şekil 4.12.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 180°C ve lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 50°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



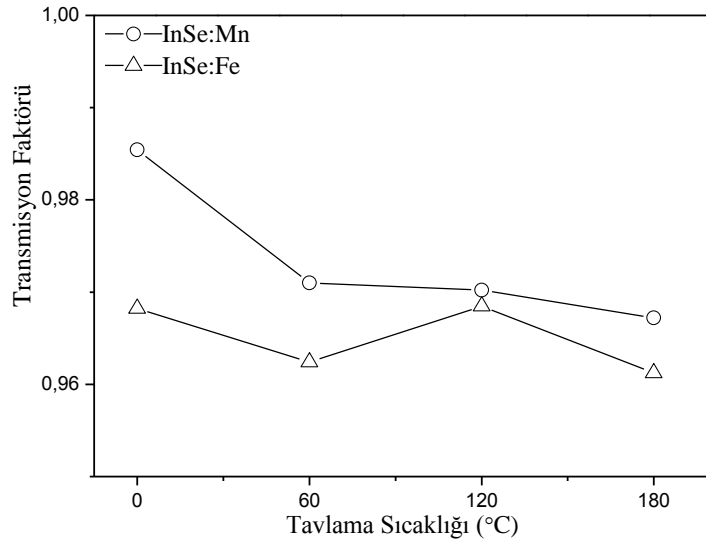
**Şekil 4.13.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 100°C ve InSe:Sn yarıiletken kristalinin 300°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



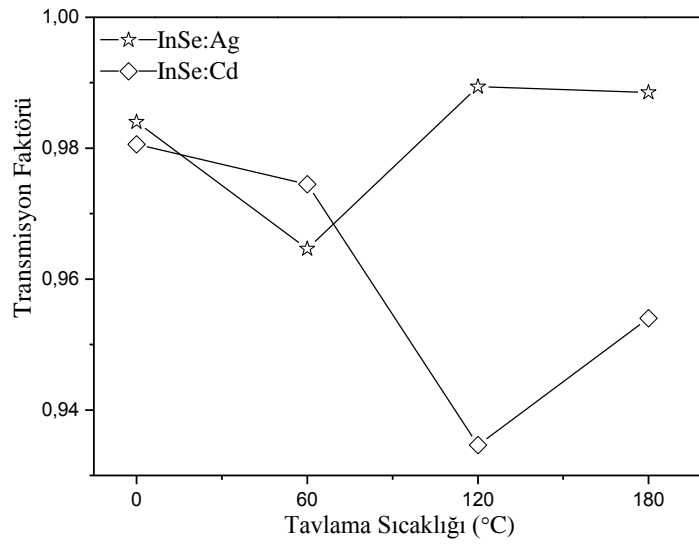
**Şekil 4.14.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



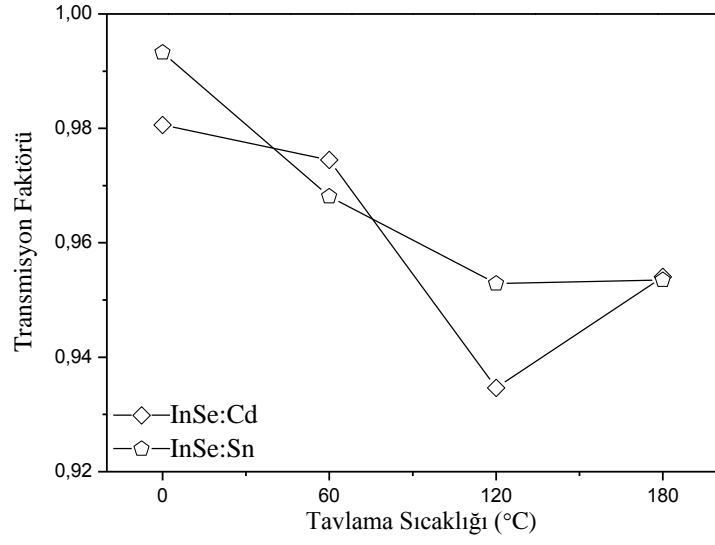
**Şekil 4.15.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 100°C, 150°C, 200°C ve 320°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresi ile değişimi



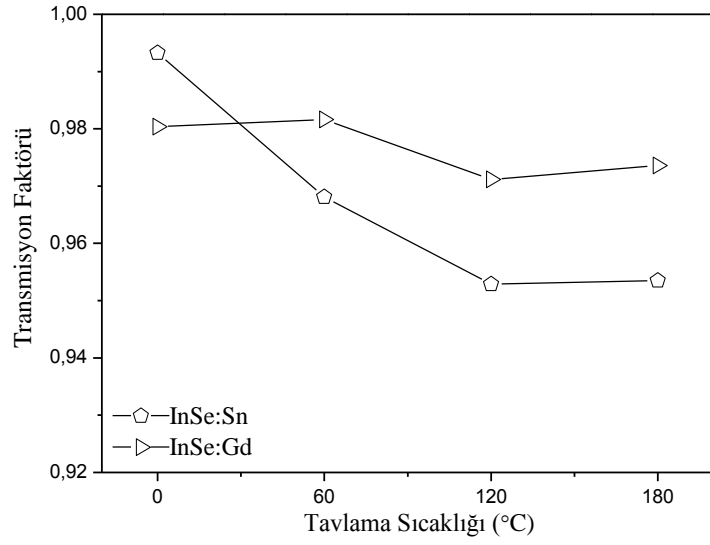
**Şekil 4.16.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn ve InSe:Fe yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



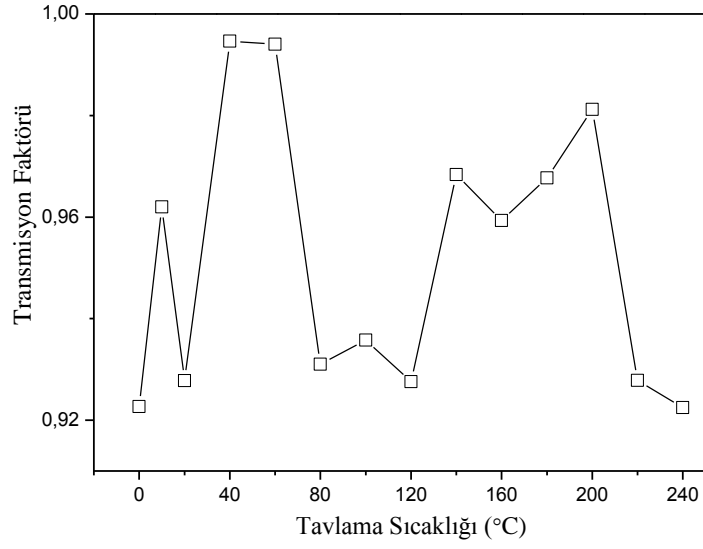
**Şekil 4.17.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag ve InSe:Cd yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



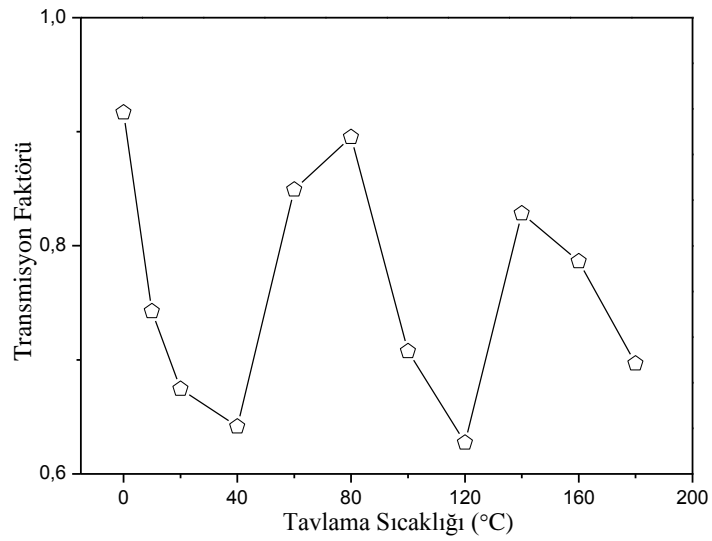
**Şekil 4.18.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



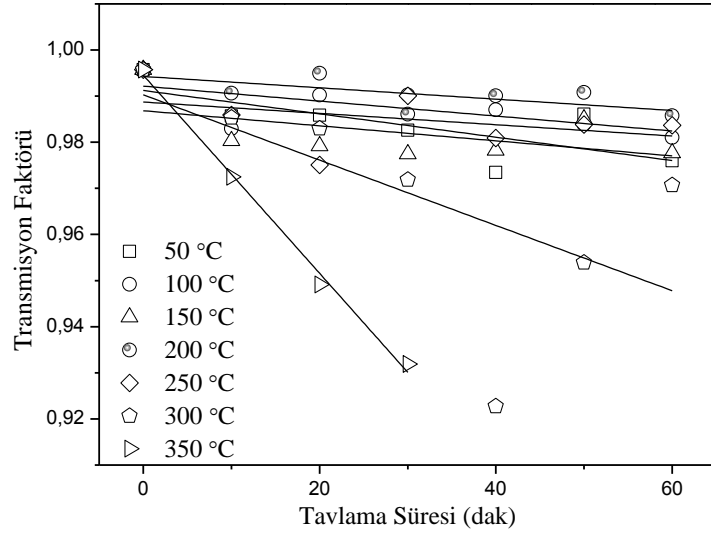
**Şekil 4.19.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ile değişimi



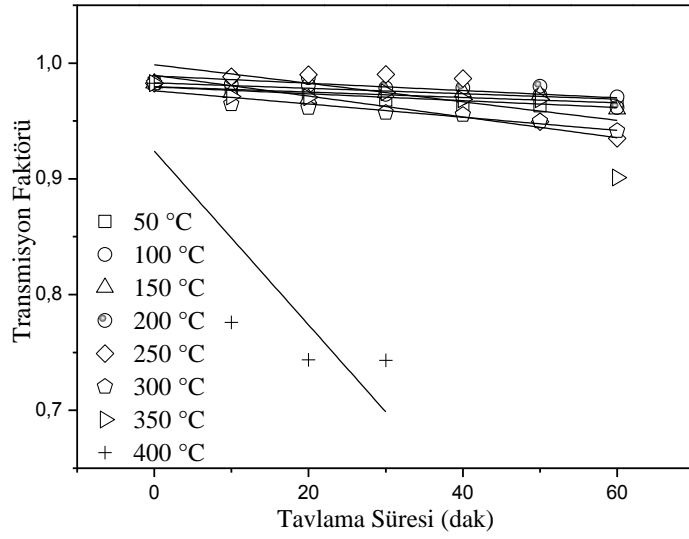
**Şekil 4.20.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörünün tavlama sıcaklığı ile değişimi



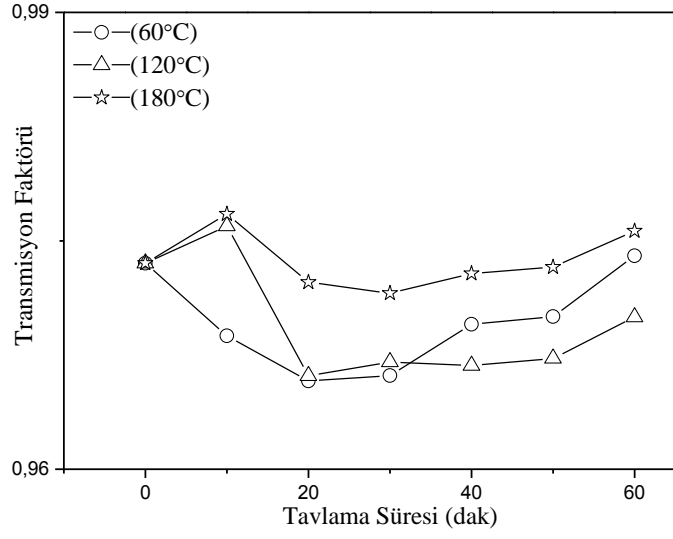
**Şekil 4.21.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 30 dak sabit tavlama süresindeki transmisyon faktörünün tavlama sıcaklığı ile değişimi



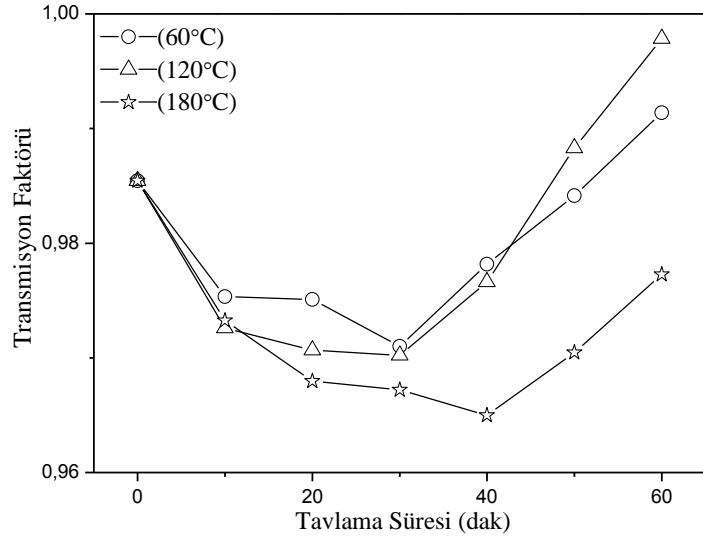
**Şekil 4.22.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristali için farklı tavlama sıcaklıklarındaki (350°C'de numune 40. dakikada yandı) transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



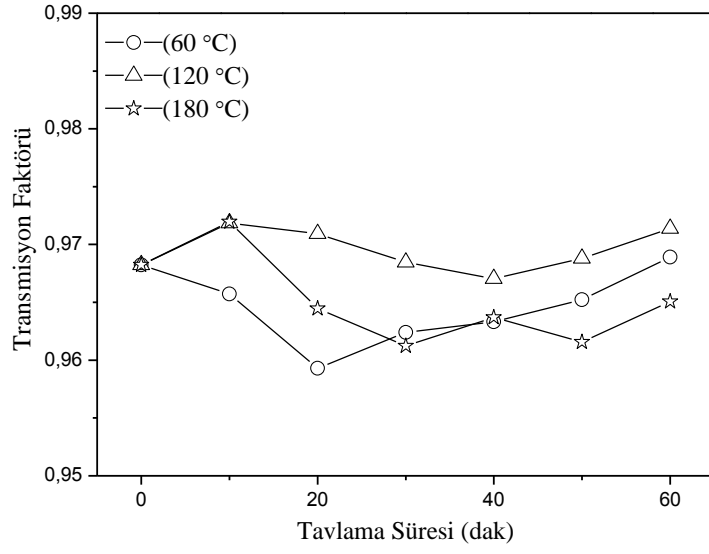
**Şekil 4.23.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki (400°C'de numune 40. dakikada yandı) transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



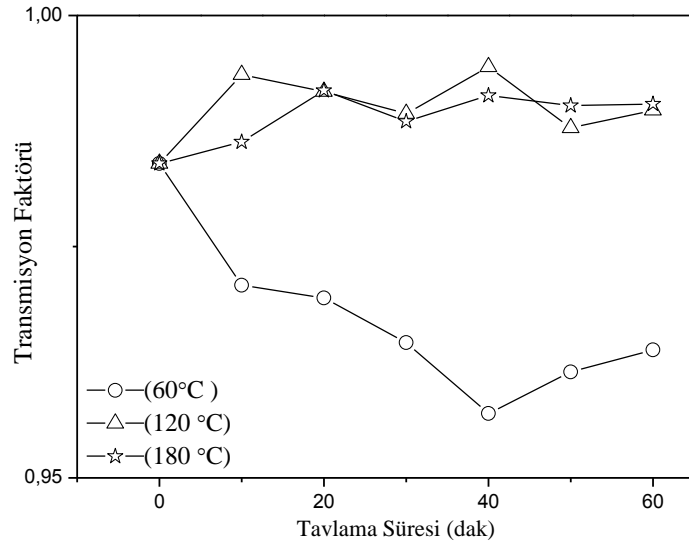
**Şekil 4.24.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



**Şekil 4.25.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi

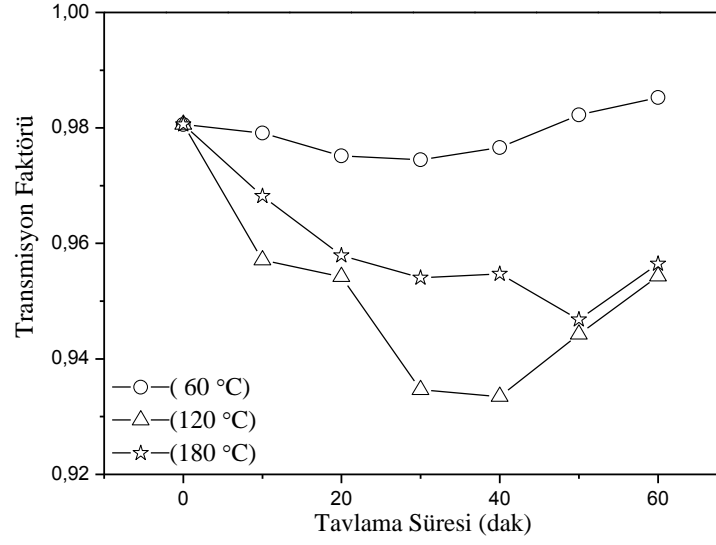


**Şekil 4.26.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Fe yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi

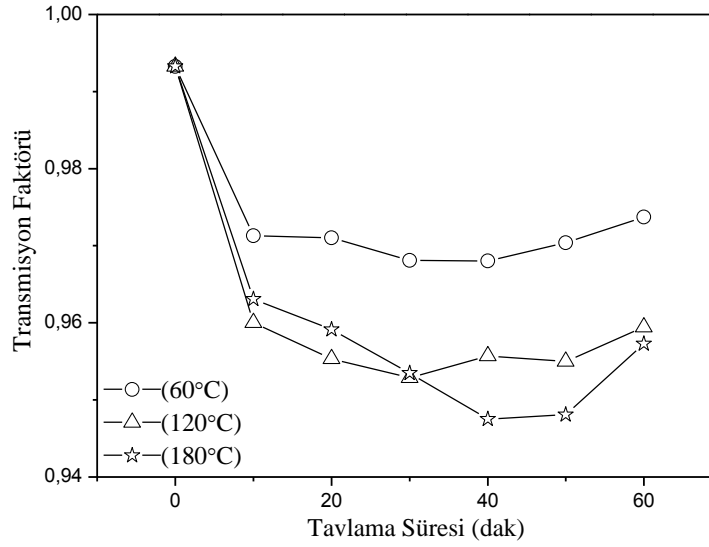


**Şekil 4.27.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi

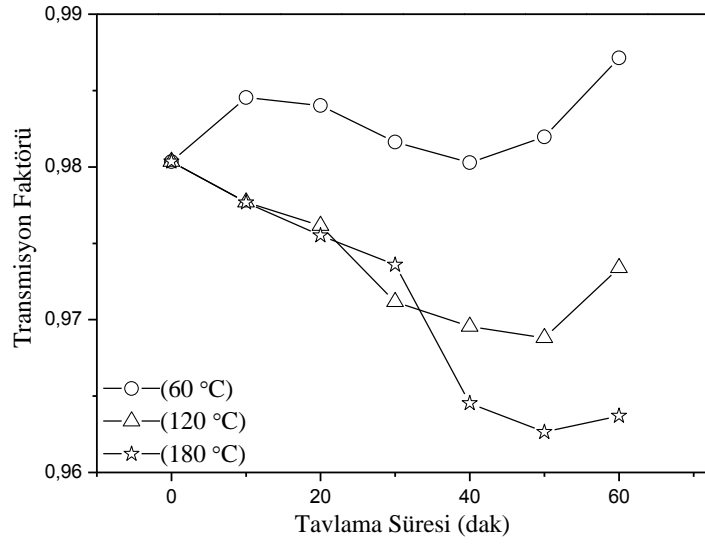




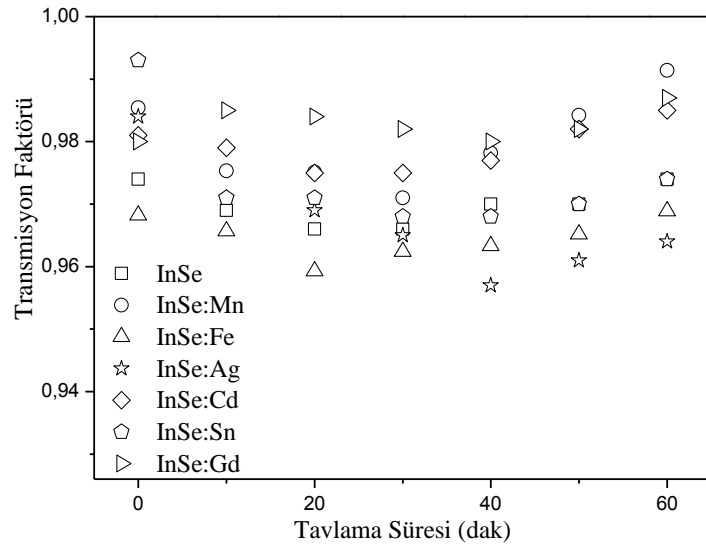
**Şekil 4.28.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



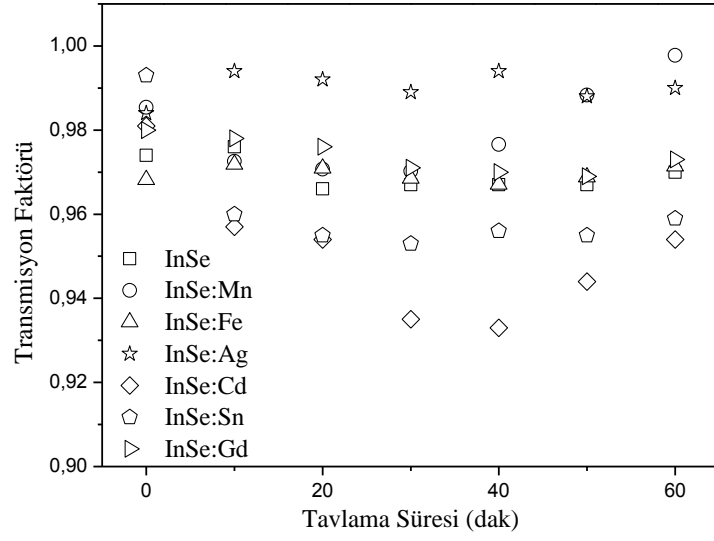
**Şekil 4.29.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



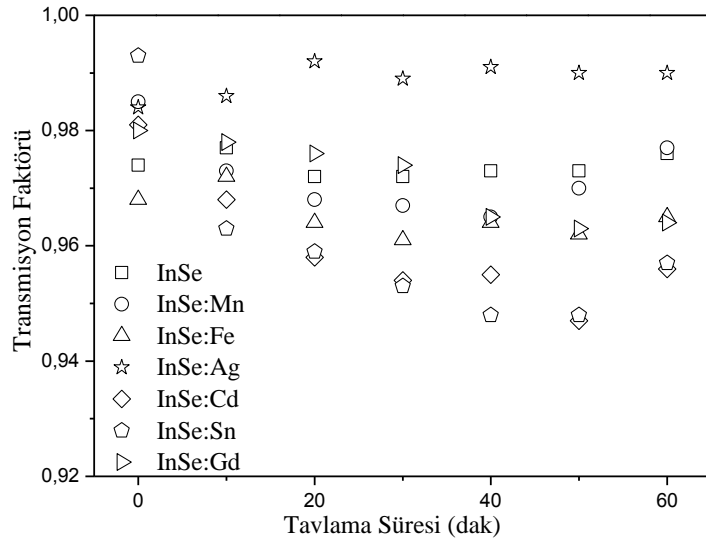
**Şekil 4.30.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Gd yarıiletken kristalinin 60°C, 120°C ve 180°C tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



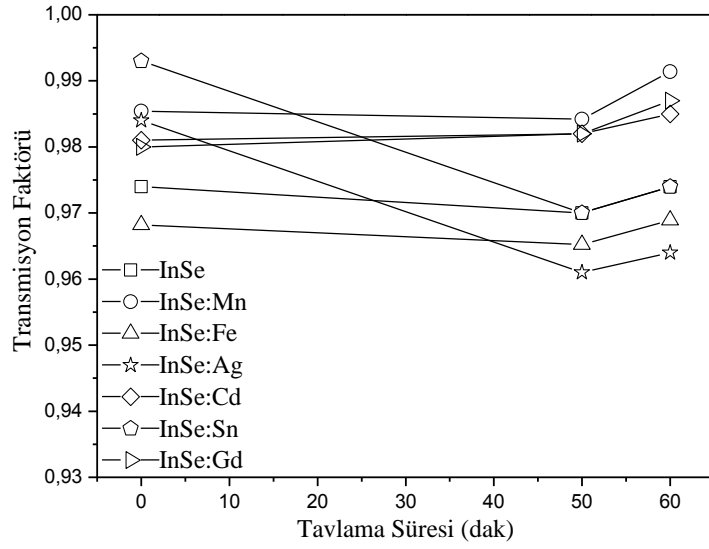
**Şekil 4.31.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



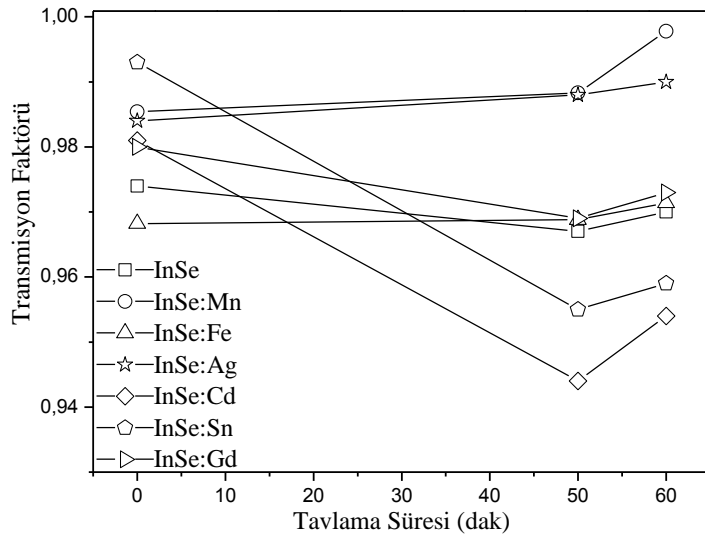
Şekil 4.32. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



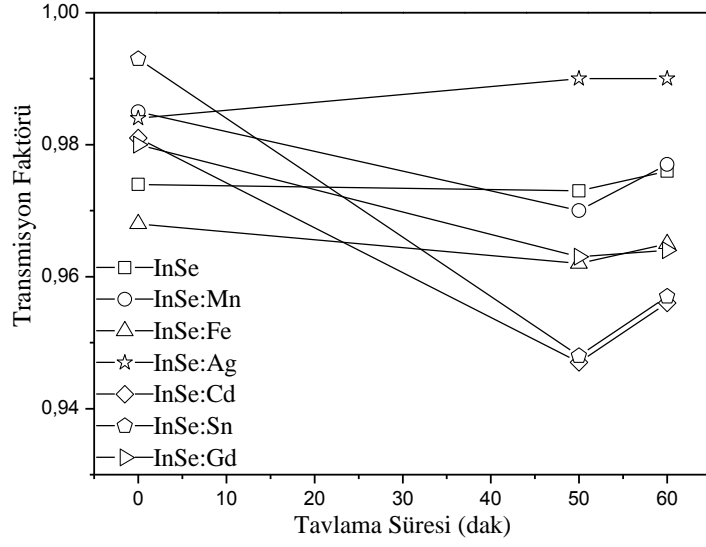
Şekil 4.33. Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin tavlama süresiyle değişimi



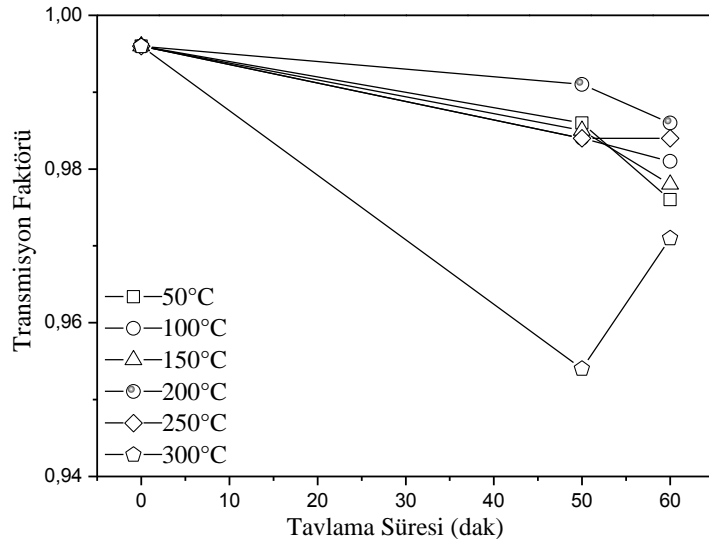
**Şekil 4.34.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 60°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresiyle değişimi



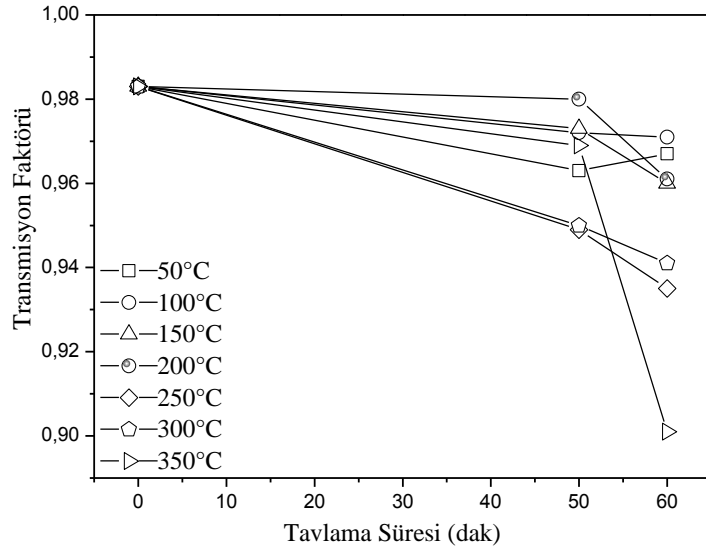
**Şekil 4.35.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 120°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresiyle değişimi



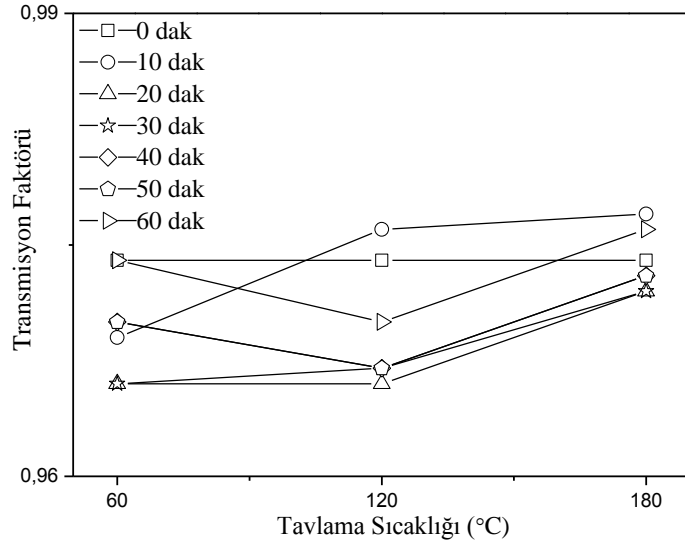
**Şekil 4.36.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinin 180°C tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresiyle değişimi



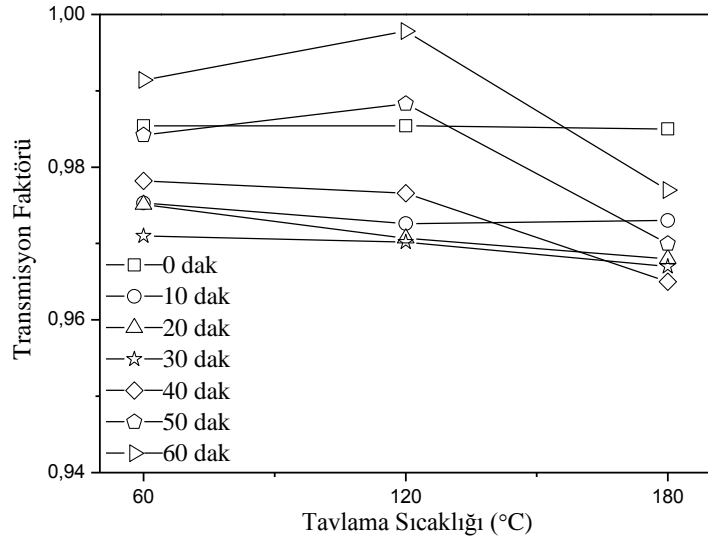
**Şekil 4.37.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresiyle değişimi



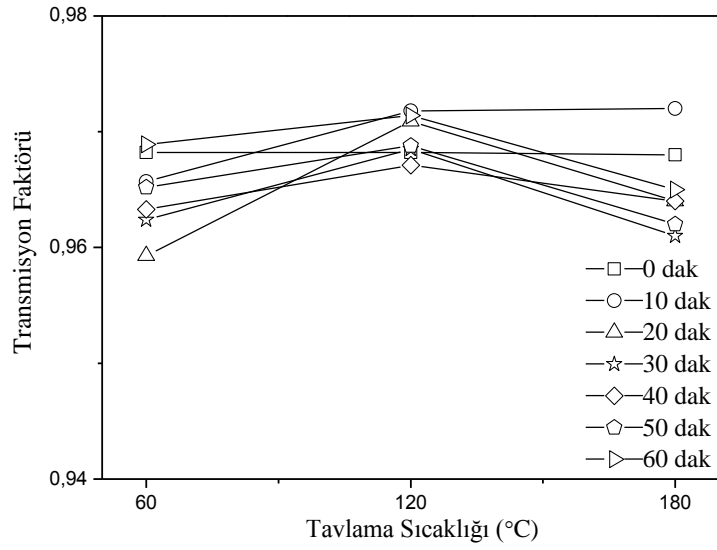
**Şekil 4.38.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sıcaklıklarındaki transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresiyle değişimi



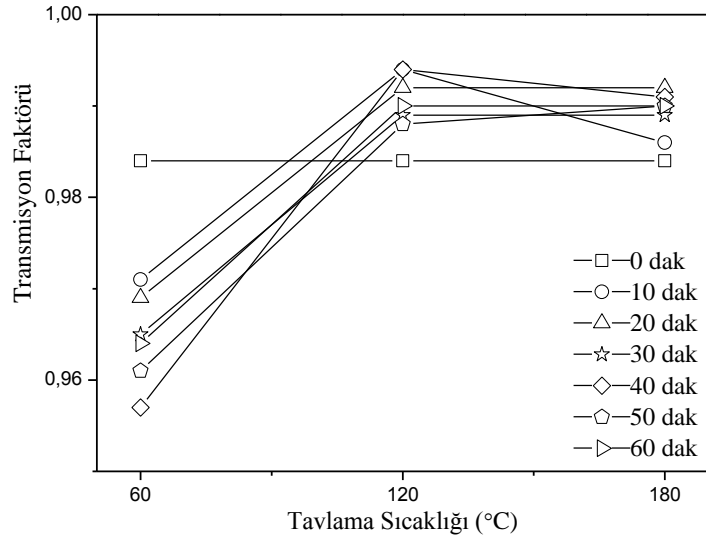
**Şekil 4.39.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



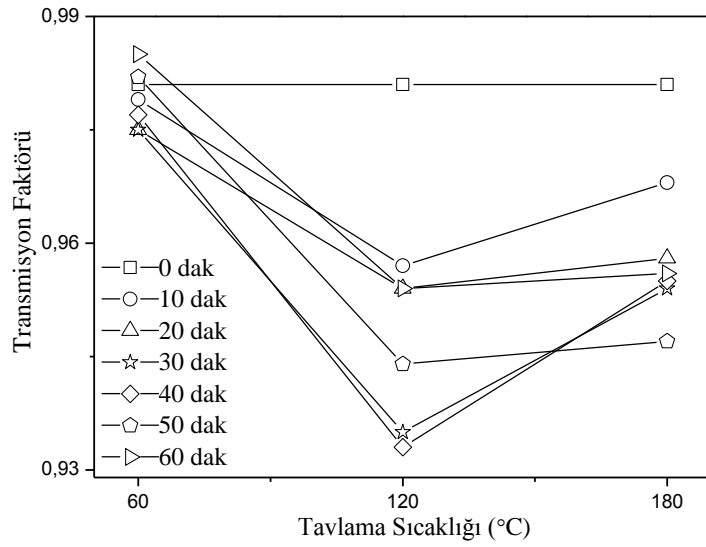
**Şekil 4.40.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Mn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



**Şekil 4.41.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Fe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi

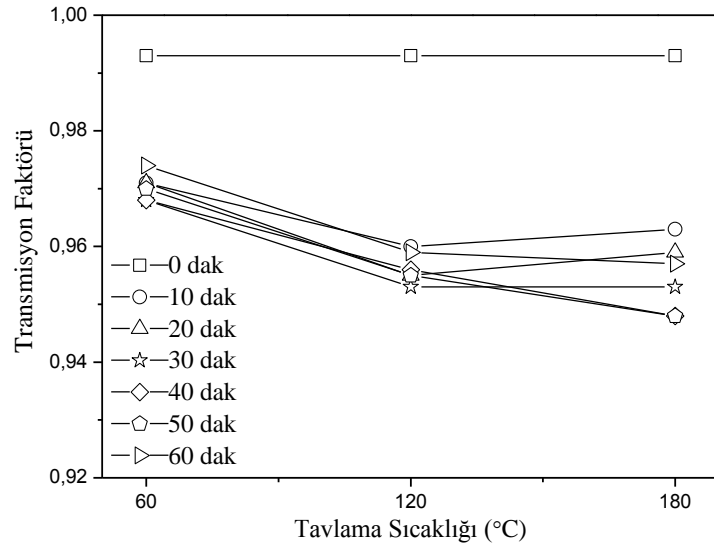


**Şekil 4.42.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Ag yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi

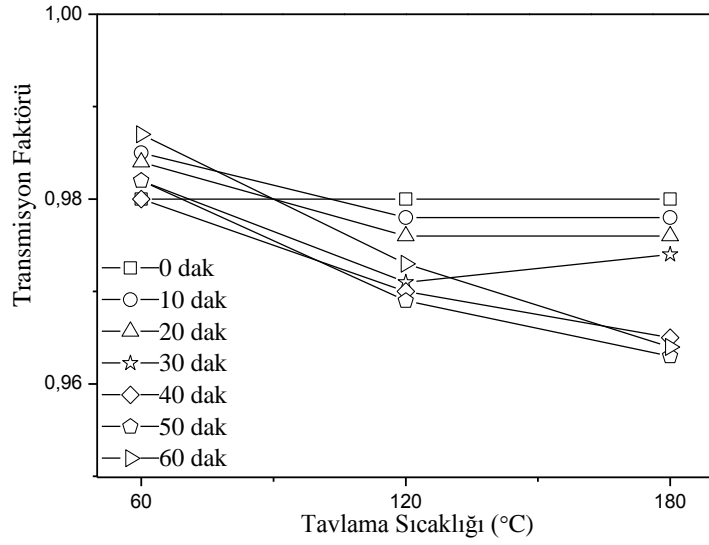


**Şekil 4.43.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Cd yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi

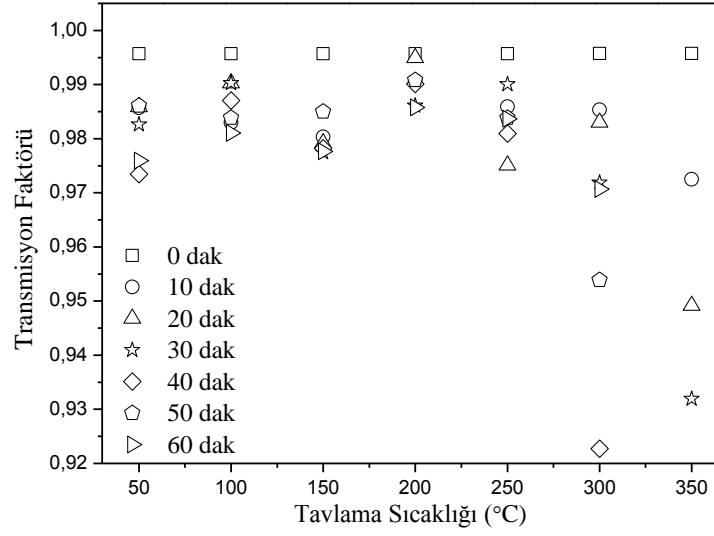




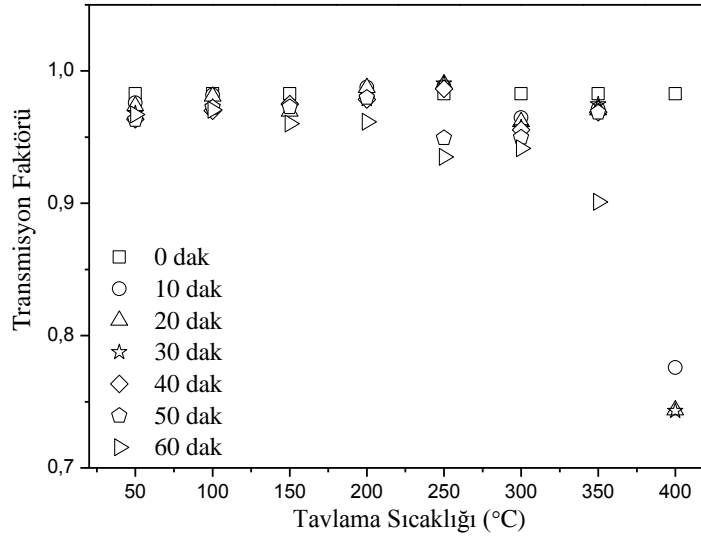
**Şekil 4.44.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



**Şekil 4.45.** Lam üzerine buharlaştırılmış InSe:Gd yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



**Şekil 4.46.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



**Şekil 4.47.** Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe:Sn yarıiletken kristalinin farklı tavlama sürelerindeki transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığıyla değişimi

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci kısmında; biyomedikal öneme sahip Na, Mg, Al, Fe ve Ca elementlerinin oluşturduğu;  $\text{NaO}_2\text{C}_2\text{H}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaF,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , MgO,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaO}_6\text{C}_6\text{H}_{10}$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  ve  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları ölçülerek; elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları teorik ve deneysel olarak hesaplanmıştır.

Çalışmamızda kullanılan elementler Şekil 2.2’de verilen NCCLS tablosuna uygun olarak seçilmiştir. Na, Mg, Ca ve Fe elementleri esansiyel majör elementlerken, Al esansiyel olmayan toksik elementtir. Elementlerin biyokimyasal fonksiyonları Na, Mg, Ca ve Fe elementlerinininki gibi yararlı olabileceği gibi, Al elementi gibi toksik özelliklerde de olabilmektedir. Burada önemli olan vücut için gösterdikleri etkilerdir. Bu etkiler element veya bileşiğin miktarına fazlaca bağlıdır. Genel olarak vücut için yaşamsal öneme sahip olan elementlerin bile fazlası vücuda zararlı etki yaparken, yetersiz alınmalarında eksikliklerinden kaynaklanan birçok hastalık ve bozukluklar görülebilir. Canlılar için büyük önem arz eden biyomedikal öneme sahip elementlerin bileşiklerinin kütle soğurma katsayılarının ölçülmesi yararlı olmaktadır. Kütle soğurma katsayıları bazı temel fizik uygulamaları ve birçok uygulama alanında önemli bir role sahiptir. X ve  $\gamma$ -ışınlarının kütle soğurma katsayıları endüstriyel, biyolojik, tarımsal uygulamalarda olduğu gibi dozimetri, radyografi, bilgisayarlı tomografi gibi tıbbi uygulamalar için de önemli bir role sahiptir. Kütle soğurma katsayıları maddenin atomik ve moleküler seviyede birçok temel özelliği hakkında geniş bilgiler sunmaktadır. Kütle soğurma katsayısı kimyasal içeriğe bağlıdır. Kütle soğurma katsayılarından yararlanılarak; elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları, elektron yoğunlukları gibi fiziksel parametreler rahatlıkla belirlenebilmektedir. Şayet belli sabitler bilinirse, enerji soğurulması ortalama olarak hesaplanabilir. Ortalama hesabi için gerekli bu sabitler etkin atom numarası ve elektron yoğunluğudur.

Etkin atom numarası düşük ve orta atom numaralı materyaller için kullanışlı bir parametredir. Bu parametreye biyolojik ve medikal uygulamalarda sıkça rastlanmaktadır. Etkin atom numarasının içeriği, X ve  $\gamma$ -ışınlarının madde ile etkileşmesi temeline dayanmaktadır (Manohara *et al.* 2010). Biyolojik materyaller, plastik, toprak ve alaşımlar gibi kompozit malzemeler foton etkileşmesinin olduğu tüm enerji bölgesinde tek bir sayıyla temsil edilemezler ve kısmi süreçlerin her biri için bu sayı farklı ağırlıklıdır (Kumar *et al.* 1996). Bu sayı kompozit yani karmaşık materyaller için “etkin atom numarası” adını alır ve enerji ile değişim gösterir (Prasad *et al.* 1998). Bu açıdan, birçok teknolojik uygulama için biyolojik numunelerde etkin atom numarasının çalışılması çok önemlidir. Etkin atom numarası, tıbbi görüntüleme ve radyasyon tedavisinde tıbbi radyasyon dozimetresinde, doz hesaplanması için kullanılmaktadır (Hine 1952).  $Z_{et} \leq 10$  organik maddelerin göstergesi iken, büyük bir  $Z_{et}$  genel olarak inorganik bileşikler ve metallerin göstergesidir (Baltaş ve Çevik 2008). Etkin atom numarasındaki en önemli değişiklik kısmi foton etkileşim süreçlerinin baskınlığından kaynaklanmaktadır. Bu durum, etkin atom numarasının bir bileşikteki atom numaralarının aralığına ve element sayısına bağlı olduğunu ispatlamaktadır. Etkin atom numarası Siddappa *et al.* (1986); Kumar *et al.* (1996); Prasad *et al.* (1998); Kaur *et al.* (2000); Shivaramu (2002); Manjunathaguru and Umesh (2006) tarafından yalnızca interpolasyon işlemler ve yarı-deneysel ifadeler kullanılarak çalışılmıştır. Bu yüzden etkin atom numarasının deneysel olarak belirlenmesi çok önemlidir. Singh *et al.* (2002) ve Bhandal and Singh (1996); etkin atom numarasının, enerjinin fonksiyonu olan bir sabit olduğunu doğrulamışlardır. Fakat bu çalışmada yalnızca tek bir enerji kullanıldığından dolayı enerji ile değişim incelenmemiştir. Fotoelektrik etki, koherent saçılma ve çift oluşum gibi olayların kısmi etkisi, etkin atom numarasının enerji ile değişimine bağlanabilir. Fakat 100 keV’den daha düşük enerjilerde fotoelektrik etki daha baskındır ve bu yüzden etkin atom numarasının enerji ile değişiminden fotoelektrik etki sorumludur.

Na, Mg, Al, Ca ve Fe bileşikleri için Çizelge 4.2’deki deneysel değerler incelendiğinde, atom sayısının değişmesiyle Na bileşikleri için atomik parametrelerde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Na düşük atom numaralı olduğundan dolayı onun

bileşiklerinde ortalama  $Z$ 'de büyük değişiklikler görülmez. Yaklaşık 60 keV gibi düşük enerjilerde ana etkiler fotoelektrik soğurma ve Compton saçılmadır, bu etkiler yüksek  $Z$ 'li materyallerde bulunan iç elektronlardaki bağlanma enerjisine, çekirdeklerden gelen etkiye ve materyaldeki elektronların varlığına atfedilebilir. Böylece gerçekten bir soğurma ve saçılmanın baskın etkisinin materyaldeki elektron yoğunluğundan olacağı beklenebilir, bu yoğunluk bileşiğin ya da karışımdaki elementin stokiyometrik oranının bilinmesi ile hesaplanabilir. Çizelge 4.2; 4.3 ve 4.4'de, Na bileşiklerinden NaCl ile NaF ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ile  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  aynı atom sayısına sahip olmalarına rağmen kütle soğurma katsayısı büyük olan bileşiğin diğer atomik parametre değerleri de büyüktür. Çizelge 4.2; 4.3 ve 4.4'de, atom sayısı artışıyla; Mg bileşiklerinde kütle soğurma katsayıları, atomik tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları azalmıştır, moleküler tesir kesiti ise artmıştır. Al bileşiklerinde kütle soğurma katsayıları, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları azalmıştır, elektron yoğunlukları artmıştır. Fe bileşiklerinde atom sayısının artmasıyla kütle soğurma katsayıları, atomik tesir kesitleri ve etkin atom numaraları azalırken, moleküler tesir kesitleri artmıştır. Ca bileşiklerinde ise atom sayısı artışıyla atomik tesir kesitleri azalmıştır. Çizelge 4.2; 4.3 ve 4.4'de, bileşik içerisindeki Na, Mg, Al, Ca ve Fe elementlerinin kütlece yüzde değişimleri dikkate alınırsa; Al elementinin kütlece yüzdesinin azalmasıyla kütle soğurma katsayıları, atomik ve moleküler tesir kesitleri ve etkin atom numaraları azalırken, elektron yoğunlukları artmıştır. Mg ve Fe bileşiklerinde ise biyoelement yüzdesi azaldıkça; kütle soğurma katsayıları, atomik tesir kesitleri ve etkin atom numaraları azalırken, moleküler tesir kesitleri artmıştır, ayrıca Mg bileşikleri için elektron yoğunluğu ise azalmıştır.  $\text{FeCl}_2$  ve  $\text{FeCl}_3$  bileşiklerinin kütle soğurma katsayıları, elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunluklarının yakın değerler aldığıda yine Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'den açıkça görülmektedir. Na, Mg, Al, Ca ve Fe bileşikleri için Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilen elektronik tesir kesitleri incelendiğinde, atom sayısı artışı veya biyoelementin kütlece yüzdesindeki azalma ile değişimler olduğu açıkça görülmektedir. Atom sayısı arttıkça Mg, Al, Ca ve Fe bileşikleri için elektronik tesir kesitleri azalmıştır. Biyoelementin kütlece yüzdesinin azalmasıyla da Mg, Al, Fe bileşikleri için elektronik tesir kesitleri azalmıştır.

Çizelge 4.5’den görüleceği gibi elde edilen sonuçlar, literatürde verilen sonuçlarla uyum sergilemektedir. Pereira *et al.* (2012) altı metot kullanarak MgO ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> için etkin atom numarası değerini elde etmişlerdir. MgO için metot VI’dan elde edilen ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> için ise metot II’den elde edilen etkin atom numarası değerleri, bu çalışmadaki değerlerle oldukça iyi bir uyum sergilemiştir. Al, Fe, MgO ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> numuneleri için verilen bu birkaç çalışma bizim elde ettiğimiz bazı deneysel değerleri teyit etmesi açısından önemlidir. Yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgilere göre; çalışılan bu numuneler için 59,5 keV enerjili  $\gamma$ -fotonları kullanılarak elde edilen, Çizelge 4.5’de verilenler dışında herhangi bir deneysel sonuca rastlanmamıştır. Bu sebepten bu çalışma, mevcut numuneler ve enerji için ilk deneysel verileri oluşturması yönüyle önem arz etmektedir.

Çalışmamızda; kütle soğurma katsayıları, elektronik, atomik ve moleküler tesir kesitleri, etkin atom numaraları ve elektron yoğunlukları için elde edilen deneysel ve teorik değerlerin karşılaştırılması da yapılmıştır. Teorik değerler hem WinXCom hem de FFAST programları kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’den görüleceği gibi, deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasında iyi bir uyum görülmektedir. Çizelge 4.4’de, NaNO<sub>3</sub> bileşiği için FFAST programında kütle soğurma katsayısı bulunmadığından dolayı teorik değerler hesaplanamamıştır. WinXCom için yüzde hata %-9,4 ve %+11,9 arasında iken FFAST için %-11,8 ve %+11,7 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar karışım kuralını esas alan WinXCom programının uygunluğunu kanıtlamaktadır ki benzer sonuçlar literatür de (Glover *et al.* 2010; Baltej *et al.* 2012; Chanthima and Kaewkhao 2012) tarafından da gözlenmiştir. Kimyasal çevrenin, kütle soğurma katsayısı üzerine etkisi olduğu kimyasal, moleküler ve termal ortamlardan etkilendiğine inanılmaktadır. Bu inanış, yalıtılmış atom için teorik değer hesaplanmasında tesir kesiti hesabı dikkate alındığı için deneysel kütle soğurma katsayısı değerinin sapmasına yol açmaktadır. Bu sapma karışım kuralının geçersizliği ya da kuralda aksaklık, bozulma olarak adlandırılır. Bu gibi etkiler (Lakshminarayana *et al.* 1986, Tan vd 1988; Kerur *et al.* 1993; Kerur *et al.* 1994b; Turgut vd 2002; İçelli vd 2003) tarafından da gözlenmiştir. WinXCom ve FFAST teorik değerlerinden deneysel değerlerin sapması Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> için WinXCom %+7,9, FFAST %+4,6; Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> için

WinXCom %-4,9, FFAST %-7,3;  $Al(NO_3)_3$  için WinXCom %+2,9, FFAST %-0,5;  $Fe_2(SO_4)_3$  için WinXCom %-9,3, FFAST %-11,7 ve  $CaO_6C_6H_{10}$  için ise WinXCom %-4,9, FFAST %-6,9. Bu durumda teorik değerden sapmaların bir bileşiğin artan ya da azalan atom sayısı ile doğrudan açıklanamayacağı sonucuna varılmaktadır. Bir bileşikteki atomların sayısı arttığı zaman deneysel ve teorik değerler arasında önemli bir farklılık oluşmamaktadır. Bu bakımdan, karışım kuralının geçerliliği bir bileşikteki atom sayısına bağlı olarak açıklanamamaktadır. Bir bileşik için moleküler bağlar, kimyasal çevre gibi etkiler önemlidir, fakat bu etkiler karışım kuralı tarafından ihmal edilmektedir. Bu gibi etkiler (Söğüt vd 2001; Turgut vd 2002; İçelli vd 2003; İçelli ve Erzeneoğlu 2004) tarafından da gözlenmiştir

Çalışmanın birinci kısmı için sonuç ve öneriler;

- ❖ Çeşitli biyomedikal elementlerin bileşiklerine ait kütle soğurma katsayılarının bu çalışmada verilen dar-şua geometrisiyle deneysel olarak daha hassas bir şekilde ölçülebileceğini,
- ❖ Kütle soğurma katsayılarının hassas değerlerinin  $\ln I-t$  grafiğinden hassas bir şekilde bulunabileceğini,
- ❖ Farklı biyomedikal bileşikler ve enerjilerde yeni deneysel ölçümler yapılabileceği ve böylece literatüre zenginlik kazandırarak, bu yönde ki eksikliğin giderileceğini,
- ❖ Bu çalışma WinXCom değerlerinin uygunluğunu ortaya koymasına rağmen, yeni deneysel çalışmalarla teorik değerlerin karşılaştırılması gerektiğini,
- ❖ Biyomedikal elementlerin bileşikleri için elde edilen deneysel ve teorik değerlerin tıpta kullanım yönünün farklı araştırma gruplarıyla yapılan ortak çalışmalarla araştırılması gerektiğini söyleyebiliriz.

Çalışmamızın ikinci kısmında ise lam (cam) üzerine buharlaştırılarak hazırlanmış InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleri ile lam üzerine buharlaştırılmadan elde edilmiş InSe, InSe:Sn yarıiletken kristallerinin  $\gamma$ -ışını transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve süresine göre gösterdiği değişimler

incelenmiştir. InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleri Bridgman/Stockbarger metodu kullanılarak büyütülmüşlerdir. Büyütülen bu numunelerden InSe ve InSe:Sn doğal halde incelenmiştir. Daha sonra tüm numuneler (InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd) lam (cam) üzerine buharlaştırılmıştır. Doğal haldeki (lam üzerine buharlaştırılmadan kullanılmış) InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristalleri yanma sıcaklıklarına ulaşıncaya kadar tavlatabilmişlerdir, lam üzerine buharlaştırılarak kullanılan InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd kristalleri ise lamın (cam) çatlama sıcaklığına kadar tavlatabilmişlerdir. Lam üzerine buharlaştırılmadan kullanılmış InSe için yanma sıcaklığı 300°C iken, InSe:Sn için bu sıcaklık 350°C olarak belirlenmiştir. Bu durum, kristale yapılan katkının kristalin yanma sıcaklığını arttırdığını düşündürebilir. Lam üzerine buharlaştırılan kristaller için ise camın çatlama sıcaklığı, yani maksimum tavlama sıcaklığı 180°C olarak belirlenmiştir. Transmisyon ölçümleri için elde ettiğimiz deneysel sonuçlar Çizelge 4.7-4.13’de listelenmiştir. InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Ag, InSe:Cd, InSe:Sn and InSe:Gd kristallerinin transmisyon faktörlerinin tavlama süresi ve tavlama sıcaklığına göre değişimlerinde Şekil 4.2-4.47’de verilmiştir. Lam üzerine buharlaştırılmış yarıiletken kristallere baktığımızda, InSe, InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Cd ve InSe:Gd kristalleri için 60°C tavlama sıcaklığında, tavlama süresi arttıkça transmisyon faktörlerinin genelde arttığı, fakat InSe:Ag ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinde bu durumun tersi olduğu; InSe, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristalleri için 120°C tavlama sıcaklığında, tavlama süresi arttıkça transmisyon faktörlerinin genelde azaldığı, fakat InSe:Mn, InSe:Fe ve InSe:Ag yarıiletken kristalleri için tavlama süresiyle transmisyon faktörlerinin genelde arttığı; InSe:Mn, InSe:Fe, InSe:Cd, InSe:Sn ve InSe:Gd yarıiletken kristallerinde 180°C tavlama sıcaklığında, tavlama süresiyle transmisyon faktörlerinin genelde azaldığı, InSe ve InSe:Ag yarıiletken kristallerinde ise genelde arttığı; doğal haldeki InSe ve InSe:Sn yarıiletken kristallerinin ise transmisyon faktörlerinin tavlama süresi ve sıcaklığının artışıyla genelde azaldığı Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10’dan ayrıca Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.9, 4.12, 4.16, 4.17, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 4.46 ve 4.47’den görülmektedir. Bunu dikkate alarak Bridgman/Stockbarger metodu kullanılarak büyütülmüş doğal haldeki InSe ve InSe:Sn



yariletken kristallerinin uzun tavlama süresi ve yüksek tavlama sıcaklıklarına çıkıldığında genelde daha soğurucu hale geldikleri sonucuna varabiliriz. Bu durum bize, uzun tavlama süresi ve yüksek tavlama sıcaklığında yapılan tavlamanın numunenin kristal yapısında, yapısal olarak homojenliğin artmasına sebep olduğunu düşündürebilir. Lam üzerine buharlaştırılmış yariletken kristallerde, transmisyon katsayıları her durum için farklı özellikler sergilemiştir, yani her tavlama sıcaklığı için transmisyon faktörlerindeki değişimler, farklı kristallerde farklı etkiler oluşturmuştur. Burada önemli olan, bu kristallerin ihtiyaca göre, hangi amaç güdülüyorsa ona göre kullanılmasıdır. Mesela; daha soğurucu bir kristal isteniyorsa, transmisyon faktörlerinin azaldığı, daha geçirgen bir kristal isteniyorsa, transmisyon faktörlerinin arttığı tavlama sıcaklığı ve süreleri seçilmelidir. Lam üzerine buharlaştırılmış ve buharlaştırılmadan kullanılmış yariletken kristallerin kendi aralarında ve birbirleri arasında farklı tavlama sıcaklıklarında benzer değişimler gösterdiği Şekil 4.6, 4.7, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.15'den görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.7'de ise yariletken kristallerde bazı sıcaklıklardaki transmisyon faktörü değişimleri için paralellikler tespit edilmiştir. 320°C sabit tavlama sıcaklığındaki transmisyon faktörünün 0-60 dakika (0 dak numunenin tavlama süresiyle azaldığı 60-125 dakika aralığında ise arttığı Çizelge 4.13 ve Şekil 4.5'den görülmektedir. Buradan açıktır ki 60 dakika dönüm noktasıdır. Çünkü bu sıcaklık için 60 dakikadan önce ve 60 dakikadan sonra birbirine tamamen zıt giden bir değişim mevcuttur. Yariletken kristaller için transmisyon faktörlerinin değişiminin iyi gözlenebildiği sabit tavlama süresi 30 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre için değişimler, Şekil 4.8, 4.9, 4.14, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21'de gösterilmiştir. Sabit tavlama süresi (30 dak) için benzer değişimler, Şekil 4.8, 4.9, 4.14, 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'dan açıkça görülmektedir. Atom numarası ardışık veya birbirine yakın olan elementlerle katılanmış yariletken kristallerin transmisyon faktörlerinin benzer ve simetriğe benzer değişimleri, Şekil 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'dan açıkça görülmektedir. Büyük atom numaralı elementlerle katılanmış kristaller, küçük atom numaralılarla katılananlara göre daha fazla soğurucu özellik göstermişlerdir. Yani küçük atom numaralı ya da atom ağırlıklı elementler daha hızlı difüze olmaktadır (Arda 2001). Doğal veya tabii haldeki InSe için Çizelge 4.11, Şekil 4.20

ve InSe:Sn için ise Çizelge 4.12, Şekil 4.21 incelendiğinde, InSe yarıiletken kristali için transmisyon faktörleri düzensiz bir değişime sahiptir ve ayrıca 240°C’de başlangıçtaki durumuna göre, yani tavlamanmadan önceki durumuna göre transmisyon katsayısı azalmıştır, InSe:Sn yarıiletken kristalinin transmisyon faktörlerinde ise 120°C’ye kadar 40°C’lik sıcaklık değişimleriyle önce azalışlar, sonra artışlar olmuştur, 180°C’de ise başlangıçtaki duruma göre, yani tavlamanmadan önceki durumuna göre transmisyon katsayısının azaldığı görülmektedir. Lam üzerine buharlaştırılmış ve buharlaştırılmadan kullanılmış InSe:Sn yarıiletken kristalinin transmisyon faktörlerinin, tavlama sıcaklığı ve süresiyle genelde azaldığı Şekil 4.23 ve 4.29’dan açıkça görülmektedir. Lam üzerine buharlaştırılmamış InSe kristalinin transmisyon faktörlerinin tavlama sıcaklığı ve süresine göre genelde azaldığı Şekil 4.22’den, lam üzerine buharlaştırılmış InSe kristalinin ise transmisyon faktörlerinin sadece tavlama sıcaklığı 120°C’de azaldığı Şekil 4.24’den görülmektedir. Lam üzerine buharlaştırılmış ve buharlaştırılmadan kullanılmış yarıiletken kristal numunelerin transmisyon faktörlerinin 0, 50 ve 60 dak tavlama süresi ile değişimleri Şekil 4.34-4.38’de verilmiştir. Bu süreler dikkate alındığında 50-60 dak arasında çoğu numunelerde benzer değişimler olduğu sonucuna varılmıştır. Lam üzerine buharlaştırılmış numuneler için verilen grafiklerden Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36 incelendiğinde 50-60 dakika tavlama süresi aralığında tüm sıcaklıklar için transmisyon katsayısının genelde arttığı görülmektedir. Sadece InSe:Ag’nin 180 °C tavlama sıcaklığında 50-60 dak tavlama süresi arasındaki transmisyon katsayısı sabit kalmıştır. Lam üzerine buharlaştırılmadan kullanılmış yarıiletken kristal numuneler için verilen Şekil 4.37 ve 4.38 dikkate alınır InSe için 50-60 dak aralığında 250 ve 300°C tavlama sıcaklıkları hariç transmisyon faktörleri azalmıştır, InSe:Sn için ise 50-60 dak arasında 50°C tavlama sıcaklığı hariç transmisyon faktörleri azalmıştır yani yapı bu süreler için daha soğurucu hale gelmiştir.

Yarıiletkenlerin sıcaklığa bağlı olarak tavllanması birkaç olaya sebep olabilir:

Birincisi; yüksek sıcaklıklarda, yarıiletken maddeler katkılı karakteristiğini kaybeder ve daha çok asal yarıiletken gibi davranmaya başlar. Çünkü asal taşıyıcı konsantrasyonu ( $\eta_i$ ) sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonudur. Asal taşıyıcı konsantrasyonu için

$$\eta_i = N_c \exp \left[ \frac{-(E_c - E_{Fi})}{kT} \right] \quad (5.1)$$

yazılabilir. İfadedeki  $N_c$  iletkenlik bandındaki hallerin etkin yoğunluk fonksiyonu,  $E_c$  iletkenlik bandının tabanı ve  $E_{Fi}$  ise asal fermi seviyesini temsil etmektedir. Termal dengede, yarıiletken kristal elektriksel olarak nötrdür. Elektronlar değişik enerji halleri arasında dağılmıştır, negatif ve pozitif yükler vardır, fakat net yük yoğunluğu sıfırdır. Bu yük nötrallığı şartı, kirlilik katkı konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak termal denge elektron ve hol konsantrasyonlarını tayin etmede kullanılır. Bunun için termal-denge elektron konsantrasyonu

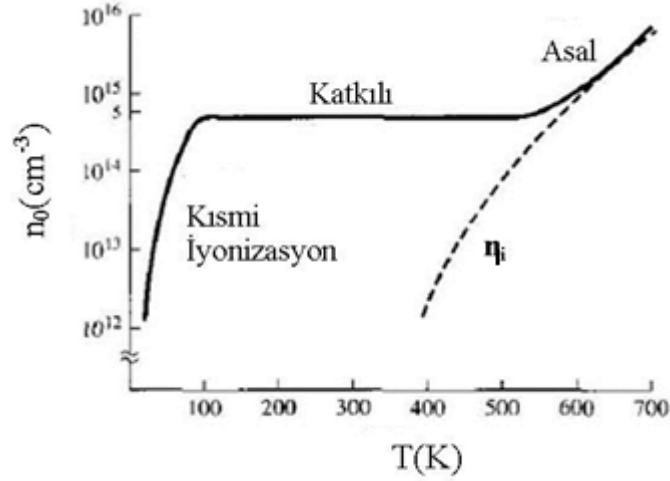
$$n_0 = \eta_i \exp \left[ \frac{E_F - E_{Fi}}{kT} \right] \quad (5.2)$$

yazılabilir. Formüldeki  $E_F$  fermi seviyesidir. Eğer  $E_F > E_{Fi}$  ise, o zaman  $n_0 > \eta_i$  ve  $p_0 < \eta_i$  olacaktır. Bu durum n-tipi yarıiletkenlere karşılık gelmektedir ve  $n_0 > p_0$  dir. Buradaki  $p_0$  , termal-denge boşluk konsantrasyonudur. Termal-denge elektron konsantrasyonu için başka bir ifade

$$n_0 = \frac{(N_d - N_a)}{2} + \sqrt{\eta_i^2 + \left( \frac{N_d - N_a}{2} \right)^2} \quad (5.3)$$

İfadedeki  $N_a$  akseptör hallerinin,  $N_d$  ise donör hallerinin konsantrasyonlarıdır. n-tipi yarıiletken için  $N_d > N_a$  dir. Asal taşıyıcı konsantrasyonu sıcaklığın çok kuvvetli bir fonksiyonudur. Sıcaklık arttığında, ilave elektron-hol çiftleri termal olarak oluşur, böylece denklem 5.3'deki  $\eta_i^2$  terimi baskın olmaya başlar. Bu yarıiletken sonunda katkılı karakteristiğini kaybeder. Şekil 5.1;  $\text{cm}^3$  başına  $5 \times 10^{14}$  donörle katkılanmış silisyumdaki sıcaklığa karşılık elektron konsantrasyonunu göstermektedir. Sıcaklık arttığında, asal konsantrasyonun baskın olmaya başladığı yeri görebiliriz (Neamen 2003). Ayrıca sıcaklık arttıkça kristal örgünün titreşimi artar ve kristal örgüsü genişler. Çoğu yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı küçülür. Bu ise soğurmanın uzun dalga boylu

bölgeye kaymasına sebep olur. Bunun dışında sıcaklığın artmasıyla birlikte kristaldeki elektron-fonon etkileşmesi artar.



**Şekil. 5.1.** Üç Bölgeyi (kısmi iyonizasyon, katkılı ve asal) gösteren sıcaklığa karşılık elektron konsantrasyonu

İkincisi; yarıiletkenlerde sıcaklığa bağlı olan taşıyıcı mobilitesini etkileyen fonon veya örgü saçılması ve iyonize olmuş kirlilik saçılması olabilir. Bir yarıiletken kristaldeki atomlar, mutlak sıfırın üzerindeki sıcaklıklarda belirli bir termal enerjiye sahiptirler ve bu enerji nedeniyle kristal içinde örgü atomları örgü pozisyonu civarında rastgele titreşim yaparlar. Örgü titreşimleri mükemmel periyodik potansiyel fonksiyonunda bir bozulmaya sebep olur. Bir katıdaki mükemmel periyodik potansiyel elektronların kristal boyunca engellenmeden veya saçılmadan hareket etmesine müsaade eder. Fakat termal titreşimler, örgü atomlarının titreşmesine veya elektronlar ve holler arasında bir etkileşmeye sebep olan potansiyel fonksiyonunun bozulmasına sebep olur. Bu örgü saçılması fonon saçılması olarak adlandırılır. Örgü saçılması atomların termal hareketleriyle ilgili olduğundan, meydana gelen saçılma hızı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Eğer sadece örgü saçılmasının mevcut olduğu durumda gözlenen mobilitiyi  $\mu_L$  olarak gösterirsek bu durumda saçılma teorisi;

$$\mu_L \propto T^{-3/2} \quad (5.4)$$

olduğunu ifade eder. Bu ifadeye göre, sıcaklık azaldığında bir saçılma olayının ihtimaliyetinin de azalacağını ima eden örgü titreşimlerinin azalmasını ve bu nedenle mobilitenin artmasını bekleriz. Çok az katkılanmış yarıiletkenlerde örgü saçılması baskındır ve taşıyıcı mobilitesi sıcaklıkla azalır.

Yarıiletkene ilave edilen kirlilik atomlarının yarıiletkenin karakteristiğini değiştirdiği veya kontrol ettiği bilinmektedir. Bu kirlilikler oda sıcaklığında iyonize olurlar ve böylece iyonize olmuş kirliliklerle elektronlar veya holler arasında bir Coulomb etkileşimi mevcut olur. Bu Coulomb etkileşmesi saçılmalara veya çarpışmalara yol açarak yük taşıyıcısının hız karakteristiklerini de değiştirir. Sadece iyonize olmuş kirlilik saçılmasının mevcut olduğu durumdaki mobilitayı  $\mu_I$  ile gösterirsek, o zaman

$$\mu_I \propto \frac{T^{3/2}}{N_I} \quad (5.5)$$

denklemini yazabiliriz. Burada  $N_I = N_d^+ + N_a^-$  yarıiletkendeki toplam iyonize olmuş kirlilik konsantrasyonudur. Eğer sıcaklık artarsa, iyonize olmuş kirlilik merkezinin etrafında taşıyıcının geçirdiği zaman azaldığından, bir taşıyıcının rastgele termal hızı artar. Bir Coulomb kuvveti civarında daha az zaman harcandığında, saçılma etkisinin daha küçük ve  $\mu_I$ 'nin değerinin daha büyük olması beklenir. Eğer iyonize olmuş kirlilik merkezlerinin sayısı artarsa, o zaman bir taşıyıcının bir iyonize olmuş kirlilik merkeziyle karşılaşma ihtimali artar ve bu da  $\mu_I$ 'nin daha küçük bir değere sahip olmasını gerektirir. Kirlilik konsantrasyonu arttığında, kirlilik saçılma merkezlerinin sayısı artar ve böylece mobilite azalır.

Üçüncüsü; oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara ( $> 300$  K) çıkıldığında asal taşıyıcı konsantrasyonu artar ve iletkenlikle birlikte elektron konsantrasyonu baskın olmaya başlar.

Dördüncüsü; asal taşıyıcı konsantrasyonu, 5.1, 5.2 ve 5.6 denklemlerinden görüldüğü üzere sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonu olduğundan Fermi enerji seviyesi  $E_F$  'de sıcaklığın bir fonksiyonudur:

$$E_F - E_{Fi} = kT \ln \left( \frac{n_0}{\eta_i} \right) \quad (5.6)$$

Sıcaklık artışıyla birlikte  $\eta_i$  artar ve  $E_F$  asal Fermi seviyesine yaklaşacak şekilde hareket eder. Yüksek sıcaklıklarda, yarıiletken madde katkılı karakteristiğini kaybetmeye ve daha çok asal yarıiletken gibi davranmaya başlar.

Beşincisi ise; kristaldeki atomlar sıcaklığın bir fonksiyonu olarak termal enerjiye sahiptirler. Bu termal enerji, atomların denge örgü noktası civarında rastgele titreşmesine sebep olur. Bu rastgele termal hareket, atomların mükemmel geometrik dizilimini bozar veya düzenli dizilmiş atomlar arasındaki mesafenin rastgele değişmesine de sebep olabilir. Bu örgü kusur olarak adlandırılır. Ayrıca kristal örgüde yabancı ya da kirlilik atomları mevcut olabilir. Kirlilik atomları normal örgü noktalarında olması gereken bir atomun yerine yerleşebilir. Yarıiletken maddelerin veya yarıiletken kristallerin ideal, kusursuz olması mümkün değildir. Bu maddeler için yukarıda sayılan kusur ve kirlilikler mevcuttur. Kirlilik atomları ve örgü kusurlarının etkisini minimuma indirmek için kristal gibi bir madde veya devre elemanı ısıya tabi tutulmaktadır. Tavlama (annealing) işlemi, denilen bu işlem sonunda, yapıdaki atomik düzensizlikler azalır ve daha düzenli bir faz oluşur (Neamen 2003).

Çalışmanın ikinci kısmı için sonuç ve öneriler;

- ❖ Çeşitli yarıiletken kristallerine ait transmisyon katsayılarının bu çalışmada verilen dar-şua geometrisiyle deneysel olarak ölçülebileceğini,
- ❖ Farklı kristaller, katkı tipleri, büyütme metotları, buharlaştırma yöntemleri, enerjiler ve buharlaştırma yüzeyleri için katkılı ve katkısız kristallerde yeni deneysel ölçümler

yapılabileceğini ve böylece literatüre zenginlik kazandırarak, bu yönde ki eksikliğin giderileceğini,

❖ İhtiyaca göre kullanılacak numuneler de hangi amaç güdülüyorsa ona göre tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı belirlenebileceği, öyleki amaç daha soğurucu bir numuneyse transmisyon faktörünü azaltacak yönde, daha geçirgen bir numuneyse de transmisyon faktörünü arttıracak yönde bir işlem yapılabileceğini,

❖ Benzer bir çalışmanın uygun bir soğutma geometrisinde tekrarlanabileceğini söylebiliriz.

Çalışmamızda deneysel hataların bertaraf edilmesi ya da minimum seviyeye indirilmesi için gerekli çaba sarf edilmiştir. İdeal bir transmisyon deneyinde bütün fotonlar paralel bir şua gibi soğurucu materyale gönderilmelidir. Fakat deneysel çalışmalarda her durumda sistematik, operasyonel vb. hatalar vardır. Bu hatalar; sayma istatistiği, soğurucunun bütünselliğinin olmaması, numunelerin kirlilik içermesi ve saçılan fotonların detektöre ulaşmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatalar için ortalama değerden sapmalar yüzde olarak  $I_0$  ve  $I$  ( $\leq 1,3$ ), numune kalınlığı ( $\leq 0,7$ ), numunenin kütlesi ( $\leq 0,2$ ), sistematik ( $\leq 0,8$ ), tavlama sıcaklığının belirlenmesinden kaynaklanan hata ( $\leq 0,83$ ) ve tavlama zamanının belirlenmesinden kaynaklanan hata ( $\leq 1,7$ ) olarak tespit edilmiştir. Yaptığımız çalışmada teorik ve deneysel değerlerin oranı ( $\leq 1,1$ ). Kütle soğurma katsayılarındaki maksimum hatalar gelen  $I_0$  ve  $I$  geçen foton şiddetleri ile numune kalınlığı ( $t$ ) kullanılarak aşağıdaki formülden hesaplanmıştır;

$$\Delta\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \frac{1}{t} \sqrt{\left(\frac{\Delta I_0}{I_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\ln \frac{I_0}{I}\right)^2 \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2} \quad (5.7)$$

eşitlikte  $\Delta I_0$ ,  $\Delta I$  ve  $\Delta t$  sırasıyla  $I_0$ ,  $I$  ışın şiddetleri ile  $t$  numune kalınlığının hatalarını temsil etmektedir. Deneysel hatalar 5.7 eşitliği yardımıyla hesaplandıktan sonra  $\pm$  olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir. Teorik ve deneysel değerler arasındaki rölatif fark WinXCom için  $\% -9,4$ ;  $\% +11,9$  iken, FFAST için  $\% -11,8$ ;  $\% +11,7$ ’dir.

**KAYNAKLAR**

- Abdinov, A. Sh., Babaeva, R. F., Rzaev, R. M., 2012. Electric Field Effect on Photoconductivity Decay in  $n$ -InSe Single Crystals, *Inorganic Materials*, 48(8), 781-785.
- Ahmadi M., Lunscher N., Yeow J. T. W., 2013. Effective atomic numbers and electron densities of bacteriorhodopsin and its comprising amino acids in the energy range 1 keV–100 GeV, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 300, 30–34.
- Andrews, J. E., Brimblecombe, P., Jickells, T. D., Liss, P. S., Reid, B. J., 2004. An introduction to environmental chemistry (2nd ed.). 298 p, Oxford: Blackwell Science.
- Angelone, M., Bubba, T., Esposito, A., 2001. Measurement of the mass attenuation coefficient for elemental materials in the range  $6 \leq Z \leq 82$  using X-rays from 13 up to 50 keV. *Applied Radiation and Isotopes*, 55(4), 505-511.
- Arda, E., 2001. Organik ve Su Bazlı Latekslerden Film Oluşumunun Foton Geçirme ve Yansıtma Teknikleri ile İncelenmesi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Avşaroğlu, D., İnal, T., C., Demir M., Atilla G., Acartürk E., Evlice Y., E., Kayrın, L., 2005. Biochemical Indicators and Cardiac Function Tests in Chronic Alcohol Abusers. *Croatian Medical Journal*, 46, 233–237.
- Baltej, S. S., Dhaliwal, A. S., Mann, K. S., Kahlon, K. S., 2012. Study of Mass Attenuation Coefficients, Effective Atomic Numbers and Electron Densities for Some Low Z Compounds of Dosimetry Interest at 59.54 keV Incident Photon Energy. *Annals of Nuclear Energy*, 42, 153-157.
- Barile, F. A. 2003. *Clinical toxicology: Principles and mechanisms*. Boca Raton: Informa HealthCare, 441 p, CRC Press.
- Berg, J., Tymoczko, J., Stryer, L. 2002. *Biochemistry*, 1024 p, New York: W.H. Freeman and Company.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., 1987–1999. Xcom: Photon Cross Sections Database. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA. Web version 1.2. Available from: <http://physics.nist.gov/xcom> Originally published as NBSIR 87-3597 “XCOM: Photon Cross Section on a Personal Computer”.
- Bona, M. A., Castellano, M., Plaza, L., Fernandez, A., 1992. Determination of heavy metals in human liver. *Human and Experimental Toxicology*, 11(5), 311–313.
- Bouzouita, H., Bouguila N., Duchemin, S., Fiechter, S., Dhouib, A., 2002. Preparation and characterization of In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin films. *Renewable Energy*, 25, 131-138.
- Bradley, D. A., Ghose, A. M., 1984. Photon Scattering in Biomedically Important Elements. *Phys. Med. Biol*, 29(11), 1385-1397.
- Bradley, D. A., Roy, S. C., Kissel, L., Pratt, R. H., 1999. Anomalous Scattering Effects in Elastic Photon-Atom Scattering from Biomedically Important Elements. *Radiat. Phys. Chem*, 56(1-2), 175-195.



- Carvalho, M. L., Magalhaes T., Becker M., Von Bohlen A., 2007. Trace elements in human cancerous and healthy tissues: A comparative study by EDXRF, TXRF, synchrotron radiation and PIXE. *Spectrochimica Acta Part B*, 62(9), 1004-1011.
- Cesur, S., Cebeci, S., A., Kavaş, G., O., Aksaray, S., Tezeren, D., 2005. Serum Copper and Zinc Concentrations in Patients with Chronic Hepatitis, *British Journal of Infection Control*, 51, 38–40.
- Chanthima, N., Kaewkhao, J., 2012. Calculation Of Mass Attenuation Coefficient And Related Parameters Of BaO-SiO<sub>2</sub> Glass System By WinXCom And FFAST, 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38), Thailand.
- Chantler, C.T., Olsen, K., Dragoset, R.A., Chang, J., Kishore, A.R., Kotochigova, S.A., Zucker, D.S., 2005. X-ray form factor, attenuation and scattering tables (Version 2.1). National Institute of Standards and Technology.
- Choi, In.H., Peter Y. Yu., 2003. Properties of phase-pure InSe films prepared by metalorganic chemical vapor deposition with a single-source precursor. *Journal of Applied Physics*, 93 (8), 4673-4677.
- Cook, C., C., H., Walden, R. J., Graham, B., Gillham, C., Davies, S., Prichard, B. N. C., 1991. Trace Element and Vitamin Deficiency in Alcoholic and Control Subjects, *Alcohol and Alcoholism*, 26, 541–548.
- Da Silva, J. J. R. F., Williams, R. J. P. 1991. *The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life*. Oxford: Clarendon Press, 561 p, ISBN 0-19-855598-9.
- Dabrowska, E., Jablonska-Kaszewska, I., Lukasiak, J., Dorosz, A., Falkiewicz, B., 2000. Abnormalities in Serum Copper and Iron Concentrations in Porphyria Cutanea Tarda Patients and Their Relationships with Other Parameters, *BioFactors*, 11, 135–137.
- Darwish, A., A., A., El-Nahass, M., M., Bahlol, M., N., 2013. Structural and electrical studies on nanostructured InSe thin films, *Applied Surface Science*, 2716, 210-216.
- Delves, H., T., 1982. Some clinical aspects of trace-elements, *Ann. Clin. Biochem*, 19, 302–306.
- Durlu, T., N., *Katihal Fiziğine Giriş*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, 1992.
- Eisa, M. H., Shen, H., Yao, H. Y., Mi, Y., Zhou, Z. Y., Hu, T. D., Xie, Y. N., 2005. Studies on Absorption Coefficient Near Edge of Multi Elements. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 96(3-4), 503-511.
- El-Sersy, A. R., Hussein, A., El-samman, H. M., Khaled, N. E., El-Adawy, A., Donya, H., 2011. Mass Attenuation Coefficients of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> Glass System at 0.662 and 1.25 MeV Gamma Energies. *J Radioanal Nucl Chem*, 288(1), 65-69.
- Erzeneoğlu, S., İçelli, O., Gürbulak, B., Ateş, A., 2006. Measurement of mass attenuation coefficients for holmium doped and undoped layered semiconductors InSe at different energies and the validity of mixture rule for crystals around the absorption edge. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 102, 343-347.

- Fredricks, R. E., Tanaka, K. R., Valentine, W. N., 1960. Zinc in human blood cells: Normal Values and Abnormalities Associated with Liver Disease, *Journal of Clinical Investigation*, 39, 1651–1656.
- Fuentealba, I. C., Aburto, E., M., 2003. Animal Models of Copper-Associated Liver Disease, *Comparative Hepatology*, 2(5), 1-12.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., Levring, H., 2001. X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM. *Radiat. Phys. Chem.* 60, 23–24.
- Gillian, L., Jack, D., F., Benjamin, G., David, E., N., Patrick, J., P., John, S., 1997. NCCLS, Control of pre-analytical variation in trace element determinations; approved guideline. Pennsylvania 19087 USA.
- Glover, J. L., Chantler, C. T., Barnea, Z., Rae, N. A., Tran, C. Q., 2010. Measurement of the X-ray Massattenuation Coefficients of Gold, Derived Quantities Between 14 keV and 21 keV and Determination of the Bond Lengths of Gold. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys*, 43(8), 1-15.
- Gowda, S., Krishnaveni, S., Gowda, R., 2005. Studies on effective atomic numbers and electron densities in amino acids and sugars in the energy range 30-1333 keV, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 239(4), 361-369.
- Günaydın, N., 2005. Uzun Süreli Alüminyum Kaplarda Yapılan Yoğurtlarla Beslenenlerde Plazma Alüminyum Seviyeleri ile Oksidatif Durum Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Y.Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Gürbulak, B., 1997. İkili (InSe, InSe;Er, GaSe, GaSe;Gd) ve Üçlü (TlGaSe<sub>2</sub>;Gd) Tek Kristallerin Büyütülmesi Soğurma ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Halifeoğlu, I., Gür, B., Aydın, S., Öztürk, A., 2004. Plasma Trace Elements, Vitamin B12, Folate, and Homocysteine Levels in Cirrhotic Patients Compared to Healthy Controls, *Biochemistry (Moscow)*, 69, 693–696.
- Hendee, W., R., Ritenour, E., R., 2002. *Medical Imaging Physics(Fourth Edition)*, Printed in the United States of America, 502 p, New York.
- İçelli, O., 2002. Bazı Bileşikler ve Kristallerde Lineer Diferansiyel Saçılma Katsayılarının Açısız Dağılımının Ölçülmesi ve Etkin Atom numarasına Göre Değişiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- İçelli, O., Erzeneoğlu, S., 2004. The mass attenuation coefficients in some vanadium and nickel compounds, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radioactive Transfer* 88, 519–524.
- İçelli, O., Erzeneoğlu, S., Boncukçuoğlu, R., 2003. Measurement of mass attenuation coefficients of some boron compounds and the trommel sieve waste in the energy range 15.746- 40.930 keV, *JQSRT* 78, 203-210.
- İçelli, O., Erzeneoğlu, S., Gürbulak, B., 2005b. Mass Attenuation Coefficients for n-type InSe, InSe:Gd, InSe:Ho and InSe:Er Single Crystals. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 90(3-4), 399-407.
- İçelli, O., Erzeneoğlu, S., Karahan İ. H., Çankaya G., 2005a. Effective Atomic Numbers for CoCuNi Alloys Using Transmission Experiments. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 91(4), 485-491.

- Jackson D.F., Hawkes D.J., 1981, X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Physics Reports*, 70, 169–233.
- Jakubowski, M., Trzcinka-Ochocka, M. 2005. Biological monitoring of exposure: Trends and key developments. *Journal of Occupational Health*, 48, 22–48.
- Johnston, D., E., 1999. Special Considerations in Interpreting Liver Function Tests. *American Family Physician*, 59, 1–11.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 1999. Biogeochemistry of trace elements (Biogeochemia pierwiastko'w s'ladowych, in Polish), 11p, Warsaw: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kerur, B. R., Thontadarya, S. R., Hanum, B., 1994a. Anomalous X-ray attenuation coefficients around the absorption edges using Mn K $\alpha$  and Cu K $\alpha$  X-rays, *Appl Radiat Isot* 2, 159-163.
- Kerur, B. R., Thontadarya, S. R., Hanumaiah, B., 1993. X-ray attenuation coefficients at 6.46 keV and the validity of the mixture rule for compounds. *X-Ray Spectrom.* 22, 13-16.
- Kerur, B. R., Thontadarya, S. R., Hanumaiah, B., 1994b. A Study on the range of Nonvalidity of the Bragg's Additivity Law for Compounds at Photon Energies Below 10 keV. *Appl. Isot*, 43, 893.
- Kuczyn'ska, J., Biziuk, M. 2007. Selenium biochemistry and its monitoring in biological samples. *Ecological Chemistry and Engineering*, 14(51), 47–64.
- Kulwinder, S. M., Jyoti, S., Vipani, K., Gurdeep, S. S., 2012. Investigations of Mass Attenuation Coefficients and Exposure Buildup Factors of Some Low-Z Building Materials. *Annals of Nuclear Energy*, 43, 157-166.
- Kumar, T., K., Venkataratnam, S., Reddy, K., V., 1996. Effective atomic number studies in clay minerals for total photon interaction in the energy region 10 keV-10 MeV. *Radiat, Phys. Chem.*, 48(6), 707-710.
- Kurudirek, M., Aygün, M., Erzeneoğlu, S., 2010. Chemical Composition, Effective Atomic Number and Electron Density Study of Trommel Sieve Waste (TSW), Portland Cement, Lime, Pointing and their Admixtures with TSW in Different Proportions. *Applied Radiation and Isotopes*, 68(6), 1006-1011.
- Lakshminarayana, V., Tan, A. T. L., Giles, I. S., Rajaratnam, A., 1986. Gamma ray cross section close to absorption edge in some bromides. *Nuovo Cimento* 91 A, 331.
- Latha, P., Vinodkumar, A.M., Varier, K.M., Babu, B.R.S., Joseph, A., Abdullah, K.K., Unnikrishnan, M.P., 2012. Effective atomic numbers for gamma ray interaction at 59.54 keV in heterogeneous layers of materials using <sup>241</sup>Am gamma rays. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(12), 1817–1822.
- Law, R., J., 1996. Metals in marine mammals. In *Environmental contaminants in wildlife: Interpreting tissue concentrations*, W. N. Beyer, G. H. Heinz and A. W. Redmon-Norwood (eds.). Lewis Publishers, 47 p, Boca Rotan, Florida.
- Limkitjaroenporn, P., Kaewkhao J., Asavavisithchai S., 2013. Determination of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for Inconel 738 alloy for different energies obtained from Compton scattering, *Annals of Nuclear Energy* 53, 64–68.

- Lucyna, L., P., Mariola, J., Monika, J., F., Andrzej, K., 2011. Bioelements and mineral matter in human livers from the highly industrialized region of the Upper Silesia Coal Basin (Poland), *Environ Geochem Health*, 33(6), 595-611.
- Manjunatha, H., C., Rudraswamy, B., 2013. Study of Effective Atomic Number and Electron Density for Tissues from Human Organs in the Energy Range of 1 keV-100 GeV, *Health Physics*, 104(2), 158-162.
- Manohara, S. R., Hanagodimath, S. M., Thing, K. S., Gerward, L., 2010. The effective atomic number revisited in the light of modern photon-interaction cross-section databases, *Applied Radiation and Isotopes* 68(4-5), 784-787.
- Marashdeh, M. W., Bauk, S., Tajuddin, A. A., Hashim, R., 2012. Measurement of Mass Attenuation Coefficients of Rhizophoraspp. Binderless Particleboards in the 16.59–25.26 keV Photon Energy Range and their Density Profile Using X-ray Computed Tomography. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(4), 656-662.
- Medhat, M. E., 2012. Study of the Mass Attenuation Coefficients and Effective Atomic Numbers in Some Gemstones. *J Radioanal Nucl Chem*, 293(2), 555-564.
- Meites S., 1989. *Pediatric clinical chemistry*, 3rd ed. Washington, DC: American Association for Clinical Chemistry, 352 p, Washington.
- Menesguen, Y., Lepy, M. C., 2010. Mass Attenuation Coefficients in the Range  $3.8 \leq E \leq 11$  keV, K Fluorescence Yield and  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  Relative X-ray Emission Rate for Ti, V, Fe, Co, Ni, Cu and Zn Measured with a Tunable Monochromatic X-ray Source. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268(16), 2477-2486.
- Menke, A., Muntner, P., Silbergeld, E. K., Platz, E. A., Gullar, E., 2009. Cadmium levels in urine and mortality among US adults. *Environmental Health Perspectives*, 117, 190–196.
- Mooser, E., Ed., *Physics and Chemistry of Material With Layered Structure* (Riedel, Dordrecht, 1976).
- Moss, C.E., Favalli, A., Goda, J.M., Ianakiev, K.D., Lombardi, M., McCluskey, C.W., Paffett, M.T., Swinhoe, M.T., 2013. New technology for transmission measurements in process pipes, *Applied Radiation and Isotopes* 72, 89-95.
- Murray, R. K., Rodwell, V. W., Bender, D., Botham, K. M., Weil, P. J., Kennelly, P. J., 2009. *Harper's illustrated biochemistry* (28th ed.), 704 p, New York: McGraw-Hill Medical.
- Murty, R. C., 1965. Effective atomic numbers of heterogeneous materials. *Nature* 207, 398–399.
- Nayak, G. N., Vijaya, M. G., Siddappa, K., 2001. Effective Atomic Numbers of Some Polymers and Other Materials for Photoelectric Process at 59,5 keV. *Radiat. Phys. Chem.* 61(3-6), 559-561.
- Neamen, D. A., *Semiconductor Physics and Devices Basic Principles*, Third Edition, University of New Mexico, 2003.
- Noaker, L. J., Washabau, R. J., Detrisac, C. J., Heldmann, E., Hendrick, M. J., 1999. Copper Associated Acute Hepatic Failure in a Dog, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 214, 1502–1506.
- Olguin, D., Canterero, A., Syassen, U.K., 2003. Effect of Pressure on Structural properties and Energy Band Gaps  $\gamma$ -InSe. *Phys. Stat. Sol. B*, 235(2), 456-463.

- Parasad, S., G., Parthasaradhi, K., Bloomer, W., D., 1998. Effective atomic numbers for photoabsorption in alloys in the energy region of absorption edges. *Radiation Physics and Chemistry*, 53(5), 449-453.
- Parsons P. J., Barbosa F. J., 2007. Atomic spectrometry and trends in clinical laboratory medicine. *Spectrochimica Acta*, 62(9), 992–1003.
- Patrick, D. G., Willie, E., M., Phillip, S., Mary, S., Kevin, K., Michael, D. H., Wixon, H. N., 1901. Note on the X-Ray Attenuation Databases: Comparison of FFAST & XCOM. U.S, <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayNoteB.html> (04.02.2014).
- Patrick, J. P., Fernando, B. J., 2007. Atomic Spectrometry and Trends in Clinical Laboratory Medicine. *Spectrochimica Acta Part B*, 62(9), 992-1003.
- Pawlikowski, M., 2003 Minerals in human blood vessels and their dissolution in vitro. In H. C. W. Skinner & A. R. Berger (Eds.), *Geology and health: Closing the gap* 3p, Oxford University Press: Oxford.
- Pellicer-Pores, J., Segura, A., Ferrer, Ch., Munoz, V., San Miguel, A., Polian, A., Itie, J.P., Gauthier, M., Pascarelli, S., 2002. High-pressure X-ray-absorption study of GaSe, *Phys. Rev. B*, 65(17), pp. 174103-7.
- Pereira, M. O., Carvalho Conti, C., Anjos, M., J., Lopes, R. T., 2012. Correction of Radiation Absorption on Biological Samples Using Rayleigh to Compton Scattering Ratio. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 280(1), 39-44.
- Pramoolsinsap, C., Promvanit, N., Kominder, S., Lerdverasirikul, P., Srianujata, A S., 1994. Serum Trace Metals in Chronic Viral Hepatitis and Hepatocellular Carcinoma in Thailand, *Journal of Gastroenterology*, 29, 610–615.
- Prasad, M. N. V., Sajwan, K. S., Naidu, R. 2006. Trace elements in the environment: Biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation. 726 p, Boca Raton: CRC Press. Taylor and Francis Group.
- Pravina, P. P., Govind, K. B., 2011. Effective Atomic Numbers and Elektron Densities of Amino Acids Containing H, C, N and O. *Archives of Physics Research*, 2(4), 94-103.
- Rawson, A. J., Patton, G., W., Hofmann, S., Pietra, G., G., Johns, L., 1993. Liver Abnormalities Associated with Chronic Mercury Accumulation in Stranded Atlantic Bottlenose Dolphins, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 25, 41–47.
- Rose, S., Mileusnic, R. 1999. *The chemistry of life*. Harmondsworth: Penguin Press Science. 413 p, ISBN 0-14-027273-9.
- Samur, G., 2008. Vitaminler Mineraller ve Sağlığımız, Hacettepe Üniversitesi – Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 32 s, Ankara, Türkiye.
- Savory, J., Wills, M., R., 1992. Trace-metals — essential nutrients or toxins, *Clin. Chem.* 38(8), 1565–1573.
- Seeger, K., 1982. *Semiconductor Physics*. Springer Berlag in Berlin, 462 p, New York.
- Segura A., Guesdon, J., P., Besson, J., M., Chevy, A., 1983. Photoconductivity and photovoltaic effect in indium selenide, *Journal of Applied Physics*, 54(2), 876-889.
- Sen, S.S., Biswas, N.N., Khan, K.A., 2000. Temperatura effect on the electirical and optical properties of indium-selenide thin-films. *Applied Energy*, 65, 51-58.

- Singh, K., Kaur, R., Vandana, Vijay Kumar, 1996. Study of effective atomic numbers and mass attenuation coefficients in some compounds, *Radiat. Phys. Chem.*, 47(4), 535-541.
- Soetan, K. O., Olaiya, C. O., Oyewole, O. E., 2010. The Importance of Mineral Elements for Humans, Domestic Animals and Plants: A Review. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200-222.
- Sorensen, K., C., Watson, S., V., Ridgway, S., H., 2008. Trace and Non-Trace Elements in Blood Cells of Bottlenose Dolphins (*Tursiops Truncatus*): Variations with Values from Liver Function Indicators, *Journal of Wildlife Diseases*, 44(2), 304-317.
- Söğüt, O., Seven, S., Baydaş, E., Büyükkasap, E., Küçükönder, A., 2001. Effects on  $K\beta/K\alpha$  X-Ray Intensity Ratios of Mo, Ag, Cd, Ba, La, Ce Compounds and total mass attenuation coefficients of Fe and Cu, *Spectrochim Acta B* 56, 1367-1374.
- Suzuki, K., Oyama, R., Hayashi, E., Arakawa, Y. 1996. Liver Disease and Essential Trace Elements, *Nihon Rinsho*, 54, 85-92.
- Süleyman, Y., Schuppan, D., Müller, V., Schellerer, V., Tannapfel, A., Hohenberger, W., Meyer, T., 2005. Successful Treatment of Hepatitis Creinfection with Interferon-a2b and Ribavirin After Liver Transplantation A Long Term Followup, *In Liver International*, 25(4), 717-722.
- Şata, M., 2012. InSe ve InSe:Ag İkili Bileşiklerin Büyütülmesi ve Yapısal Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Tan, A. T. L., Lakshminarayana, V., Giles, I. S., Rajaratnam, A., 1988. Photon cross sections measurements at low energies in some bromides. *Nuova Cimento* 99 A, 587.
- Thomas, L., 1998. *Clinical Laboratory Diagnostics: Use and Assessment of Clinical Laboratory Results*. TH Books, Publisher: Amer Assn for Clinical Chemistry, 1527, Frankfurt.
- Thornburg, L., P., 2000. A Perspective on Copper and Liver Disease in The Dog, *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 12, 101-110.
- Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Büyükkasap, E., Ertuğrul M., 2002. X-Ray attenuation coefficients at different energies and the validity of the mixture rule for compounds around the absorption edge. *Spectrochimica Acta Part B*, 57(2), 261-266.
- Van Gossum, A., Neve, J., 1998. Trace Element Deficiency and Toxicity, *Current Opinions in Clinical Nutrition Metabolism Care*, 1, 499-507.
- Versieck, J., 1985. Trace Elements In Human Body Fluids and Tissues, *Crc Critical Reviews In Clinical Laboratory Sciences*, 22(2), 97-184.
- Vishwanath, P. S., Nagappa, M. B., 2012. Effective Atomic Numbers, Electron Densities, and Tissue Equivalence of some Gases and Mixtures for Dosimetry of Radiation Detektors. *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 27(2), 117-124.
- Walravens, P. A., 1979. Zinc Metabolism and its implications in Clinical Medicine (Clinical Nutrition Symposium), *Western Journal of Medicine*, 130, 133-142.
- Webb, C. B., Twedt, D., C., Meyer, D., J., 2002. Copper-Associated Liver Disease in Dalmatians: A review of 10 Dogs (1998-2001), *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 16, 665-668.

Zheng Y, Li X K, Wang Y, Cai L., 2008. The role of zinc, copper and iron in the pathogenesis of diabetes and diabetic complications: Therapeutic effects by chelators, *Hemoglobin*, 32(1-2), 135–145.

## ÖZGEÇMİŞ

Erzurum doğumlu olan Burcu AKÇA, ilk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı ve aynı yıl doktora çalışmalarına başladı.