

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİZMUT OKSİT-KURŞUN Klorür-TELLÜR OKSİT
SİSTEMİNİN ISIL, OPTİK VE YAPISAL AÇIDAN İNCELENEREK
CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ VE
CAMLARIN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

VOLKAN AKILLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ ERÇİN ERSUNDU**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİZMUT OKSİT-KURŞUN Klorür-TELLÜR OKSİT
SİSTEMİNİN ISIL, OPTİK VE YAPISAL AÇIDAN İNCELENEREK
CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ VE
CAMLARIN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Volkan AKILLI tarafından hazırlanan tez çalışması 09.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali Erçin ERSUNDU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ali Erçin ERSUNDU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Süheyla AYDIN

İstanbul Teknik Üniversitesi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün FYL-2018-3353 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca değerli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, bana ışık tutan, bana benden fazla güvenip, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu zorlu yolda bana sürekli doğru yolu gösteren ve devam etmemi sağlayan, yeri geldiğinde kızan, yeri geldiğinde güldüren, sonsuz sabırlı, çok sevgili ve değerli hocam Doç. Dr. Ali Erçin ERSUNDU'ya,

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan ve günlük hayatta pozitif enerjisini ve düşüncelerini bizimle paylaşan çok sevgili ve değerli hocam Doç. Dr. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU'ya

Lisans ve Lisansüstü öğrenim hayatım boyunca engin bilgilerinden yararlandığım Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği öğretim üyelerine,

Yüksek Lisans tez çalışmam sırasında çalışma fırsatı bulduğum, benden yardımlarını hiç esirgemeyen, çalışmalarımda büyük bir özveri ile bana yardımcı olan ve çalışmalarımda büyük katkısı olan ve çalışmaktan çok keyif aldığım değerli arkadaşım Yük. Met. Müh. Orhan KIBRISLI'ya

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca bana destek veren ve yardımlarını esirgemeyen, laboratuvar ortamını eğlenceli hale getiren değerli çalışma arkadaşlarım Nuşik GEDİKOĞLU, Erdinç EROL, Onat BAŞAK, Naji VAHEDI GHAREHCHOPOGH ve diğer Y.T.Ü Cam Araştırma Grubu üyelerine,

Lisans üstü çalışmalarım sırasında FYL-2018-3353 numaralı proje kapsamında sağladıkları maddi destekten ötürü Y.T.Ü BAP koordinatörlüğüne,

Hayatımda olmalarından büyük keyif aldığım, iyi ki tanıdığım dediğim, iyi günümde, kötü günümde yanımda olan, benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Hüseyin Onur TOPÇU, Ahmed YILMAZ, Deniz TÜRKMEN ve Ertürk ÇOŞKUN'a

Son olarak, varlıkları ile hayattaki en büyük şansım olduğuna inandığım, koşulsuz sevgi, emek ve güvenleri ile beni bugünlere getiren, verdiğim her kararda bana olan desteklerini esirgemeyen, her koşulda arkamda duran abim Berkan AKILLI, kardeşim Yakup Gürkan AKILLI ve çocukları olmaktan gurur duyduğum annem ve babam Aysel ve Zeynel Şenol AKILLI başta olmak üzere tüm aileme,

Sonsuz teşekkürlerimle...

Mayıs, 2019

Volkan AKILLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	v
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Orijinal Katkı.....	3
BÖLÜM 2	
TEORİK BİLGİ	4
2.1 Radyasyonun Tanımı	4
2.2 İyonlaştırıcı Radyasyonun Türleri	6
2.2.1 Alfa Parçacıkları	6
2.2.2 Beta Parçacıkları	6
2.2.3 Nötronlar.....	6
2.2.4 Gama Işınları.....	7
2.2.5 X-Işınları.....	7
2.3 Radyasyon Madde Etkileşimi	8
2.3.1 Yüklü Parçacıklar.....	8
2.3.1.1 Ağır Yüklü Parçacıklar	9
2.3.1.2 Hafif Yüklü Parçacıklar	9
2.3.2 Yüksüz Parçacıklar.....	11
2.3.2.1 Fotonlar	11
2.3.2.2 Elastik Saçılma	13
2.3.2.3 İnelastik Saçılma	14
2.3.2.4 Nötronların Soğrulması.....	15

2.4 Radyasyondan Korunma Yolları	15
2.5 Radyasyon Zırhı Olarak Kullanılan Malzemeler.....	16
2.5.1 Beton	17
2.5.2 Kurşun levha	17
2.5.3 Camlar	17
2.6 Camların Radyasyon Zırhı Olarak Kullanımı	18
BÖLÜM 3	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1 Numunelerin Sentezlenmesi	21
3.2 Numunelerin X-ışınları Karakterizasyonu	25
3.3 Numunelerin Optik Karakterizasyonu	25
3.4 Numunelerin Isıl Karakterizasyonu	25
3.5 Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	26
3.6 Numunelerin Yapısal Karakterizasyonu	27
3.7 Numunelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi	27
BÖLÜM 4	
DENEYSEL SONUÇLAR	30
4.1 B5P5T90 Cam Numunesi.....	30
4.2 B10P10T80 Cam Numunesi.....	35
4.3 B5P20T75 Cam Numunesi.....	41
4.4 B10P20T70 Cam Numunesi.....	46
4.5 B20P10T70 Cam Numunesi.....	52
4.6 B15P15T70 Cam Numunesi.....	57
4.7 B15P20T65 Cam Numunesi.....	63
4.8 B10P30T60 Cam Numunesi.....	68
4.9 B10P40T50 Cam Numunesi.....	74
BÖLÜM 5	
DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI	80
5.1 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sisteminin Camlaşma Davranışı	80
5.2 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Optik Özelliklerinin Yorumlanması	82
5.3 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Isıl Özelliklerinin Yorumlanması	83
5.4 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin Yorumlanması	85
5.4.1 10Bi ₂ O ₃ -xPbCl ₂ -(90-x)TeO ₂ (Rota 1) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması	85
5.4.2 xBi ₂ O ₃ -xPbCl ₂ -(100-2x)TeO ₂ (Rota 2) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması	87
5.4.3 xBi ₂ O ₃ -20PbCl ₂ -(80-x)TeO ₂ (Rota 3) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması	88
5.4.4 xBi ₂ O ₃ -(30-x)PbCl ₂ -70TeO ₂ (Rota 4) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması	89

5.5 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Yapısal Özelliklerinin Yorumlanması	91
5.6 Bi ₂ O ₃ -PbCl ₂ -TeO ₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması	93
5.6.1 10Bi ₂ O ₃ -xPbCl ₂ -(90-x)TeO ₂ (Rota 1) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması	93
5.5.2 xBi ₂ O ₃ -xPbCl ₂ -(100-x)TeO ₂ (Rota 2) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması	96
5.5.3 xBi ₂ O ₃ -20PbCl ₂ -(80-x)TeO ₂ (Rota 3) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması	98
5.5.4 xBi ₂ O ₃ -(30-x)PbCl ₂ -70TeO ₂ (Rota 4) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması	101
5.5.5 Tüm Cam Numunelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Karşılaştırılması	103
BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ	125

SİMGE LİSTESİ

μ	Lineer azaltma katsayısı
C	Toplam oksijen sayısı
D	Radyasyon şiddeti
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
I	Hedef malzemeden çıkan foton şiddeti
I'	Spesifik gama ışını sabiti
I_0	Hedef numuneye gelen foton şiddeti
M_i	i bileşeninin molekül ağırlığı
N_A	Avogadro sayısı
R	Maddenin kaynağa olan uzaklığı
UV	Mor ötesi
VIS	Görünür bölge
X	Mesafe
x	Numune kalınlığı
XRD	X-ışınları difraksiyonu
z_i	i elementinin atom numarası
α	Alfa
β	Beta
β^+	Pozitron
γ	Gama
Δt	Geçen süre
ΔT	Isıl kararlılık
ΔX	Maruz kalınan doz miktarı
ρ	Yoğunluk
σ_a	Toplam atom tesir kesiti
σ_e	Toplam elektron tesir kesiti

KISALTMA LİSTESİ

ALARA	Makul olarak gerçekleştirilebilecek ölçüde düşük (As Low As Reasonably Achievable)
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
ICRP	Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu
KAK	Kütle azaltma katsayısı
KeV	Kilo elektron volt
kV	Kilovolt
LAK	Lineer azaltma katsayısı
mA	Miliamper
MeV	Mega elektron volt
N_{etk}	Etkin elektron yoğunluğu
OPD	Oksijen paketlenme yoğunluğu
OSY	Ortalama serbest yol
tbp	Üçgensel çift piramit
T_c	Kristalizasyon başlangıç sıcaklığı
T_g	Cam geçiş sıcaklığı
T_p	Kristalizasyon pik sıcaklığı
tp	Üçgensel piramit
V_m	Molar hacim
V_o	Oksijen molar hacim
YDK	Yarı değer kalınlık
Z_{etk}	Etkin atom numarası

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Elektromanyetik spektrum5
Şekil 2. 2	Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranı5
Şekil 2. 3	X-ışını oluşum mekanizması8
Şekil 2. 4	Parçacığın rotasından sapması a) uzak geçen parçacık b) yakın geçen parçacık10
Şekil 2. 5	Alfa ve beta parçacıklarının malzeme içerisinde kat ettiği mesafe10
Şekil 2. 6	Atom numarasına ve fotonun enerjisine bağlı olarak fotonların madde ile etkileşimi sonucu oluşan mekanizmalar12
Şekil 2. 7	Nötronun çekirdek ile yaptığı elastik saçılma14
Şekil 2. 8	Nötronun çekirdek ile yaptığı inelastik çarpışma14
Şekil 2. 9	Fisyon olayının şematik gösterimi15
Şekil 3. 1	Sentezlenen numunelerin bileşim diyagramı üzerinde gösterimi.....22
Şekil 3. 2	Hassas terazide toz tartımı ve agat havan içerisinde tozun karşılaştırılması23
Şekil 3. 3	Ergitme döküm yöntemiyle numune üretimi.....24
Şekil 3. 4	Cam numune yüzeyleri a) zımpara öncesi b) zımpara sonrası25
Şekil 3. 5	XCOM yazılımı parametre girişleri27
Şekil 4. 1	B5P5T90 numunesinin makro görüntüsü.....30
Şekil 4. 2	B5P5T90 numunesinin XRD analiz sonucu.....31
Şekil 4. 3	B5P5T90 numunesinin %geçirgenlik değişimi31
Şekil 4. 4	B5P5T90 numunesinin DSC analizi sonucu32
Şekil 4. 5	B5P5T90 numunesinin FTIR analizi sonucu33
Şekil 4. 6	B5P5T90 numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi..33
Şekil 4. 7	B5P5T90 numunesinin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi.....34
Şekil 4. 8	B5P5T90 numunesinin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi34
Şekil 4. 9	B5P5T90 numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi.....35
Şekil 4. 10	B5P5T90 numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi35
Şekil 4. 11	B10P10T80 cam numunesinin makro görüntüsü36
Şekil 4. 12	B10P10T80 cam numunesinin XRD analiz sonuçları36
Şekil 4. 13	B10P10T80 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....37
Şekil 4. 14	B10P10T80 cam numunesinin DSC analizi sonucu37
Şekil 4. 15	B10P10T80 cam numunesinin FTIR analizi sonucu38

Şekil 4. 16	B10P10T80 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	39
Şekil 4. 17	B10P10T80 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	39
Şekil 4. 18	B10P10T80 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	40
Şekil 4. 19	B10P10T80 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	40
Şekil 4. 20	B10P10T80 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	41
Şekil 4. 21	B5P20T75 cam numunesinin makro görüntüsü	41
Şekil 4. 22	B5P20T75 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	42
Şekil 4. 23	B5P20T75 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	42
Şekil 4. 24	B5P20T75 cam numunesinin DSC analizi sonucu	43
Şekil 4. 25	B5P20T75 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	44
Şekil 4. 26	B5P20T75 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	44
Şekil 4. 27	B5P20T75 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi ..	45
Şekil 4. 28	B5P20T75 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	45
Şekil 4. 29	B5P20T75 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	46
Şekil 4. 30	B5P20T75 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	46
Şekil 4. 31	B10P20T70 cam numunesinin makro görüntüsü	47
Şekil 4. 32	B10P20T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	47
Şekil 4. 33	B10P20T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	48
Şekil 4. 34	B10P20T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu	48
Şekil 4. 35	B10P20T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	49
Şekil 4. 36	B10P20T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	50
Şekil 4. 37	B10P20T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	50
Şekil 4. 38	B10P20T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	51
Şekil 4. 39	B10P20T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	51
Şekil 4. 40	B10P20T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	52
Şekil 4. 41	B20P10T70 cam numunesinin makro görüntüsü	52
Şekil 4. 42	B20P10T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	53
Şekil 4. 43	B20P10T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	53
Şekil 4. 44	B20P10T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu	54
Şekil 4. 45	B20P10T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	55
Şekil 4. 46	B20P10T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	55
Şekil 4. 47	B20P10T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	56
Şekil 4. 48	B20P10T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	56
Şekil 4. 49	B20P10T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	57

Şekil 4. 50	B20P10T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	57
Şekil 4. 51	B15P15T70 cam numunesinin makro görüntüsü	58
Şekil 4. 52	B15P15T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	58
Şekil 4. 53	B15P15T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	59
Şekil 4. 54	B15P15T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu	59
Şekil 4. 55	B15P15T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	60
Şekil 4. 56	B15P15T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	61
Şekil 4. 57	B15P15T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	61
Şekil 4. 58	B15P15T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	62
Şekil 4. 59	B15P15T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	62
Şekil 4. 60	B15P15T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	63
Şekil 4. 61	B15P20T65 cam numunesinin makro görüntüsü	63
Şekil 4. 62	B15P20T65 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	64
Şekil 4. 63	B15P20T65 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	64
Şekil 4. 64	B15P20T65 cam numunesinin DSC analizi sonucu	65
Şekil 4. 65	B15P20T65 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	66
Şekil 4. 66	B15P20T65 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	66
Şekil 4. 67	B15P20T65 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	67
Şekil 4. 68	B15P20T65 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	67
Şekil 4. 69	B15P20T65 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	68
Şekil 4. 70	B15P20T65 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	68
Şekil 4. 71	B10P30T60 cam numunesinin makro görüntüsü	69
Şekil 4. 72	B10P30T60 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	69
Şekil 4. 73	B10P30T60 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	70
Şekil 4. 74	B10P30T60 cam numunesinin DSC analizi sonucu	70
Şekil 4. 75	B10P30T60 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	71
Şekil 4. 76	B10P30T60 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	72
Şekil 4. 77	B10P30T60 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi	72
Şekil 4. 78	B10P30T60 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi	73
Şekil 4. 79	B10P30T60 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi	73
Şekil 4. 80	B10P30T60 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi.....	74
Şekil 4. 81	B10P40T50 cam numunesinin makro görüntüsü	74
Şekil 4. 82	B10P40T50 cam numunesinin XRD analiz sonuçları	75
Şekil 4. 83	B10P40T50 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi.....	75
Şekil 4. 84	B10P40T50 cam numunesinin DSC analizi sonucu	76
Şekil 4. 85	B10P40T50 cam numunesinin FTIR analizi sonucu	77

Şekil 4. 86	B10P40T50 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....77
Şekil 4. 87	B10P40T50 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi 78
Şekil 4. 88	B10P40T50 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi78
Şekil 4. 89	B10P40T50 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi79
Şekil 4. 90	B10P40T50 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi79
Şekil 5. 1	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin cam oluşum haritası81
Şekil 5. 2	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin makro görüntüsü.....82
Şekil 5. 3	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin görünür bölge geçirgenlik değişimleri.....83
Şekil 5. 4	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin DSC termogramları84
Şekil 5. 5	Rota 1 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi86
Şekil 5. 6	Rota 2 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi87
Şekil 5. 7	Rota 3 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi89
Şekil 5. 8	Rota 4 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi90
Şekil 5. 9	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların FTIR spektrumları ...92
Şekil 5. 10	Rota 1 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi93
Şekil 5. 11	Rota 1 için yarı değer kalınlık – foton enerjisi (MeV) değişimi94
Şekil 5. 12	Rota 1 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi.....95
Şekil 5. 13	Rota 1 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi95
Şekil 5. 14	Rota 2 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği96
Şekil 5. 15	Rota 2 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği97
Şekil 5. 16	Rota 2 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği .97
Şekil 5. 17	Rota 2 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği98
Şekil 5. 18	Rota 3 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği99
Şekil 5. 19	Rota 3 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği99
Şekil 5. 20	Rota 3 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği100
Şekil 5. 21	Rota 3 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği100
Şekil 5. 22	Rota 4 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği101
Şekil 5. 23	Rota 4 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği...102
Şekil 5. 24	Rota 4 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği102
Şekil 5. 25	Rota 4 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği103

Şekil 5. 26	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi.....	104
Şekil 5. 27	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi.....	105
Şekil 5. 28	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların a) 0,2 MeV b) 0,662 MeV c) 1,25 MeV foton enerji değerlerinde yarı değer kalınlıklarının ticari camlarla karşılaştırılması	106
Şekil 5. 29	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların ve betonun ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi.....	106
Şekil 5. 30	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi	107



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Endüstride radyasyon zırlama için kullanılan ticari camların genel özellikleri20
Çizelge 3. 1	Cam sentezinde kullanılan başlangıç malzemelerinin genel özellikleri ..22
Çizelge 3. 2	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde hazırlanan cam numune bileşimleri ve numune kodları.....23
Çizelge 4. 1	B5P5T90 numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri32
Çizelge 4. 2	B10P10T80 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..38
Çizelge 4. 3	B5P20T75 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..43
Çizelge 4. 4	B10P20T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..49
Çizelge 4. 5	B20P10T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..54
Çizelge 4. 6	B15P15T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..60
Çizelge 4. 7	B15P20T65 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..65
Çizelge 4. 8	B10P30T60 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..71
Çizelge 4. 9	B10P40T50 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri. ..76
Çizelge 5. 1	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde bileşime bağlı olarak incelenen rotalar ...81
Çizelge 5. 2	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin %geçirgenlik ve soğurma sınırı değerleri.....83
Çizelge 5. 3	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), kristalizasyon onset (T_c), kristalizasyon pik (T_p) ve ısı kararlılık (ΔT) değerleri85
Çizelge 5. 4	$10\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-xPbCl}_2\text{-(90-x)TeO}_2$ (Rota 1) cam numunelerinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.....86
Çizelge 5. 5	$\text{xBi}_2\text{O}_3\text{-xPbCl}_2\text{-(100-x)TeO}_2$ (Rota 2) sisteminde elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri87

Çizelge 5. 6	$x\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-(80-x)TeO}_2$ (Rota 3) sisteminde elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri	88
Çizelge 5. 7	$x\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(30-x)PbCl}_2\text{-TeO}_2$ (Rota 4) sisteminde elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri	90
Çizelge 5. 8	$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim özellikleri	91
Çizelge 5. 9	Elementlerin soğurma sınırlarına ait foton enerjileri (KeV)	104



ÖZET

BİZMUT OKSİT-KURŞUN KLORÜR-TELLÜR OKSİT SİSTEMİNİN ISIL, OPTİK VE YAPISAL AÇIDAN İNCELENEREK CAMLAŞMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ VE CAMLARIN RADYASYON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Volkan AKILLI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Erçin ERSUNDU

Radyasyon 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafında bulunmuş ve günümüze kadar kullanımı artmıştır. Artan bu radyasyon kullanımı, radyasyondan korunmayı iyonize radyasyonun insan sağlığı açısından tehlikelisi nedeniyle önemli hale getirmiştir.

Radyasyondan korunmak için kullanılan zırhlar genellikle kurşun bazlı malzemeler ve betondur. Kurşun iyi bir radyasyon zırh malzemesi olsa da toksik etkisi nedeniyle insan sağlığı için zararlıdır. Beton ise içerdiği su nedeniyle yüksek radyasyona maruz kaldığında içindeki su buharlaşmakta ve hem mukavemetini kaybetmekte hem de zırhlama özellikleri azalmaktadır. Ayrıca hem kurşun hem beton opak malzemelerdir. Bu sebeplerden dolayı alternatif zırh malzeme arayışına girilmiş, radyasyon zırhı olarak kullanılmak üzere özellikle saydamlıkları nedeniyle çeşitli cam malzemeler geliştirmiştir. Ticari radyasyon zırhlama camları ya yüksek oranda (%50-70 ağırlıkça) kurşun içermekte ya da istenilen zırhlama özelliklerini karşılayamamaktadır. Bu nedenle tez çalışmasında daha iyi özellikler sunan alternatif bir saydam radyasyon zırh malzemesi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması kapsamında silika, borat, fosfat ve germanat gibi geleneksel camlar yerine yüksek atom numarası , görünür bölgede yüksek geçirgenlik, yüksek konsantrasyonda katkılanabilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek ısıl ve kimyasal kararlılık, düşük

cam geçiş ve ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle tellürit camlar tercih edilmiştir.

Tellür oksit (TeO_2) koşullu bir cam yapıcı olup; cam elde etmek için yapıya tellür oksitin ağ yapısını bozacak bir alkali oksit, ağır metal oksit veya halojenür eklenmelidir. Bu tez çalışması kapsamında, tellür oksitin ağ yapısını bozacak ikinci bileşen olarak PbCl_2 seçilmiştir. nc bileşen olarak da cam yapının ağırlığını daha fazla arttırmak için atom numarası ve kütlesi fazla olan Bi_2O_3 eklenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında daha önce literatürde çalışılmamış olan $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin optik, ısı, fiziksel ve yapısal özellikleri incelenerek sistemin camlaşma davranışı belirlenmiş ve sistemin cam haritası oluşturulmuştur. Sentezlenen on üç farklı bileşimdeki numuneden dokuz tanesi cam olarak elde edilmiş ve sistemin TeO_2 'ce zengin bölgede cam yapma özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Sentezlenen camların radyasyon zırhlama zellikleri XCOM yazılımı aracılığıyla kütle azaltma katsayısı (KAK), yarı değer kalınlık (YDK), ortalama serbest yol (OSY), etkin atom numarası (Z_{etk}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_e) hesaplanarak incelenmiştir. Ayrıca, camların sıradan betonla ve mevcut ticari radyasyon zırhlı camlarla radyasyon zırhlama özellikleri karşılaştırılmış ve $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların radyasyon zırhlama uygulamalarında yüksek kullanım potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyasyon zırhlama, Tellürit cam, Camlaşma davranışı, Kütle azaltma katsayısı, XCOM

ABSTRACT

DETERMINATION OF VITRIFICATION BEHAVIOUR AND INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF BISMUTH OXIDE-LEAD CLORIDE-TELLURIUM OXIDE SYSTEM THROUGH THERMAL, OPTICAL AND STRUCTURAL STUDIES

Volkan AKILLI

Metallurgical and Materials Engineering

M.Sc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Erçin ERSUNDU

Radiation was found in 1895 by Wilhelm Conrad Röntgen and its use has increased until today. The use of this increased radiation has made radiation protection important because ionizing radiation is very dangerous for human health.

The shields that are used to be protected from radiation are generally lead-based materials and concrete. Despite being a good radiation armor material, lead is harmful to human health due to its toxic effect. Moreover, concrete contains water and when it is exposed to high radiation, the water evaporates and due to this evaporation concrete loses its strength and shielding properties decreases. Additionally, both of the materials are opaque. Therefore, alternative materials have been searched and glasses have been developed to be used as radiation shield. Commercial radiation shielding glasses contain either a high percentage of lead (50-70%wt) or cannot meet the desired shielding properties. Hence, in this thesis study it is aimed to develop an alternative transparent shielding material having better properties.

In this thesis , tellurite glasses were preferred over conventional glasses such as silicate, borate, phosphate or germanate glasses as a result of their superior features such as high atomic number, high permeability in visible region, ability of doping at high

concentrations, high corrosion resistance, high thermal and chemical stability, low glass transition and melting temperature.

Tellurium oxide (TeO_2) is a conditional glass former; therefore an alkali oxide, heavy metal oxide or halide should be added to disrupt the network structure of tellurium oxide and to obtain tellurite glass, In scope of this study PbCl_2 was chosen as the second component to disrupt the network structure of tellurium oxide. Bi_2O_3 with high atomic number and weight was added as the third component in order to increase the overall weight of glass structure.

In this thesis study, vitrification behavior of Bi_2O_3 - PbCl_2 - TeO_2 system which has not been studied in the literature was determined through optical, thermal, physical and structural investigations and glass domain was formed. Nine out of thirteen synthesized samples were formed as glass and it was determined that Bi_2O_3 - PbCl_2 - TeO_2 system shows glass forming ability in TeO_2 rich region. Radiation shielding properties of synthesized glasses were investigated via calculating mass attenuation coefficient (MAC), half value layer (HVL), mean free path (MFP), effective atomic number (Z_{eff}) and effective electron density (N_e). Additionally, radiation shielding properties of the glasses were compared with ordinary concrete and commercial radiation shielding glasses and it was found that the glasses synthesized in the Bi_2O_3 - PbCl_2 - TeO_2 system exhibit a high utilization potential in radiation shielding applications.

Keywords: Radiation Shielding, Tellurite Glass, Vitrification behaviour, Mass attenuation coefficient, XCOM

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Radyasyon, Wilhelm Conrad Röntgen'in 1895 yılında X-ışınlarını keşfiyle hayatımıza girmiştir. O günden itibaren kullanımı giderek artmış ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Radyasyonun kullanımının artması, insanların maruz kaldığı radyasyon miktarını da arttırmıştır. Radyasyona maruz kalmak insan sağlığı için olumsuz etkilere neden olmaktadır. Özellikle yüksek dozda radyasyona maruz kalmak kanser riskinden, ölüm riskine kadar birçok probleme yol açmaktadır. Zararlı olmasına rağmen radyasyonun tıbbi teşhis ve tedavide, radyografi ile malzeme incelemesinde, nükleer santrallerde enerji üretiminde, duman dedektörlerinde, akademik ve bilimsel uygulamalar vb. bazı alanlarda kullanımı zorunludur.

Radyasyonun kullanımı ile birlikte günümüzde radyasyondan korunma da çok daha önemli hale gelmiştir. Radyasyondan korunmak için ALARA, makul olarak gerçekleştirilebilecek ölçüde düşük, (As Low As Reasonably Achievable) prensibi kullanılmaktadır. ALARA prensibinin temeli maruz kalınan radyasyon dozunu en aza indirmektir. Bunun için doz alım zamanı minimum tutulmalı, mesafe maksimum olmalı ve zırhlama çok iyi olmalıdır. Bazı durumlarda zamanı ve mesafeyi değiştirmek mümkün değildir. Bu nedenle iyi bir zırhlama yapmak gerekmektedir. Radyasyondan korunmak için kullanılan zırhlar genellikle kurşun bazlı malzemeler ve betondur. Kurşun iyi bir radyasyon zırh malzemesi olsa da ağır yapısı ve toksik etkisi nedeniyle insan sağlığı için zararlıdır. Beton ise su içeriği nedeniyle yüksek radyasyona maruz kaldığında içindeki su buharlaşmakta ve hem mukavemetini kaybetmekte hem de zırhlama özellikleri azalmaktadır. Ayrıca hem kurşun hem de beton opak malzemelerdir. Bu sebeplerden

dolayı alternatif zırh malzeme arayışına girilmiş ve radyasyon kalkanı olarak kullanılmak üzere özellikle saydamlıkları nedeniyle çeşitli cam malzemeler geliştirmiştir. Ticari olarak kullanılan cam esaslı radyasyon zırhlama malzemeleri ya yüksek oranda (%50-70 ağırlıkça) kurşun içermekte ya da istenilen zırhlama özelliklerini karşılayamamaktadır. Bu nedenle son yıllarda çok daha düşük oranda kurşun içeren ya da kurşun içermeyen ve daha iyi radyasyon zırhlama özelliği gösteren camların geliştirilmesi üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Bu anlamda silika, alümina silikat, borat, fosfat, germanat, tellürit ve bizmutat camlar gibi pek çok farklı cam sistem üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Ağır metal oksit camlar, kimyasal kararlılıkları, korozyon dayanımları, üstün mekanik özellikleri, düşük cam geçiş ve ergime sıcaklıkları, yüksek kırılma indisleri ve yüksek optik geçirgenlikleri sayesinde radyasyon zırhlama malzemesi olarak önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında silika, borat, fosfat ve germanat gibi geleneksel camlar yerine atom numarası ve atom ağırlığı yüksek, görünür bölgede yüksek geçirgenlik, yüksek konsantrasyonda katkılandırılabilirlik, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve kimyasal kararlılık, düşük cam geçiş ve ergime sıcaklığı gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle tellürit bazlı camlar tercih edilmiştir.

Tellür oksit (TeO_2) koşullu bir cam yapıcı olup; cam elde etmek için yapıya tellür oksitin ağ yapısını bozacak bir alkali oksit, ağır metal oksit veya halojenür eklenmelidir. Bu tez çalışması kapsamında, tellür oksitin ağ yapısını bozacak ikinci bileşen olarak PbCl_2 seçilmiştir. Üçüncü bileşen olarak da yapının ağırlığını daha fazla arttırmak için atom numarası ve kütlesi fazla olan Bi_2O_3 eklenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin optik, ısı, fiziksel ve yapısal açıdan incelenerek camlaşma davranışlarının belirlenmesi, sistemin cam haritasının çıkartılması ve sistemden elde edilen camların radyasyon zırhlama özelliklerinin incelenerek bu camların radyasyon kalkanı olarak kullanım potansiyellerinin değerlendirilmesidir.

1.3 Orijinal Katkı

Radyasyondan korunmak için kullanılan zırhlar genellikle kurşun bazlı malzemeler, beton ve camdır. Kurşun iyi bir radyasyon zırh malzemesi olsa da toksik etkisi nedeniyle günümüzde kullanımı sınırlandırılmaktadır. Beton ise yüksek su içeriği nedeniyle yüksek radyasyona maruz kaldığında içindeki su buharlaşmakta ve hem mukavemetini kaybetmekte hem de zırhlama özellikleri azalmaktadır. Camlar ise saydam olmaları nedeniyle kurşun bazlı malzemeler ve betona göre pek çok uygulamada radyasyon zırh malzemesi olarak tercih edilmektedir. Ancak ticari radyasyon zırh camları ya çok yüksek oranda kurşun içermekte ya da istenilen zırhlama özelliklerini karşılayamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, son zamanlarda iyi radyasyon zırhlama özellikleri sergileyen cam malzemeler üzerine araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında daha önce literatürde incelenmemiş olan ağır metal oksit esaslı $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin optik, ısı, fiziksel ve yapısal özellikleri incelenerek sistemin camlaşma davranışı belirlenmiş, sistemin cam haritası oluşturulmuş ve sistemden elde edilen camların radyasyon zırhlama özellikleri incelenerek radyasyon kalkanı olarak kullanım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması sonucunda elde edilen bilgi birikiminin, ağır metal oksit esaslı camların ideal bir radyasyon zırhlama malzemesi olarak geliştirilmesi amacıyla ilgili literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

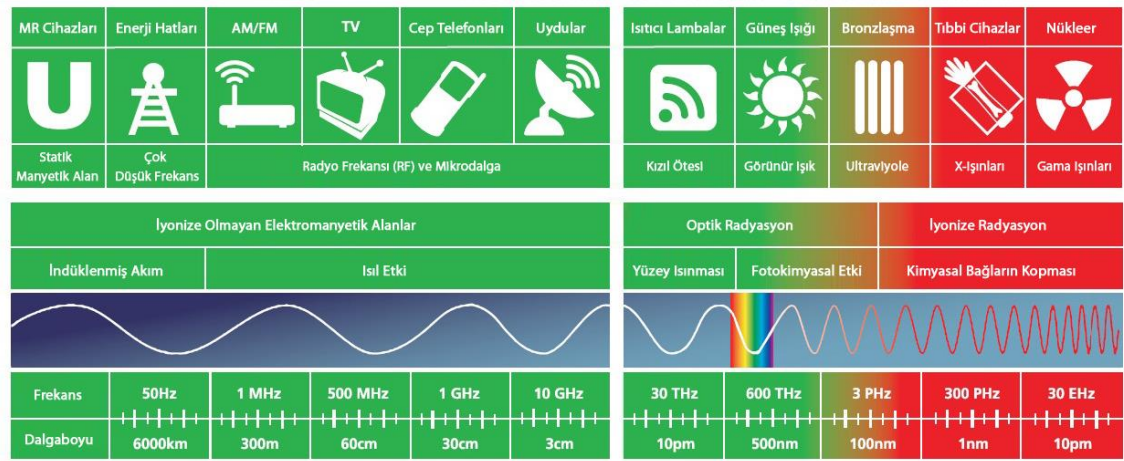
BÖLÜM 2

TEORİK BİLGİ

2.1 Radyasyonun Tanımı

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerjinin emisyonu veya aktarımıdır. Parçacık radyasyonu, belirli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden atom altı parçacıklardır. Dalga tipi radyasyon belirli bir enerjiye sahip ancak kütsüz radyasyon çeşididir. Radyasyon iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon madde ile etkileşime girdiğinde iyon (yükli parçacık) oluşumu gözlenmez. Görünür ışık, mikrodalgalar ve radyo dalgaları iyonlaştırıcı olmayan radyasyona birer örnektir. Etkileşime girdiği maddede iyonlar oluşturan radyasyon tipine iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlaştırıcı radyasyon genel olarak alfa parçacıkları, beta parçacıkları, X-ışınları, gama ışınları ve nötronlar olarak beş çeşittir. İyonlaşma olayı, canlı dokularda ve DNA’da bulunan genler dahil herhangi bir maddede meydana gelebilmektedir. Bu durumda iyonlaştırıcı radyasyon canlılar için tehlike arz etmektedir [1].

Şekil 2.1’de verilen elektromanyetik spektrumda, radyasyonun en kısa dalga boyundan en uzun dalga boyuna sıralanışı verilmiştir. Dalga boyu kısaltıkça frekans ve enerji artar.

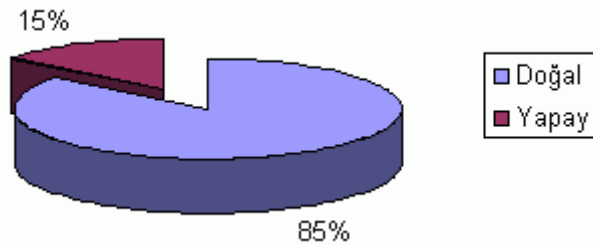


Şekil 2. 1 Elektromanyetik spektrum [2]

Doğal radyasyonun önemli bir kaynağı doğal radyoizotoplardır. Ağır elementler, kararsız oldukları için daha küçük atomlara dönüşmektedir. Bu yolla enerji veren elementlere “radyoaktif elementler” adı verilmektedir. Atom numarası 83’ten büyük olan tüm elementler radyoaktiftir. Radyoaktif elementler temel olarak alfa, beta ve gama olmak üzere, üç ana tip enerji salınımında bulunmaktadır. Ayrıca nötronlar ve hızlandırıcılar da radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır [3].

Toplumsal ve teknolojik gelişmeler nedeniyle insanoğlu bazı radyasyon kaynaklarını yapay yollarla üretmiştir. Yapay radyasyon kaynakları olarak; tıbbi kaynaklar, nükleer bomba denemeleri sonucu meydana gelen nükleer serpintiler, nükleer santrallerden salınan radyoaktif maddeler örnek verilebilir.

Günlük hayatta maruz kaldığımız radyasyonun çoğu doğal kaynaklardan gelmektedir. Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranı Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2. 2 Dünya genelinde doğal ve yapay radyasyon kaynaklarından alınan dozların oranı [4]

Radyasyonun sınıflandırılması aşağıda belirtilen üç parametre ile açıklanabilir.

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)

- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik dalga radyasyonu)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

2.2 İyonlaştırıcı Radyasyonun Türleri

2.2.1 Alfa Parçacıkları

Kararsız bir atom kararlı hale geçmek için çekirdeğinden salınım yapar. Bu salınım sonucu çekirdekten fırlatılan ve 2 proton 2 nötron içeren yüksek enerjili parçacık alfa parçacığıdır. Alfa parçacığını helyum çekirdeği olarak düşünmek mümkündür. Denklem 2.1’de [3] alfa parçacığının ortaya çıkış reaksiyonu görülmektedir.



Alfa parçacıkları içerdiği proton ve nötron nedeniyle büyük, ağır ve yüklü parçacıklardır. Alfa parçacıkları uranyum, polonyum, radyum gibi ağır radyoaktif elementlerin bozunmasıyla ortaya çıkarlar [5], [6].

2.2.2 Beta Parçacıkları

Bir atomun çekirdeği kararsızsa, kararlı hale geçmek ister. Eğer bu kararsızlık nötron-proton dönüşümü ile oluyorsa, çekirdek beta ışınımı yapar. Nötron sayısı proton sayısından fazla ise çekirdek bir nötronunu protona dönüştürür. Bu dönüşüm sonrası beta parçacıkları (β^-) ve antinötrino salınımı gerçekleşir. Eğer bir proton bir nötrona dönüşürse pozitron (β^+) ve nötrino parçacığı salınımı gerçekleşir. Denklem 2.2’de [3] beta parçacığının ortaya çıkış reaksiyonu verilmektedir.



Beta parçacıkları küçük, hafif ve alfa parçacıklarından daha az yüke sahip parçacıklardır [5], [6].

2.2.3 Nötronlar

Nötron ışınımı çekirdek dışında hareket etmekte olan serbest nötronlardan oluşmaktadır. Nötronlar yüksüz parçacıklardır. Yüksüz oldukları için diğer radyasyon türleri gibi Coulomb kuvvetlerinden etkilenmez ve yüklü parçacık radyasyonları gibi kolayca soğrulamaz. Bu durum nötronların çok delici olmasını sağlar. Nötronlar nükleer

reaksiyonlarda atom çekirdekleri tarafından soğrulur ve daha ağır izotopa dönüşen çekirdek kararsız hale gelir. Kararsız çekirdek ikincil radyasyon (alfa, beta vb.) tehlikesi oluşturur [7], [8].

2.2.4 Gama Işınları

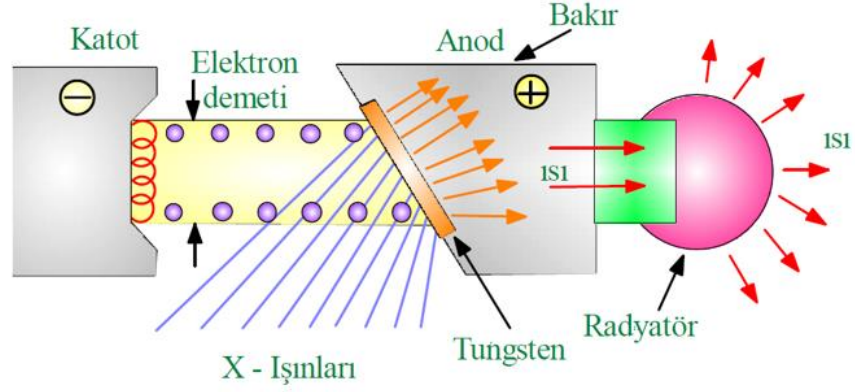
Birçok nükleer reaksiyonda, çekirdeği uyarılmış bir halde bırakılan bir nükleit üretilir. Bu uyarılmış çekirdekler genellikle 10^{-9} saniyede, gama ışını adı verilen bir foton formunda enerji yayarak taban enerji seviyesine bozulurlar [9]. Gama ışınları parçacık olarak değil elektromanyetik dalga şeklinde yayılır. Denklem 2.3'te gama bozunmasının gerçekleşme reaksiyonu görülmektedir [3].



2.2.5 X-Işınları

Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektron, atomun ilk yörüngesinden bir elektron kopartır. Kopan bu elektron yerine daha yüksek seviyelerden bir elektron, kopan elektronun yerine geçerek boşluğu doldurur. Yüksek enerji seviyesinden, düşük enerji seviyesine geçen elektronun fazla enerjisi X-ışını olarak yayınır.

X-ışınları yapay olarak da üretilebilir. Bunun için Şekil 2.3'de gösterildiği gibi bir X-ışını tüpü kullanılır. X-ışını havası boşaltılmış bir tüp içinde ısıtılan katottan çıkan elektronların yüksek voltaj ile hızlandırılarak yüksek atom numaralı anot metaline çarptırılması sonucu oluşur. Hızlandırılan elektronlar anot metaline çarptığında kinetik enerjilerini aktarır. Eğer elektron enerjisinin tamamını aktaramaz ise hedefin ısınmasına yol açarken, tüm enerjisini aktarabilir ise hedeften yörünge elektronu kopartır. Bunun sonucunda üst yörüngeden bir elektron bu boşluğu doldurmak için hareket eder. Bu sırada fazlalık enerjisi X-ışını olarak yayınır. [8]



Şekil 2. 3 X-ışını oluşum mekanizması [10]

X-ışınlarının gama ışınlarından temel farkı, gama ışınları çekirdekten yayılırken, X-ışınları atomların elektron bulutundan yayılır.

2.3 Radyasyon Madde Etkileşimi

Radyasyonun madde ile etkileşimini bilmek radyasyondan korunmanın temelini oluşturur. Radyasyon madde ile etkileştiğinde, malzeme üzerinde değişim meydana getirirken kendi üzerinde de değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişim radyasyonun enerjisindeki değişimdir. Radyasyon malzeme ile etkileşime girdiğinde enerjisinin bir kısmını veya tamamını kaybetmektedir [5], [8], [11].

Etkileşim mekanizması parçacığın veya dalganın türüne ve enerjisine bağlı olduğu gibi girdiği ortamdaki atomunun proton sayısına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, yüklü ve yüksüz parçacıkların madde ile etkileşiminin ayrı ayrı düşünülmesi gerekmektedir [3].

Etkileşim sonucu radyasyonun enerjisinde meydana gelen kayıp, malzemenin zırlama özelliği olarak değerlendirilir. Malzemelerin gösterdiği radyasyon zırlama özellikleri, etkileşime giren radyasyon türüne göre farklılıklar göstermektedir [12]. Madde ile etkileşime giren farklı radyasyon türleri ile bilgiler bu bölümde verilmiştir.

2.3.1 Yüklü Parçacıklar

Yüklü parçacıkların enerjileri, madde tarafından ne kadarının soğurulduğunun ölçülmesiyle belirlenebilir. Genel olarak, yüklü parçacıklar madde içerisinden geçerken enerji kaybı ve geliş doğrultularından sapmaları gibi iki ana özelliklerle karakterize edilir. Bu etkiler öncelikle maddenin atomik elektronları ile elastik olmayan çarpışması ve

çekirdekten elastik saçılmasının sonucudur. Yüklü parçacıklar, hafif yüklü parçacıklar ve ağır yüklü parçacıklar olmak üzere iki grupta incelenebilir [8], [13].

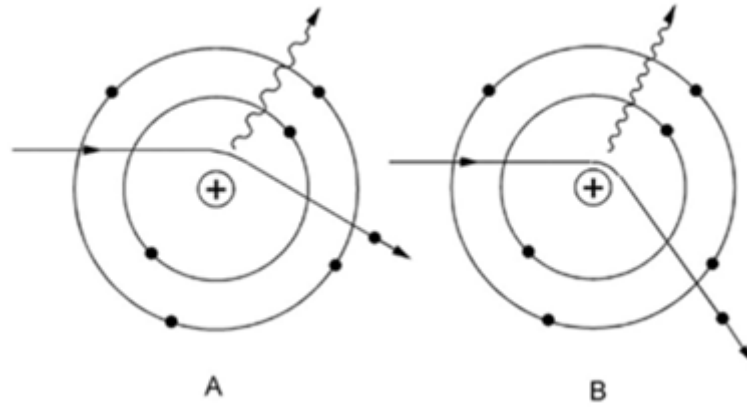
2.3.1.1 Ağır Yüklü Parçacıklar

Ağır yüklü bir parçacık, soğurucu bir ortama girdiğinde, ortamdaki atomların çekirdeği veya atomların yörüngelerinde bulunan elektronların negatif yükü ile ağır yüklü parçacığın pozitif yükü Coulomb kuvveti nedeniyle etkileşime girer [14]. Ağır yüklü parçacıklar çekirdekle reaksiyona girdiğinde büyük kütleli çekirdek, Coulomb kuvveti ile ağır yüklü parçacığın yön değiştirmesine sebep olur. Bu çarpışma elastik bir çarpışmadır. Fakat atom çekirdeğinin yarıçapı çok büyük olduğundan, bir elektronla reaksiyon parçacık için daha olasıdır [13].

Ağır yüklü parçacıklar eğer atomun yörüngesindeki elektronlar ile etkileşime girerse bu bir inelastik çarpışmadır. Bu çarpışma esnasında parçacığın kinetik enerjisi elektronun iyonlaşma enerjisinden yeterince büyükse, parçacık enerjisini aktarır. Bu işlem parçacığın izlediği yol boyunca tekrarlanır.

2.3.1.2 Hafif Yüklü Parçacıklar

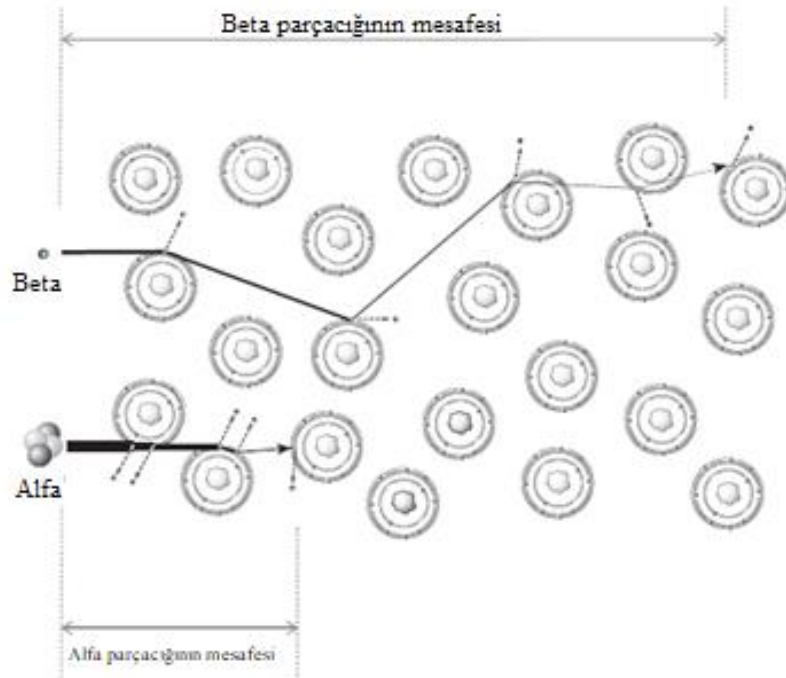
Hafif yüklü parçacıklar beta parçacığı yani elektron ve pozitronudur. Elektron ve pozitronun madde içindeki etkileşimleri benzerdir. Hafif yüklü parçacıklar aynı enerjiye sahip ağır yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında küçük kütlelerinden dolayı daha hızlıdır. Bu nedenle, ağır yüklü parçacıklara göre daha uzun ve dolambaçlı bir yol izlerler. Hızları yüksek olan beta parçacıkları bir atoma doğru ilerlediklerinde atomla etkileşip onun etkisiyle ivmelenmeye başlar. Genellikle bu etkileşim atomun çekirdeği ile olur. Çünkü çekirdeğin yük yoğunluğu (pozitif yük) atomun etrafında bulunan elektron bulutuna oranla daha fazladır. Çekirdek beta parçacığını kendine doğru çeker ve parçacığın yolundan sapmasına neden olur. Bu durumda parçacık enerji kaybettiği için yavaşlar. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi parçacık çekirdeğe ne kadar yakın geçerse o kadar rotasından sapar ve enerjisini kaybeder. Bu ivmelenmeyle birlikte parçacığın enerjisi değişir ve ışıma yapar. Bu ışıma, Bremsstrahlung ya da frenleme radyasyonu denilen sürekli X-ışını spektrumu şeklinde görülür [11], [13].



Şekil 2. 4 Parçacığın rotasından sapması a) uzak geçen parçacık b) yakın geçen parçacık [15]

Eğer etkileşim çekirdek yerine ortamdaki yörünge elektronları ile olursa parçacık enerjisi ile Moller ya da Bhabba saçılması meydana gelir. Moller saçılması elektronun yörünge elektronları ile esnek olmayan çarpışması, Bhabba saçılması ise pozitronun yörünge elektronları ile esnek olmayan çarpışmasıdır.

Bu saçılmalar sonucunda beta parçacığının izlediği yol düz değil, zikzaklı şekilde olacaktır. Şekil 2.5'te beta ve alfa parçacıklarının madde içerisinde kat ettiği mesafe görülmektedir.



Şekil 2. 5 Alfa ve beta parçacıklarının malzeme içerisinde kat ettiği mesafe [11]

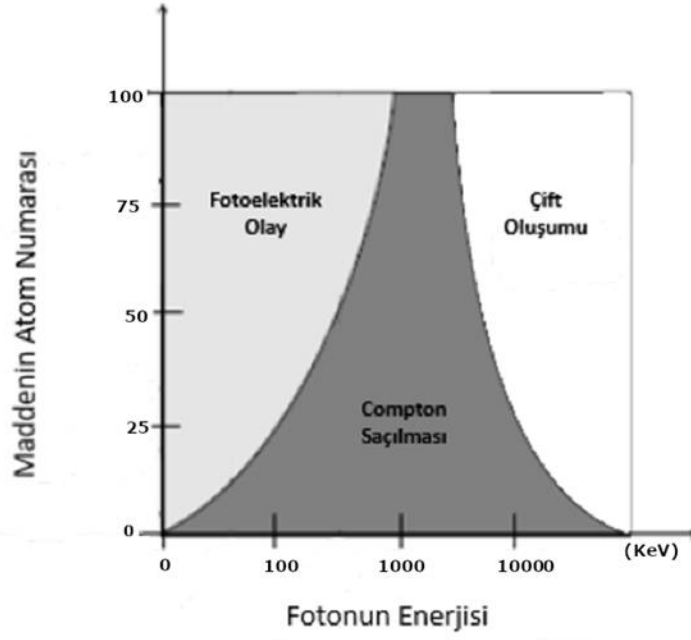
2.3.2 Yüksüz Parçacıklar

Yüksüz parçacıkların elektrik yükleri olmadığı için madde ile etkileşimleri yüklü parçacıkların aksine Coulomb kuvvetleri ile gerçekleşmez. Bu sebeple yüksüz parçacık olan fotonların (X ve gama ışınları) ve nötronların madde ile etkileşimlerinin ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Yüksüz parçacıkların madde ile etkileşiminde ikincil radyasyon yoluyla dolaylı iyonizasyon görülür. Fotonların madde ile etkileşimi sonucu oluşan compton saçılması, fotoelektrik olay ve çift oluşumu mekanizmaları sayesinde elektronlara enerji aktarımı sağlanır. Nötronların etkileşimi de yine ikincil olarak açığa çıkan yüklü parçacıklar sayesinde olur [16].

2.3.2.1 Fotonlar

Fotonların elektriksel yükü ve kütleleri yoktur. Gama ışınlarının yönüne ve enerjilerine bağlı olarak madde ile etkileşim mekanizmaları değişmektedir. Fotonlar, alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha girici özelliğe sahiptir ve buna bağlı olarak madde içerisinde daha fazla yol alır [17].

Şekil 2.6'da atom numarasına ve fotonun enerjisine bağlı olarak fotonların madde ile etkileşimi sonucu oluşan mekanizmalar görülmektedir. Şekilde gösterilen her üç mekanizmada da gelen foton, enerjisinin bir bölümünü veya tamamını elektrona transfer etmektedir. Enerjisinin bir bölümünü aktaran foton geliş doğrultusundan saparak yoluna devam eder, enerjisinin tamamını aktaran foton ise kaybolur.



Şekil 2. 6 Atom numarasına ve fotonun enerjisine bağlı olarak fotonların madde ile etkileşimi sonucu oluşan mekanizmalar [11]

Bu etkileşimlerle fotonların iki önemli özelliği açıklanır. Bu özelliklerden birincisi yüklü parçacıklarla karşılaştırıldığında fotonların madde içinde daha uzun mesafe kat edebilmeleri, ikincisi ise kat ettiği mesafeyle beraber enerjileri azalmazken, şiddetlerinde azalma olmasıdır. Fotonların şiddetindeki bu azalma kalınlığın üstel olarak fonksiyonudur ve bu durum Lambert-Beer yasası olarak bilinir.

Fotonların madde ile etkileşimi sonucu oluşan compton saçılması, fotoelektrik olay ve çift oluşumu mekanizmaları aşağıda açıklanmaktadır.

Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik soğurma sürecinde, düşük enerjili bir foton, bir atomun yörüngesinden bir elektron ile tamamen kaybolacağı bir etkileşime girer. Fotonun enerjisi yeterince yüksekse bu olay atomun K yörüngesinde bulunan elektronla gerçekleşir. Bu etkileşimle beraber elektron atom çekirdeğinin pozitif yüklü bağlayıcı etkisinden kopar. Koparılan bu elektrona fotoelektron adı verilir. Bu olay sırasında fotonun enerjisinin bir kısmı elektronu koparmak için kullanılırken, geri kalan kısmı fotoelektrona enerji olarak aktarılır. Atomun yörüngesinde oluşan elektron boşluğu, dış yörüngedeki başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu sırada X-ışını yayımlanır [2], [3].

Compton Saçılması

Compton saçılması olayında genellikle serbest haldeki elektronlarla etkileşim görülür. Gelen fotonun enerjisi, etkileşime girdiği elektronun bağlanma enerjisinden daha yüksektir. Çarpışma sırasında, foton enerjisinin bir bölümünü etkileştiği serbest elektrona aktarır. Çarpışma sonrasında foton geliş yönüne göre bir θ açısı kadar sapar. Tüm açılarda çarpışma mümkün olduğu için elektrona aktarılan enerji sıfırdan, fotonun enerjisinin büyük bir bölümüne kadar değişebilir [3], [14].

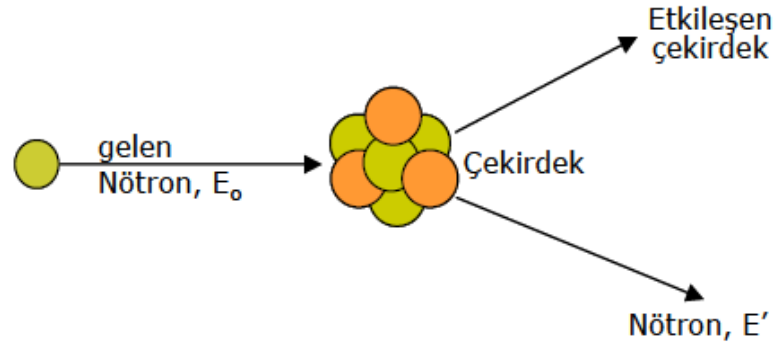
Çift Oluşumu

Foton 1,022 MeV ve daha yüksek enerjiye sahip olduğunda, malzeme içinden geçerken atom tarafından soğurulabilmekte ve zıt elektrik yüklü iki parçacık meydana getirmektedir. Kısaca, çift oluşumu fotonun elektron ve pozitron çiftine dönüşmesi olayıdır [18]. Elektron ve pozitronun toplam kütlelerinin eş değer enerjisi 1,022 MeV 'dur. Bu nedenle parçacık çiftini oluşturmak için gerekli minimum enerjinin 1,022 MeV olması gerekir. Gama enerjisi bu değerin üstünde olduğu zaman fazla enerji genellikle elektrona ve pozitrona kinetik enerji olarak, az bir kısmı da atom çekirdeğine aktarılır [14]. Oluşan bu pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşma ve radyasyonla enerji kaybeder. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum olarak adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsızdır ve 10^{-10} saniye yarı-ömre sahiptir. Dolayısıyla, pozitronyum atomu anihilasyon ışıması yaparak iki foton meydana getirir. Bu anihilasyon ışıması zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların her biri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0,511 MeV 'luk enerjiye sahip olmalıdır [13].

2.3.2.2 Elastik Saçılma

Elastik saçılma 1 MeV altında enerjiye sahip nötronların temel enerji kaybetme mekanizmasıdır. Bu sebeple nükleer reaktörlerde yararlanılan önemli bir mekanizmadır. Malzeme içerisine giren nötron nüfuziyet sırasında bir atomun çekirdeğine çarpar ve enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktarır. Çarpışmadan sonra nötron kendi doğrultusundan farklı bir doğrultuda çekirdekten uzaklaşır. Çekirdeğin fiziksel yapısı değişmez ve toplam kinetik enerji korunur. Nötronların atom çekirdekleri ile yaptıkları elastik çarpışmalar, enerji

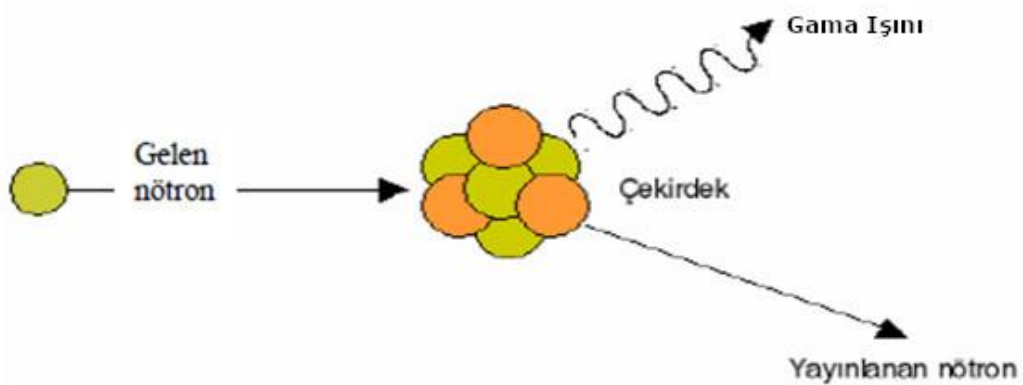
ve momentum korunum yasalarına uygun bir şekilde meydana gelir [5], [12], [19]. Şekil 2.7’ de nötronun çekirdek ile yaptığı elastik çarpışma olayı gösterilmektedir.



Şekil 2. 7 Nötronun çekirdek ile yaptığı elastik saçılma

2.3.2.3 İnelastik Saçılma

İnelastik saçılma için 1 MeV veya daha fazla enerjiye sahip bir nötronun nüfuz ettiği malzemenin içinde çarpıştığı atom çekirdeğini uyarabilmesi gerekir. Çarpışmayla birlikte nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktırır ve geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda ve başlangıçta sahip olduğundan daha az bir kinetik enerjiyle çekirdekten uzaklaşır. Çarpışmadan sonra çekirdek uyarılmış durumda kalır ve daha sonra gama veya diğer radyasyon çeşitlerini kullanarak bozunur. Şekil 2.8’de inelastik çarpışmanın şematik gösterimi verilmiştir. [5], [12]



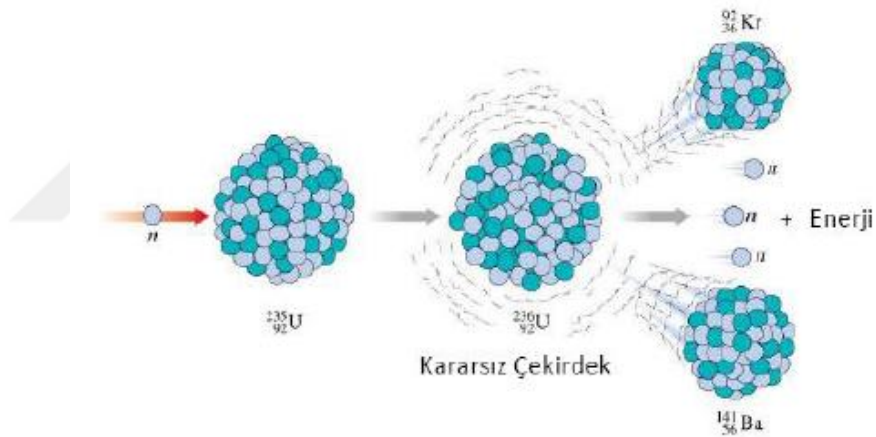
Şekil 2. 8 Nötronun çekirdek ile yaptığı inelastik çarpışma

2.3.2.4 Nötronların Soğrulması

Malzeme içine nüfuz etmiş nötron, hedef çekirdekle birleşerek hedefin radyoizotopunu meydana getirir. Bu radyoizotop uyarılmış durumdadır ve fazla enerjisinden kurtulmak için parçacık veya foton yayımlayarak taban enerji seviyesine dönmektedir. Soğurma etkileşimleri beş ana grupta toplanır. Bunlar; (n,γ) , (n,α) , $(n,2n)$, (n,p) ve fisyon olaylarıdır [8], [12], [20].

Fisyon

Termal enerji seviyesine sahip nötronların, ağır bir element atomunun çekirdeği ile etkileşime girerek yutulması ve çekirdeği kararsız hale getirmesi olayıdır. Kararsız hale gelen çekirdek daha küçük iki farklı çekirdeğe bölünür ve bu bölünme sırasında ortama iki veya daha fazla nötron salınımı olur. Şekil 2.9’da fisyon olayı şematik olarak gösterilmiştir [18].



Şekil 2. 9 Fisyon olayının şematik gösterimi [13]

2.4 Radyasyondan Korunma Yolları

Radyasyondan korunma ile ilgili olarak Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından yayımlanan 60 numaralı rapor [21] ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından “Temel Güvenlik Standartları” [22] ismi altında yayımlanan BSS-115 numaralı yayında radyasyon korunması ile ilgili üç temel ilke önerilmiştir. Bu ilkeler gereklilik doz sınırı ve optimizasyondur. Gereklilik, uygulamanın zararlı etkileri göz önünde bulundurularak zorunlu olmadıkça hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmemesi gerektiğini ifade etmektedir. Doz sınırı, bir kişinin alabileceği etkin eşdeğer dozun kesin bir şekilde sınırlandırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Optimizasyon

ise ALARA prensibi (As low As Reasonably Achievable) olarak bilinir. Mümkmn olan en dñřük doz ile incelemeyi esas alan prensiptir. Bu prensibe göre radyasyondan korunmak için üç temel unsur vardır. Bunlar, zaman, mesafe ve zırhlamadır.

Zaman: Maruz kalınan doz miktarı, kişinin radyasyon kaynağına maruz kalma zamanı ile doğru orantılıdır. Radyasyona maruz kalınan zaman azaltılarak alınan doz miktarı da azaltılmış olur. Denklem 2.4'te alınan doz miktarının formüler ifadesi verilmiştir. Bu ifadeye göre alınan doz miktarı geçen süreyle doğru orantılıdır.

$$\Delta X = I' \frac{A}{R^2} \Delta t \quad (2.4)$$

Denklem gereğince, ΔX alınan doz miktarını, I' spesifik gama ışını sabitini, A kaynağın aktivitesini, R maddenin kaynağına olan uzaklığını ve Δt geçen süreyi temsil etmektedir [23].

Mesafe: Gama ışını ve nötronun girciliğı çok yüksek olup mesafe ile ters orantılıdır. Yani radyasyonun aldığı mesafe arttıkça şiddeti azalmaktadır. Alınan doz miktarı mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalacaktır. Denklem 2.5'te mesafe ile radyasyon ilişkisi formüler olarak gösterilmiştir.

$$D_2 = D_1 \left(\frac{X_1}{X_2} \right)^2 \quad (2.5)$$

Denklem gereğince, D radyasyon şiddetini, X ise mesafeyi göstermektedir [24].

Zırhlama: Korunmak istenen canlı veya cansız sistem ile radyasyon kaynağı arasına yerleştirilen engeldir. Burada amaç radyasyonu durdurmak ya da makul seviyelere indirmektir. Zaman ve mesafe çeşitli zorunluluklardan dolayı belirli bir seviyenin altına indirilemez. Bu noktada bizim değıştirebileceğimiz tek seğıenek zırh malzemesidir. Bu yüzden iyi bir zırh malzemesi geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

2.5 Radyasyon Zırhı Olarak Kullanılan Malzemeler

Radyasyon zırhı olarak kullanılan ve geliştirilmeye çalışılan malzemeler incelendiğinde;

- Beton
- Kurşun levha
- Camlar

olmak üzere özellikle üç malzeme grubu ön plana çıkmaktadır.

2.5.1 Beton

Beton radyasyon zırhı olarak iyi özellik gösterdiği için, radyasyonla çalışılan yerlerde yapı malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır. Özellikle gama ve X-ışını zırhlamasında, zırh malzemesinin yoğunluğu ne kadar yüksek olursa zırhlama özelliği de o derece artmaktadır. Bu nedenle, zırh malzemesi olarak kullanılacak olan betonlar, ağır beton (birim ağırlığı 3 t/m³'ten büyük) olmalıdır. Bu nedenle geleneksel betondan daha ağır olması için bu tür betonlarda yüksek yoğunluklu agrega kullanılır. Ağır beton kullanmanın bir diğer avantajı ise geleneksel betonla aynı zırhlama değerini çok daha ince kalınlıklarda sağlayabilmesidir [25], [26], [27].

2.5.2 Kurşun levha

Tarihsel olarak radyasyona karşı korumada en çok kullanılan malzeme kurşundur. Uranyumdan sonra en iyi koruyucu elementtir ama uranyumun kendisi radyoaktif olduğu için bu alanda kullanımı yoktur. Kurşun bu özelliğini hem yüksek atom numarasından hem de yüksek yoğunluğundan almaktadır. Kurşun geleneksel olarak düşük maliyeti, yüksek atom numarası ve radyasyon koruyucu özelliği nedeniyle çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, özellikle son yıllarda artan sağlıkla ve çevreyle ilgili kaygılar kurşunun bu özelliklerinin önüne geçmekte ve kurşunun bir zırh malzemesi olarak kullanımının kısıtlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır [28].

2.5.3 Camlar

Camlar, uzun yıllardır radyasyon kalkanı olarak kullanılan, kurşun ve betona alternatif malzemelerdir. Camların beton ve kurşuna göre en büyük avantajları saydam olmalarıdır. Bu özellikleri sayesinde camlar, radyoaktif ortamda içeriği görebileceğimiz bir pencere oluşturma fırsatı sunmaktadır. Camların aynı zamanda gözlük, ekran camı, kamera lensi gibi kullanım alanları da mevcuttur. Camların bir diğer avantajı ise çok bileşenli olarak hazırlanabilmeleri olup, Cam sistemin içine eklenebilecek farklı bileşenler sayesinde, camın istenilen özellikleri (optik, fiziksel, ısı, kimyasal, zırhlama vb.) geliştirilerek zırhlama özellikleri ön plana çıkartılabilir.

2.6 Camların radyasyon zırhı olarak kullanımı

Camların, radyasyon zırh malzemesi olarak kullanımı hakkında literatürdeki ilk sistematik çalışma 2004 yılında Singh ve diğ. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada bizmut-borat ve bizmut-kurşun-borat cam sistemlerinin gama radyasyonuna karşı davranışları incelenmiş ve bazı standart radyasyon kalkanı olarak kullanılan betonlar ile kıyaslamaları yapılmıştır [29]. Aynı sene Fukuda ve diğ. tarafından, klinik olarak kullanılan bir X-ışını koruyucusunun ve kurşun camın radyasyona karşı koruyucu etkilerinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır [30]. 2005 yılında Arbuzov ve diğ. tarafından $PbO-P_2O_5-R_mO_n$ (R_mO_n : Grup I-V elementlerinin oksitleri) cam sistemlerinin bileşime bağlı olarak gama radyasyonu karşısındaki davranışını incelemişlerdir [31]. 2006 yılında Geleil ve diğ. $Li_2O-Al_2O_3-B_2O_3$ cam sisteminde içi boşluklu camların radyasyon özelliklerini incelemiştir [32]. 2007 yılında Arbuzov ve diğ. yüksek kurşun içeren ve seryum oksit ilaveli renksiz fosfat cam sisteminin radyasyon özelliklerini incelemiştir [33]. 2008 yılında yapılan çalışmalarda, Arbuzov ve diğ. yüksek kurşun içeriğine sahip fosfat camlarının radyasyon özelliklerini incelemiş ve bu camların radyasyon özelliklerini aynı kurşun miktarına sahip silikat camlarıyla karşılaştırmıştır [34]. Singh ve diğ. baryum-borat-uçucu kül cam sisteminin radyasyon özelliklerini araştırmış ve bu cam sisteminin gama radyasyonuna karşı beton ve sıradan baryum-borat camlardan daha iyi olduğunu gözlemlemiştir [35]. 2009 yılında Dararutana ve diğ. (Na_2O, K_2O)- $SiO_2-CaO-Al_2O_3-B_2O_3$ cam sistemine Bi_2O_3 katkısının radyasyon özelliklerine etkisini incelemişlerdir [36]. 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmalarda, Kirdsiri ve diğ. Bi_2O_3, PbO ve BaO içeren silikat camların radyasyon kalkanı özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [37]. Kaewkhao kurşunsuz radyasyon koruyucu camı geliştirilmek amacıyla baryum ve bizmut içeren camlar üzerine çalışmıştır [38]. 2012 yılında Kaewjaeng ve diğ. $SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-CaO-Na_2O$ cam sistemine BaO katkısının radyasyon özelliklerine etkisini incelemiştir [39]. Aynı yıl, Tuscharoen ve diğ. BaO, B_2O_3 ve pirinç kabuğu külü içeren cam sisteminin radyasyon özelliklerini incelemiştir [40]. Diğer bir çalışmalarında ise Tuscharoen ve diğ. B_2O_3 ve pirinç kabuğu külü içeren cam sistemine BaO katkısının radyasyon özelliklerine etkisini incelemiştir [41]. 2013 yılında Chanthima ve diğ. $SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-CaO-Na_2O-Bi_2O_3$ cam sisteminin radyasyon parametrelerini incelemiştir [42]. 2014 yılında Ruengsri kurşun esaslı silikat, borat ve fosfat cam sistemlerin radyasyon özelliklerini karşılaştırmıştır [43]. 2014 yılında yapılan çalışmalarda, Kurudirek kurşun içeren ve içermeyen camlar ile betonun radyasyon

zırhlama özelliklerini incelemiş ve karşılaştırmıştır [44]. Yasaka ve diğ. çinko-bizmut-borat cam sistemin radyasyon özelliklerini incelemişlerdir [45]. Singh ve diğ. silikat ve borat esaslı ağır metal camların radyasyon özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir [46]. 2015 yılında Kaundal B_2O_3 esaslı camlara Li_2O , Na_2O , K_2O , Bi_2O_3 katkılantırmış ve bu camların radyasyon koruma özelliklerini incelemiştir [47]. Rachniyom ve diğ. Bi_2O_3 - B_2O_3 - Na_2O -kömür uçucu külü içeren cam sisteminin radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir [48]. Diğer bir çalışmada ise Ruengsri ve diğ. BaO - B_2O_3 -pirinç kabuğu külü cam sisteminin radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir [49]. TeO_2 esaslı camlarla ilgili ilk çalışma 2016 yılında Issa ve diğ. tarafından gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmada ZnO - TeO_2 cam sisteminin gama radyasyon koruyucu özellikleri incelenmiştir [50]. 2016 yılında yapılan diğer çalışmalarda, Sarachai ve diğ. BaO - Na_2O - SiO_2 - B_2O_3 cam sisteminin foton etkileşimi ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemiştir [51]. Kaundal bizmut-borat camlarının radyasyon koruyucu parametrelerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir [52]. 2016 yılında Elalaily Bi_2O_3 - SiO_2 cam sistemine PbO , BaO , SrO ağır metal oksitlerini ekleyerek bu bileşenlerin camların radyasyon zırhlama özelliklerine etkisini incelemiştir [53]. 2017 yılında gerçekleştirilen çalışmalarda, Shamsad ve diğ. Li_2O - SrO - B_2O_3 cam sisteminin radyasyon özelliklerine Gd_2O_3 ve GdF_3 bileşenlerinin etkisini kıyaslamıştır [54]. Kaundal B_2O_3 esaslı camlara Li_2O , Na_2O , K_2O , Bi_2O_3 ilavesinin radyasyon özelliklerine etkisini araştırmıştır [55]. Ruengsri ve diğ. CaF_2 - Gd_2O_3 - P_2O_5 cam sistemini gama radyasyona karşı zırhlama özelliklerini incelemiştir [56]. Başka bir çalışmada Lakshminarayana ve diğ. TeO_2 - B_2O_3 - MoO_3 - ZnO - MO ($MO = Li_2O, Na_2O, K_2O, MgO, CaO$ ve PbO) cam sistemine farklı ağ modifiye edici ilavesinin radyasyon özelliklerine etkisini incelemişlerdir [57]. Diğer bir çalışmada, Lakshminarayana ve diğ. B_2O_3 - Bi_2O_3 - Al_2O_3 - ZnO - Li_2O - Dy_2O_3 veya Tb_4O_7 cam sisteminin radyasyon koruyucu parametrelerini incelemiştir [58]. Dong ve diğ. Bi_2O_3 - B_2O_3 - ZnO - Li_2O cam sisteminin radyasyon zırhlama uygulamaları için uygunluğunu araştırmıştır [59]. Kurudirek ağır metal borat camların radyasyon zırhlamada kullanım potansiyelini incelemiştir [60]. Sayyed ve diğ. TeO_2 - WO_3 camlarının radyasyon zırhlama yeterliliğini ölçmüşlerdir [61]. Shams ve diğ. ZnO - TeO_2 camlarının radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir [62]. Bu çalışmaların yanı sıra özellikle 2018 ve 2019 yılında radyasyon zırhlama özelliği gösteren camlara olan ilgi iyice artmış ve bu konuda çok sayıda makale yayınlanmıştır. Bu çalışmalar genel olarak Pb içermeyen veya az oranda içeren sistemler ve ağır metal oksit

esaslı camlar üzerine yoğunlaşmıştır [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93], [94], [95], [96], [97], [98], [99], [100], [101], [102], [103], [104], [105], [106], [107], [108], [109], [110], [111], [112], [113], [114], [115], [116], [117], [118], [119], [120], [121], [122], [123], [124], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134], [135], [136], [137], [138].

Literatürde radyasyon zırh malzemesi olarak araştırılan camlar dışında endüstride halihazırda kullanılan bazı radyasyon zırhlama camları mevcuttur. Bu camlardan bazıları: Schott AG cam firmasının radyasyon zırhı olarak geliştirdiği RS 253, RS 253 G18, RS 323 G19, RS 360 ve RS 520 camlarıdır. Bu camların yanı sıra Corning Inc. firmasının geliştirdiği Med-X Glass, Med-Gamma Glass ve Nuclear Glass Block camları bulunmaktadır. Endüstride radyasyon zırhlama camı olarak kullanılan bazı camların genel bileşimleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2. 1 Endüstride radyasyon zırhlama için kullanılan ticari camların genel özellikleri [139], [140]

Ticari camlar	PbO	SiO ₂	B ₂ O ₃	CeO ₂	ρ	kırılma indisi	LAK (0,2 MeV)
	%				g.cm ⁻³		cm ⁻¹
RS253	0	70-80	10-20	0	2,50	1,52	0,32
RS360	40-50	40-50	0	0	3,60	1,62	1,72
RS520	70-80	20-30	0	0	5,18	1,81	3,54
RSG52	71	0	0	0,35	5,18	1,81	-

-: bilinmeyen değer

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin ısı, optik ve yapısal açıdan incelenerek camlaşma davranışlarının belirlenmesi ve camların radyasyon zırhlama özelliklerinin incelenmesi amacıyla üçlü sisteme ait farklı bileşimde cam numuneler sentezlenmiş, sistemin cam yapma bileşim aralığı tespit edilerek camlaşma haritası oluşturulmuştur. Elde edilen cam numunelerin amorf yapıları X-ışınları difraksiyonu (XRD) yöntemiyle doğrulanmış, ısı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), optik özellikleri mor ötesi ve görünür bölge (UV-VIS) spektroskopisi, yapısal özellikleri Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) yöntemleriyle incelenmiştir. Camların fiziksel parametreleri ve radyasyon zırhlama özellikleri yoğunluk ölçümleri üzerinden belirlenmiştir. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin radyasyon zırhlama özelliklerinin ve radyasyon kalkanı olarak kullanım potansiyellerinin değerlendirmesi amacıyla kütle azaltma katsayısı (KAK), yarı değer kalınlık (YDK), ortalama serbest yol (OSY), etkin atom numarası (Z_{etk}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_e) değerleri incelenmiş ve cam numunelerin ticari camlar ve betonla radyasyon zırhlama özellikleri karşılaştırılmıştır.

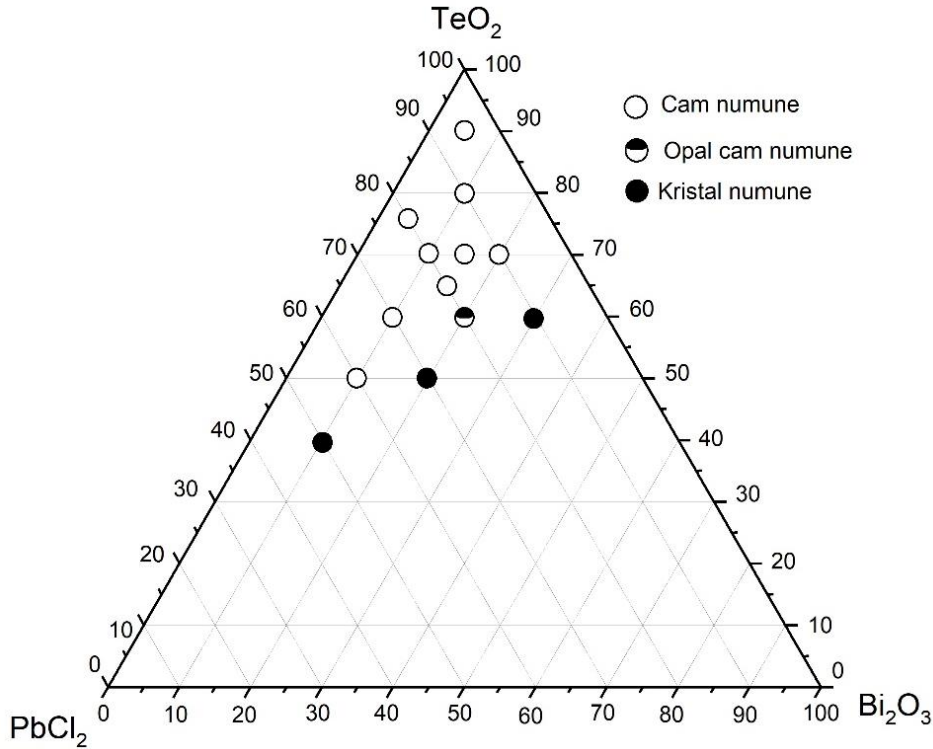
3.1 Numunelerin Sentezlenmesi

Cam numunelerin sentezlenmesi amacıyla başlangıç malzemesi olarak yüksek saflıkta Bi_2O_3 (%99,9, Aldrich), PbCl_2 (%99, Fisher Chemical) ve TeO_2 (%99,99, Alfa Aesar) tozları kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de deneysel çalışmalarda kullanılan başlangıç malzemelerinin genel özellikleri verilmiştir. Bu tez çalışmasında $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait 13 farklı bileşimde numune sentezlenmiş, bu numunelerden 9 tanesi cam

olarak elde edilmiştir. Şekil 3.1’de sentezlenen numuneler üçlü bileşim diyagramı üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3. 1 Cam sentezinde kullanılan başlangıç malzemelerinin genel özellikleri

Bileşen	Yoğunluk (g/cm ³)	Molar kütle (g/mol)	Ergime noktası (°C)	Kaynama noktası (°C)	Kristal Yapı
Bi₂O₃	8,9	465,96	817	1890	Monoklinik
PbCl₂	5,85	278,1	501	950	Ortorombik
TeO₂	5,67	159,6	733	1245	Ortorombik



Şekil 3. 1 Sentezlenen numunelerin bileşim diyagramı üzerinde gösterimi

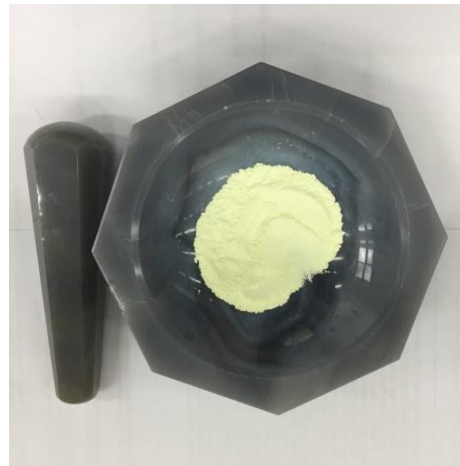
Numuneler, başlangıç malzemelerinin molar ağırlıkları esas alınarak hazırlanmış olup, Bi₂O₃, PbCl₂ ve TeO₂ bileşenlerinin teorik olarak hesaplanan mol yüzdelerine göre isimlendirilmiştir. Buna göre numuneler, bileşenlerinin ilk harfi ve mol yüzdeleri yan yana yazılarak kodlanmıştır. Hazırlanan cam numunelerin bileşimleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi B10P50T40, B20P30T50, B30P10T60

numuneleri cam olarak sentezlenememiş, B20P20T60 numunesi ise kısmi cam (opal) olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3. 2 Bi_2O_3 - PbCl_2 - TeO_2 sisteminde hazırlanan cam numune bileşimleri ve numune kodları

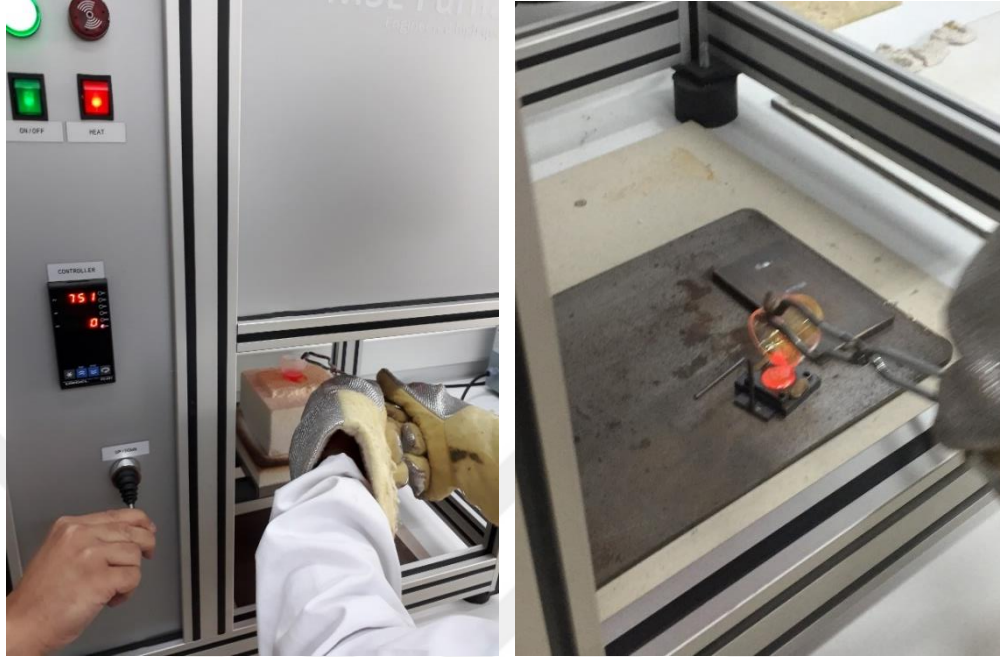
Numune Kodu	Bileşenler (mol%)		
	TeO_2	PbCl_2	Bi_2O_3
B5P5T90	90	5	5
B10P10T80	80	10	10
B5P20T75	75	20	5
B10P20T70	70	20	10
B15P15T70	70	15	15
B20P10T70	70	10	20
B20P15T65	65	20	15
B10P30T60	60	30	10
B10P40T50	50	40	10

Camların sentezlenmesi amacıyla belirlenen bileşimlere sahip 7 gramlık toz karışımları Precisa™ marka 10^{-4} g hassasiyette hassas terazide tartılarak hazırlanmış ve agat havan içerisinde 30 dakika boyunca karıştırılarak homojen bir cam harmanı elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 Hassas terazide toz tartımı ve agat havan içerisinde tozun karşılaştırılması

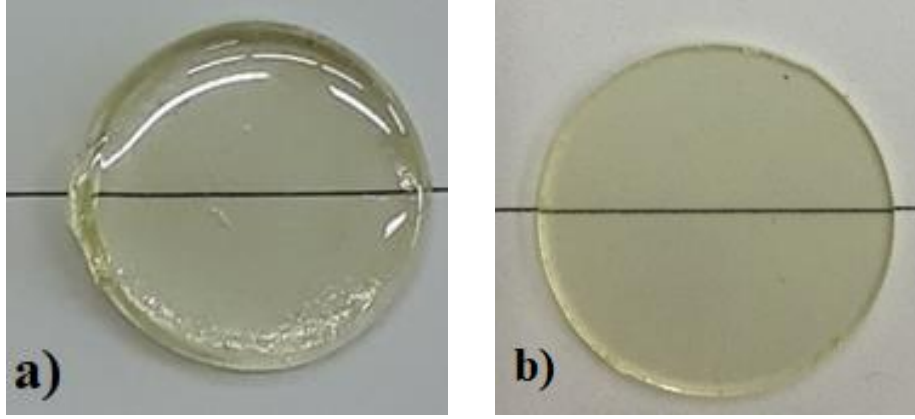
Ardından elde edilen cam harmanı kapaklı kuvars potalar içerisinde 4 dakika süreyle 800 °C sıcaklıktaki MSE marka asansörlü fırın içerisinde ergitilmiş ve etüv içerisinde ön ısıtılmış paslanmaz çelik kalıba dökülerek numuneler hazırlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3 Ergitme döküm yöntemiyle numune üretimi

Geleneksel ergitme döküm yöntemi ile sentezlenen numunelerin ısı analiz sonucu belirlenen cam geçiş sıcaklıkları dikkate alınarak numunelere Protherm PLF 120/5 fırın içerisinde 270 °C sıcaklıkta 2 saat gerilim giderme tavlama uygulanmış ve ardından numuneler fırın içerisinde kontrollü olarak oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Sentezlenen numunelerin karakterizasyon çalışmaları öncesinde düzgün ve paralel yüzeylere sahip hale getirilmesi amacıyla ergitme döküm sonrası elde edilen numuneler sırasıyla 320, 600, 1200 ve 2500'lük zımpara kağıtları ile zımparalanmış ve ardından Struers marka diaduo-2 elmas pasta ile parlatılmış ve ölçümler için hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.4'te örnek olarak bir numunenin zımpara öncesi ve sonrası resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Cam numune yüzeyleri a) zımpara öncesi b) zımpara sonrası

3.2 Numunelerin X-ışınları Karakterizasyonu

Sentezlenen cam numunelerin amorf yapıda olduklarını kontrol etmek amacıyla gerçekleştirilen X-ışınları difraksiyon çalışmaları Philips/PANalytical X'pert PRO XRD cihazı ile Cu-K α radyasyonu kullanılarak, 45 kV ve 40 mA ayarlarında, $2\theta = 10^\circ$ - 80° aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan XRD incelemeleri sonucu ergitme döküm sonrası elde edilen numunelerin amorf yapıda oldukları doğrulanmıştır.

3.3 Numunelerin Optik Karakterizasyonu

Sentezlenen cam numunelerin optik karakterizasyonları geçirgenlik özellikleri açısından incelenmiştir. Bu amaçla, hazırlanan cam numunelerin 190-1100 nm dalga boyu aralığında geçirgenlik değerleri katı numune tutacağına sahip PG Instruments marka T80+ model UV-VIS spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir.

3.4 Numunelerin Isıl Karakterizasyonu

Sentezlenen numunelerin ısı özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) tekniği ile belirlenmiştir. Isıl karakterizasyon çalışmaları Netzsch 204 F1 DSC cihazı kullanılarak 25 ± 1 mg'lık toz numuneler ile alüminyum potalar içerisinde, Ar atmosferi altında $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ile 450°C 'ye kadar gerçekleştirilmiştir. Isıl analizler sonucunda numunelerin cam geçiş (T_g), ekzotermik pik onset (T_c) ve ekzotermik pik (T_p) sıcaklıkları ve ısı kararlılık değerleri (ΔT) belirlenmiştir. Isıl kararlılık değerleri, cam geçiş sıcaklığı ile ilk kristalizasyon onset sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı alınarak, $\Delta T = T_c - T_g$, hesaplanmıştır. Yüksek ΔT değeri camların yüksek ısı kararlılığını yani kristalizasyona karşı dirençlerini temsil etmektedir.

3.5 Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Sentezlenen cam numunelerin bileşime bağlı olarak yapılarında meydana gelen değişimlerin yorumlanması amacıyla; yoğunluk, ρ , molar hacim, V_M , oksijen molar hacim, V_O ve oksijen paketlenme yoğunluğu, OPD, değerleri hesaplanmıştır.

Camların yoğunlukları, daldırma sıvısı olarak deiyonize su kullanılarak 10^{-4} g hassasiyetteki hassas terazi ile oda sıcaklığında Arşimet yöntemi kullanılarak yapılan 5 tekrarlı ölçüm sonucu belirlenmiştir. Camların yoğunlukları Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır [141].

$$\rho = \frac{W_{Hava}}{W_{Hava} - W_{Su}} \quad (3.1)$$

Denklem gereğince ρ camın yoğunluğu, W_{Hava} cam numunenin havadaki ağırlığını, W_{Su} ise cam numunenin sudaki ağırlığını ifade etmektedir.

Camların molar hacim, V_M , değerleri Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır [141].

$$V_M = \frac{M}{\rho} = \frac{\sum X_i M_i}{\rho} \quad (3.2)$$

Denklem gereğince, X_i her bir i bileşeninin mol kesrini, M_i molekül ağırlığını ve ρ ise numunenin yoğunluğunu belirtmektedir.

Camların oksijen molar hacim değerleri, V_O , Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır [141].

$$V_O = \left(\frac{\sum X_i M_i}{\rho} \right) \left(\frac{1}{\sum X_i n_i} \right) \quad (3.3)$$

Denklem gereğince, X_i her bir i bileşeninin mol kesrini, M_i molekül ağırlığını, ρ numunenin yoğunluğunu ve n_i ise her bir oksit bileşen içindeki oksijen atomu sayısını ifade etmektedir.

Oksijen paketlenme yoğunluğu, OPD, değerleri Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır. [141]

$$OPD = 1000C \left(\frac{\rho}{M} \right) \quad (3.4)$$

Denklemdaki C her bir numune bileşimi için toplam oksijen atomu sayısını, ρ numune yoğunluğunu ve M ise numunenin molekül ağırlığını ifade etmektedir.

3.6 Numunelerin Yapısal Karakterizasyonu

Numunelerin yapısal karakterizasyonu Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan cam numunelerin 400-4000 cm^{-1} dalga numarası aralığında reflektans değerleri Bruker Hyperion 3000 model FTIR cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.7 Numunelerin Radyasyon zırlama özelliklerinin incelenmesi

Sentezlenen cam numunelerin tespit edilen yoğunluk değerleri ve XCOM yazılımı kullanılarak radyasyon zırlama özellikleri hesaplanmıştır.

XCOM yazılımı, element, bileşik veya karışımlar için 1 keV - 100 GeV enerji aralığında Compton saçılması, fotoelektrik saçılma, çift oluşumu ve kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanabileceği ve literatürde radyasyon zırlama özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır. XCOM yazılımı [142] Berger ve Hubbell [143] tarafından 1987 yılında kullanıma sunulmuş ve Gerward ve diğ. [144] tarafından geliştirilmiştir. Literatürde kabul görmüş bir yazılım olan XCOM radyasyon zırlama özelliklerinin tespitinde %90'ın üzerinde doğruluk oranı vermektedir [145], [146].

Şekil 3.5'de gösterildiği gibi XCOM yazılımı kullanırken incelenecek karışımı (cam bileşimi) oluşturan bileşenlerin ağırlıkça yüzdeleri ve çalışma enerji aralığı girilerek kütle zayıflatma katsayıları (μ/ρ) hesaplanır.

The screenshot displays the XCOM software interface. On the left, a text box contains the following input: "TeO2 0.8", "PbCl2 0.1", and "Bi2O3 0.1". Above this box, a note states: "Note: Weights not summing to 1 will be normalized." On the right, there is a checkbox labeled "Include the standard grid" which is checked. Below this, the "Energy Range:" section shows "Minimum: 0.015 MeV" and "Maximum: 15 MeV".

Şekil 3. 5 XCOM yazılımı parametre girişleri

Beer-Lambert kanunu (Denklem 3.5) tek enerjili paralel şua halinde hedef numuneye gelen γ veya X-ışını şiddetinin numune içinde üstel olarak azalmasını ifade eder [147].

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.5)$$

Denklem gereğince I_0 hedef numuneye gelen foton şiddetini, I ise malzeme ile etkileştikten sonra çıkan foton şiddetini, x (cm) numunenin kalınlığını, μ (cm^{-1}) ise lineer azaltma katsayısını gösterir.

Lineer azaltma katsayısı (LAK), birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen enerji azaltma kesrini ifade etmektedir. LAK ile malzemenin yoğunluğunun oranı (Denklem 3.6) kütle azaltma katsayısını (KAK) verir. KAK birim alanda birim kütle başına düşen enerji azaltma kesrini ifade eder.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{cm^2}{g} \right) \quad (3.6)$$

Kütle azaltma katsayısı ve yoğunluk değerleri kullanılarak diğer radyasyon zırhlama parametreleri olan yarı değer kalınlık (YDK), ortalama serbest yol (OSY), etkin atom numarası (Z_{etk}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_e) hesaplanabilir.

Yarı değer kalınlık (cm^{-1}), gelen foton şiddetinin yarıya inmesi için gerekli olan malzeme kalınlığını ifade eder (Denklem 3.7) [147].

$$YDK = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (3.7)$$

Burada μ (cm^{-1}) lineer azaltma katsayısını, YDK (cm^{-1}) yarı değer kalınlık değerini ifade eder.

Etkin atom numarası, Z_{etk} , (Denklem 3.8) çoklu element yapısındaki maddelerde kullanılan elementlerin atom numaralarına benzeyen enerjiye bağlı bir parametredir. Etkin atom numarası teorik olarak toplam atom tesir kesitinin, σ_a , (Denklem 3.9), toplam elektron tesir kesitine, σ_e , (Denklem 3.10) oranıdır [147].

$$Z_{etk} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (3.8)$$

$$\sigma_a = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{N_A \sum_i^n \left(\frac{w_i}{A_i} \right)} \quad (3.9)$$

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum_i^n \frac{f_i A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \quad (3.10)$$

Denklem 3.8 – 3.10 gereğince, N_A avogadro sayısını, w_i i elementinin ağırlıkça yüzdesini, f_i i elementinin molar yüzdesini, A_i i elementinin kütle numarasını, Z_i i elementinin atom numarasını göstermektedir.

Etkin elektron yoğunluğu (N_{etk}) (Denklem 3.11) birim kütlede madde ile etkileşime giren elektron sayısını ifade etmektedir [113].

$$N_{etk} = N_A \frac{Z_{etk}}{\sum_i f_i A_i} \quad (3.11)$$

Burada A_i i numaralı elementin ortalama atomik kütlesi ve f_i i numaralı elementin molar yüzdesidir.



DENEYSEL SONUÇLAR

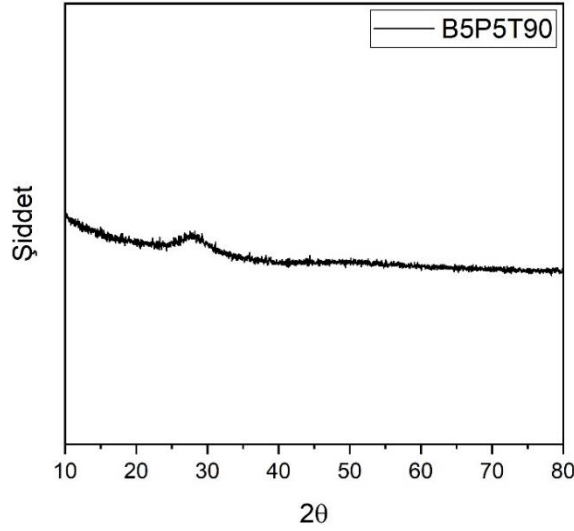
4.1 B5P5T90 Cam Numunesi

Molce %5 Bi_2O_3 - %5 PbCl_2 - %90 TeO_2 bileşimine sahip B5P5T90 numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.1’de görülmektedir. Uygulanan ergitme-döküm koşullarında numune homojen görünümlü, saydam ve açık sarı renkte elde edilmiştir.



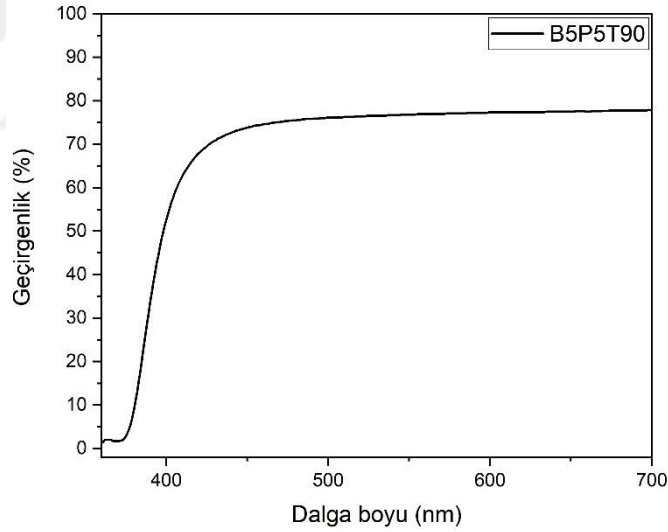
Şekil 4. 1 B5P5T90 numunesinin makro görüntüsü

Numunenin amorf yapıda olduğunun doğrulanması için B5P5T90 numunesine uygulanan XRD analizi sonucu Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, numunede kristalin yapıya ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



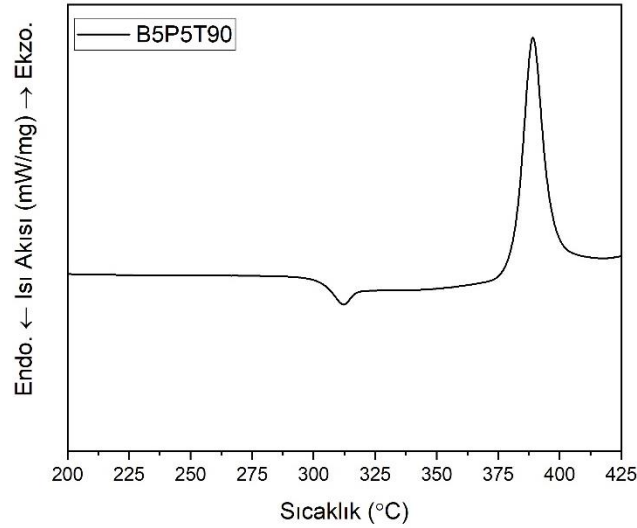
Şekil 4. 2 B5P5T90 numunesinin XRD analiz sonucu

B5P5T90 numunesinin optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen %geçirgenlik ölçüm sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'ten, numunenin görünür bölgede yaklaşık %77 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm'den daha düşük dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 3 B5P5T90 numunesinin %geçirgenlik değişimi

B5P5T90 numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.4'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 303 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 381 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 390 °C olarak bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 78 °C olarak belirlenmiştir.



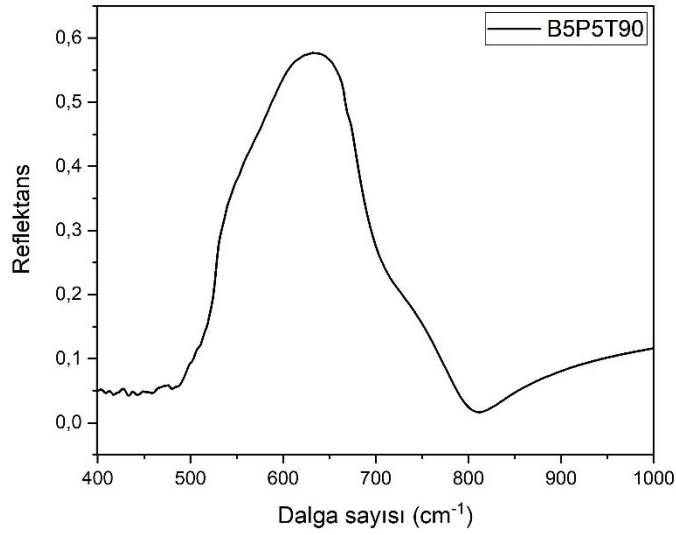
Şekil 4. 4 B5P5T90 numunesinin DSC analizi sonucu

B5P5T90 numunesinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ölçülen yoğunluk değeri $5,85 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 B5P5T90 numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri

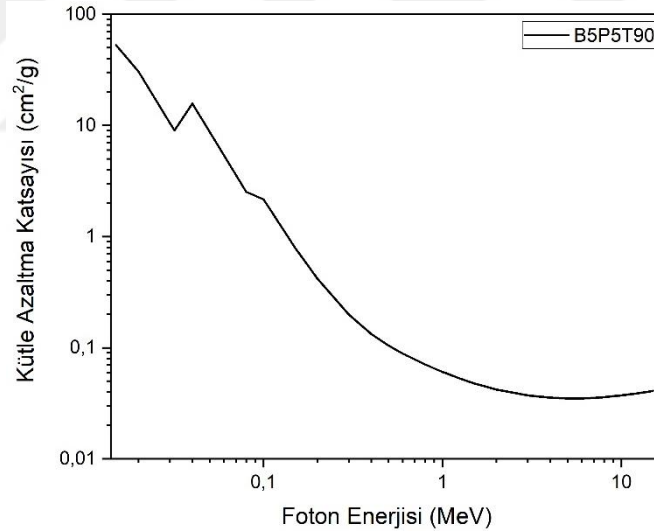
Numune	ρ (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B5P5T90	5,85	28,92	15,43	67,42

B5P5T90 numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.5’te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 509 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikin BiO_6 yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 551 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikin BiO_6 yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 578 cm^{-1} ve 632 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin TeO_4 üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 750 cm^{-1} ’deki pikin ise $\text{TeO}_3/\text{TeO}_{3+1}$ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir.



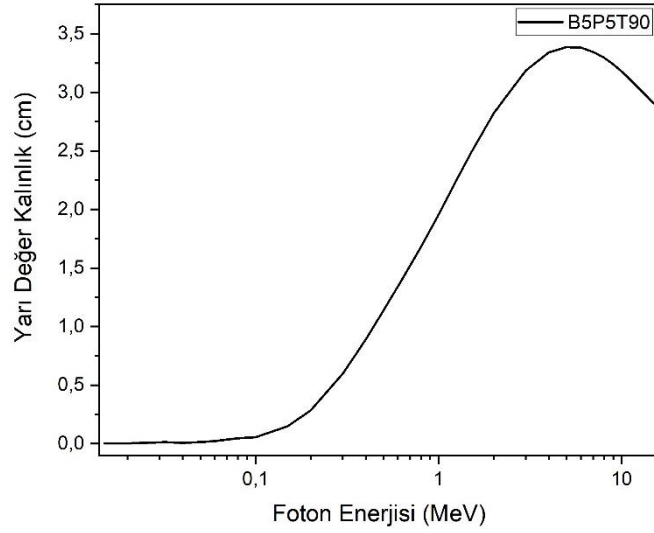
Şekil 4. 5 B5P5T90 numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



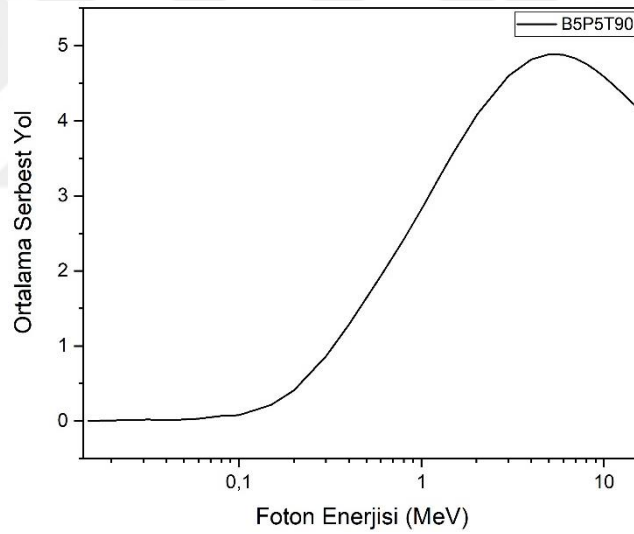
Şekil 4. 6 B5P5T90 numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



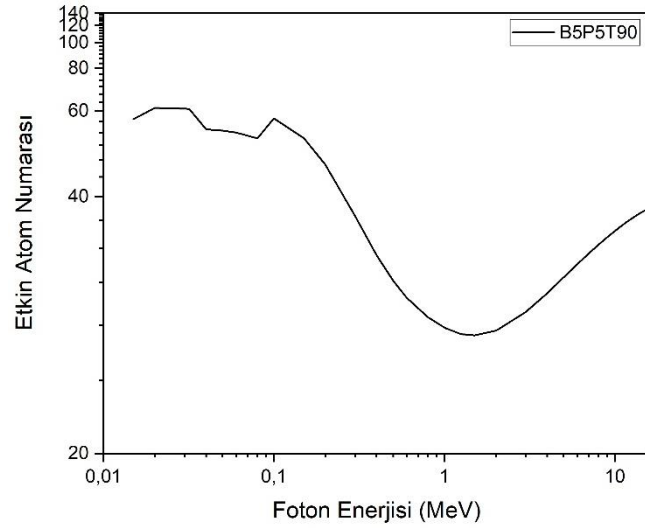
Şekil 4. 7 B5P5T90 numunesinin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



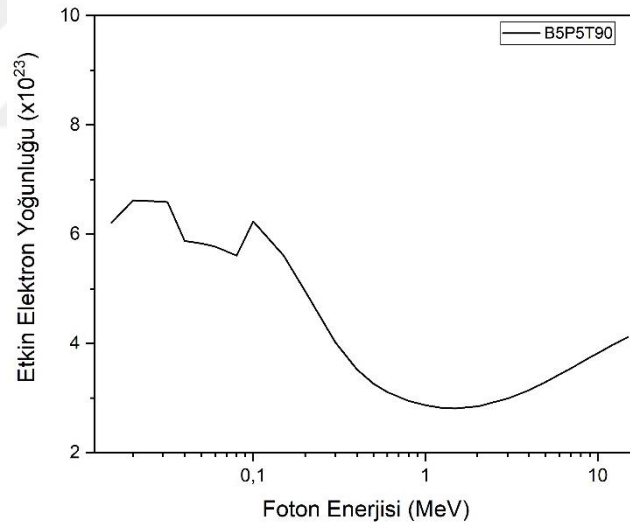
Şekil 4. 8 B5P5T90 numunesinin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar Z_{etk} değerlerinde bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 9 B5P5T90 numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

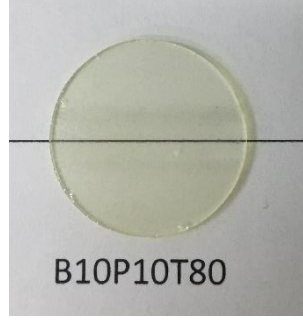
B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar N_e değerlerinde bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 10 B5P5T90 numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

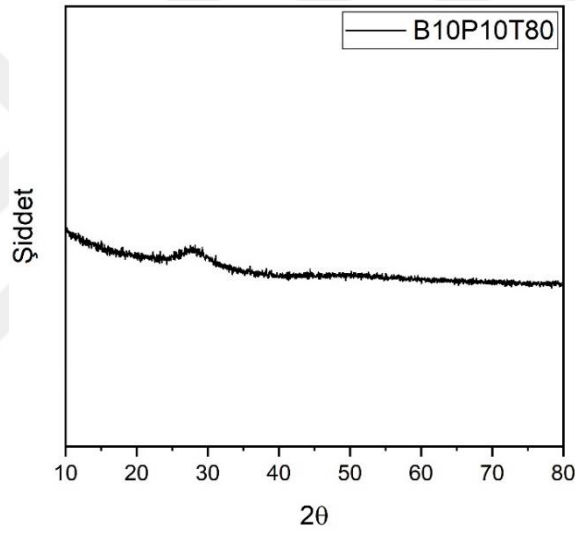
4.2 B10P10T80 Cam Numunesi

%10 Bi₂O₃ - %10 PbCl₂ - %80 TeO₂ bileşimine sahip B10P10T80 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.11'de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



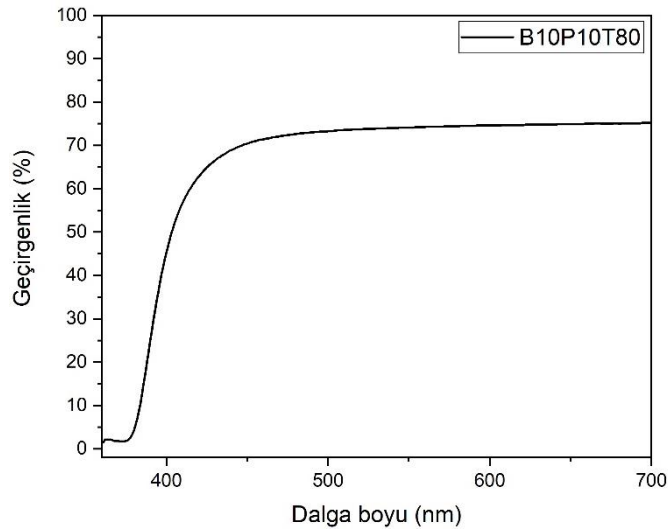
Şekil 4. 11 B10P10T80 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B10P10T80 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi, numunede kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



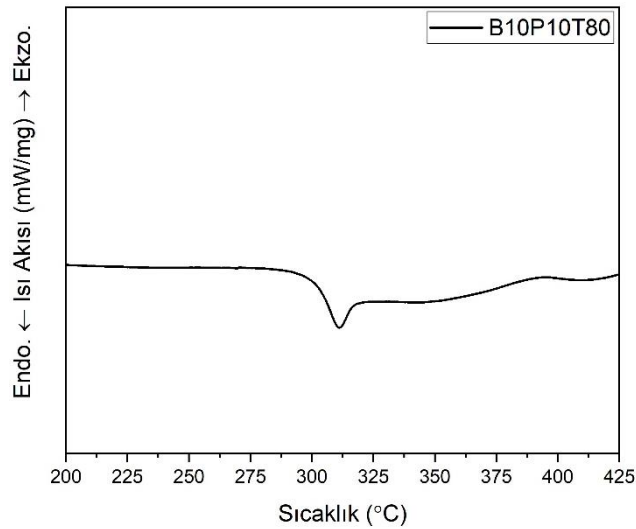
Şekil 4. 12 B10P10T80 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

B10P10T80 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.13’te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %75 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm’nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 13 B10P10T80 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B10P10T80 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.14'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 301 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 375 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 394 °C olarak bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 74 °C olarak belirlenmiştir.



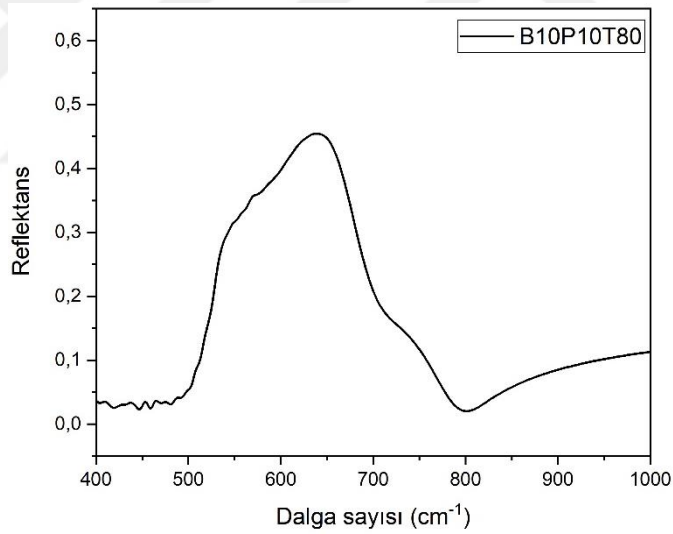
Şekil 4. 14 B10P10T80 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B10P10T80 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri 6,08 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 B10P10T80 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

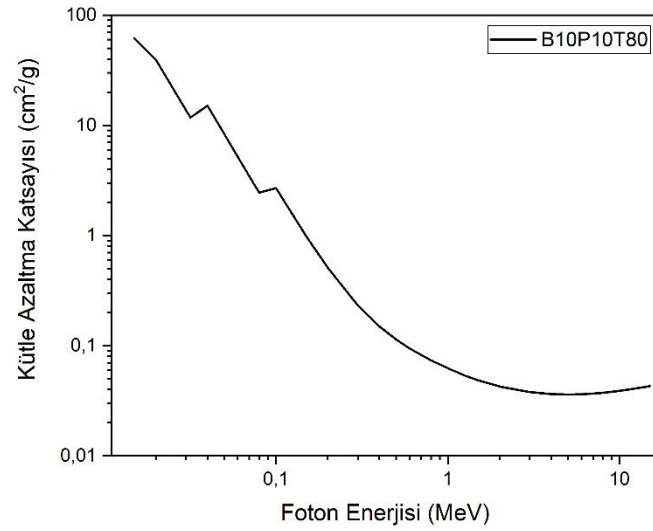
Numune	ρ (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P10T80	6,08	29,41	16,80	64,61

B10P10T80 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.15'te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 511 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 548 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 571 cm⁻¹ ve 634 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 748 cm⁻¹'deki pikin TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



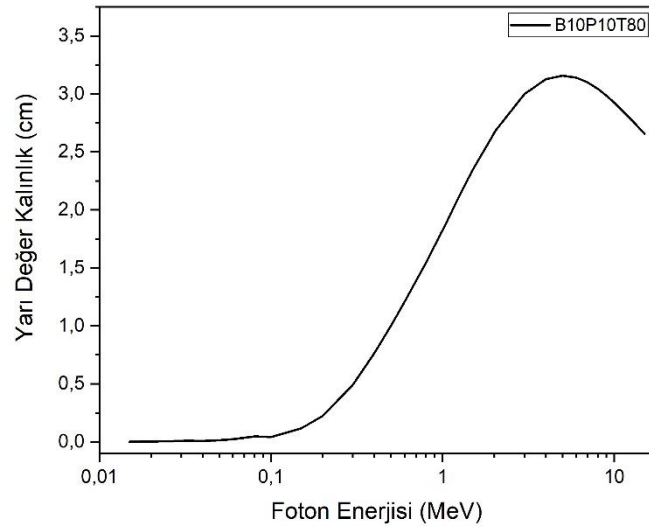
Şekil 4. 15 B10P10T80 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.16'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



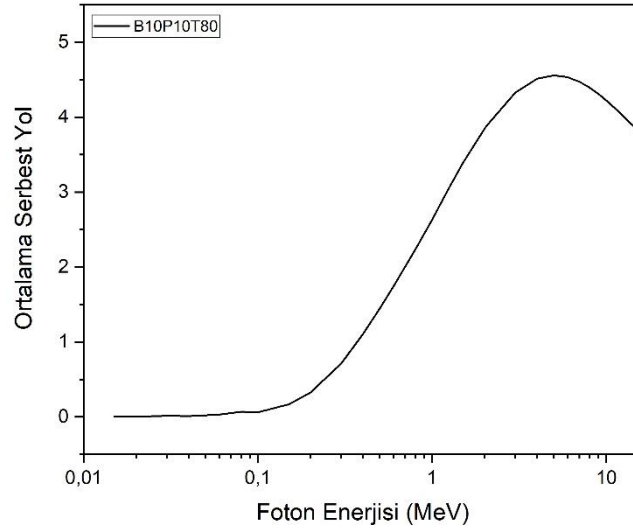
Şekil 4. 16 B10P10T80 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.17'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



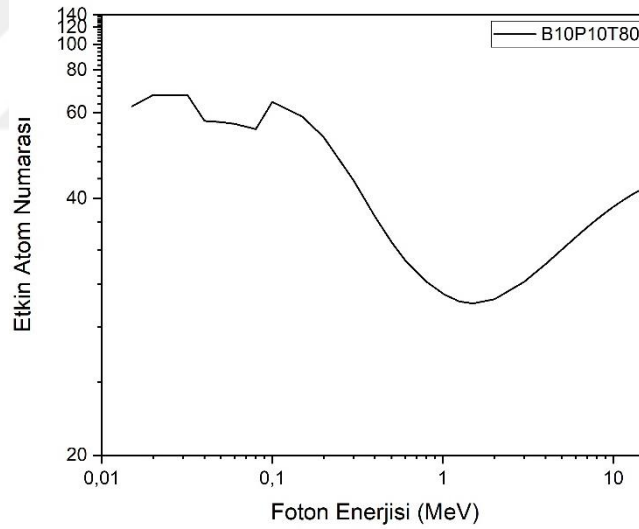
Şekil 4. 17 B10P10T80 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18'de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY değerleri neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



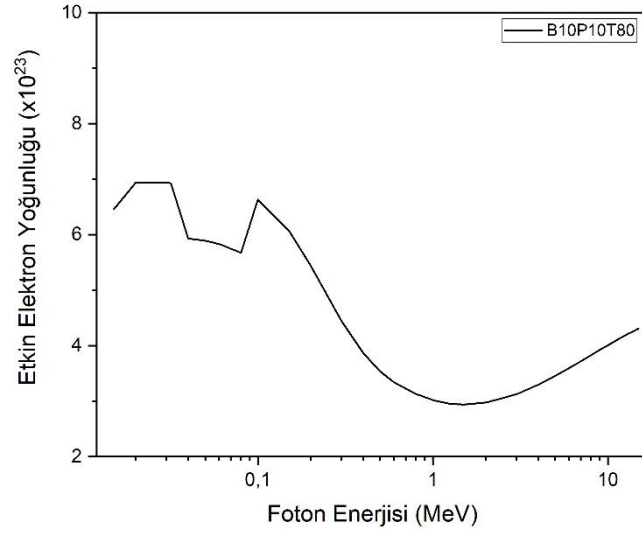
Şekil 4. 18 B10P10T80 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte etkin atom numarasında 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 19 B10P10T80 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.20’da verilmiştir. Şekil 4.20’da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar elektron yoğunluğunda bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 20 B10P10T80 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

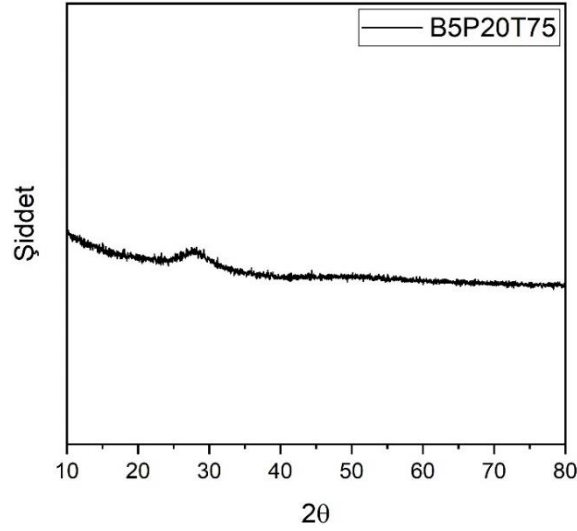
4.3 B5P20T75 Cam Numunesi

%5 Bi_2O_3 - %20 PbCl_2 - %75 TeO_2 bileşimine sahip B5P20T75 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.21’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



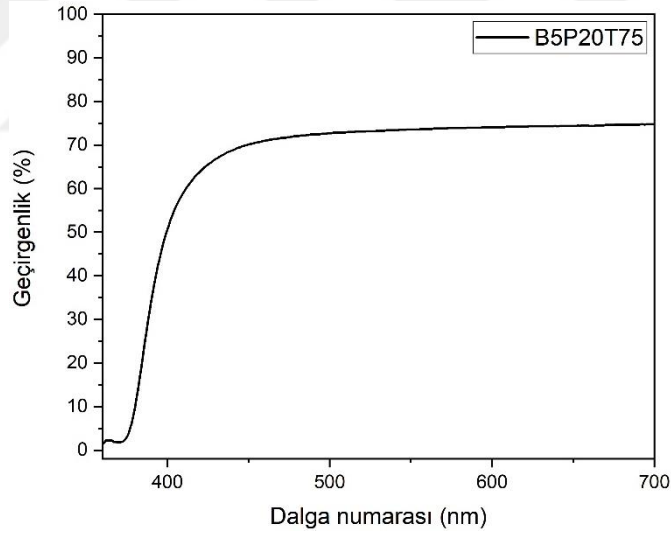
Şekil 4. 21 B5P20T75 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B5P20T75 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22’de de görüldüğü gibi, kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



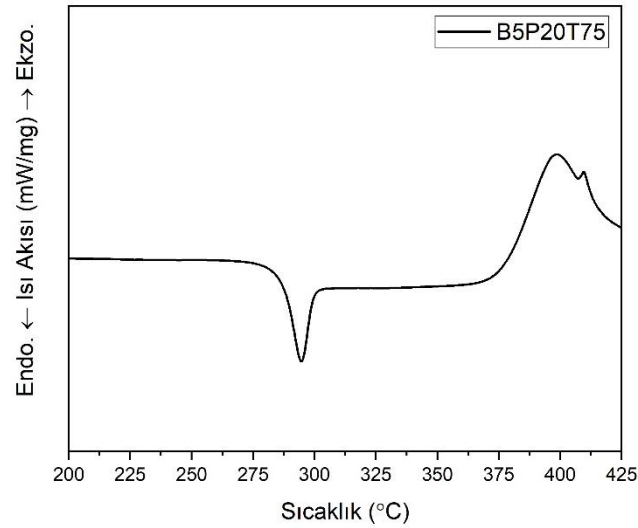
Şekil 4. 22 B5P20T75 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

B5P20T75 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.23'te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %74 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm'nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 23 B5P20T75 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B5P20T75 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.24'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 287 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığının (T_c) 378 °C, kristalizasyon pik sıcaklığının (T_p) ise 399 °C olduğu bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 91 °C olarak belirlenmiştir



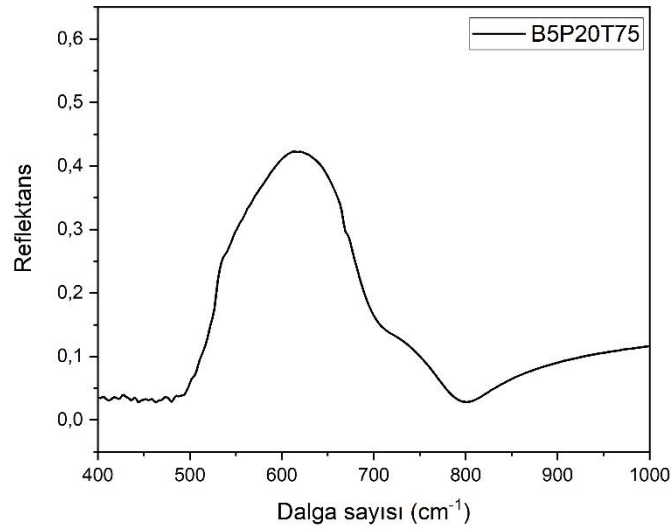
Şekil 4. 24 B5P20T75 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B5P20T75 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri $5,89 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4. 3 B5P20T75 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

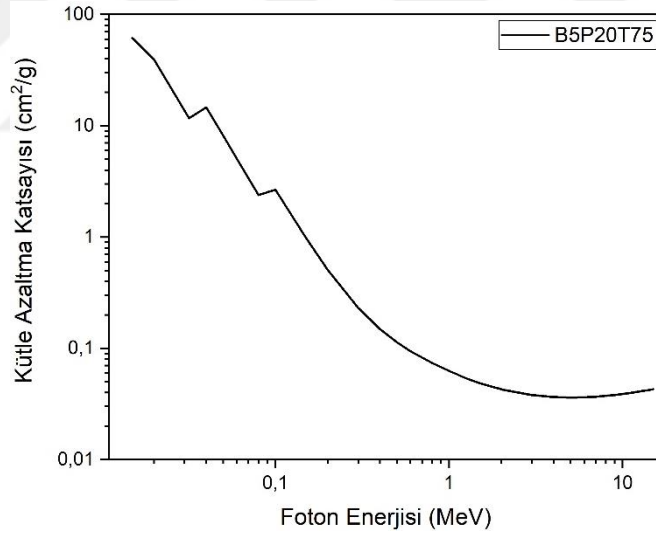
Numune	ρ (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B5P20T75	5,86	31,74	20,15	51,98

B5P20T75 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.25’te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 516 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikin BiO_6 yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 545 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin BiO_6 yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 572 cm^{-1} ve 620 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin TeO_4 üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 743 cm^{-1} ’deki pikin $\text{TeO}_3 / \text{TeO}_{3+1}$ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



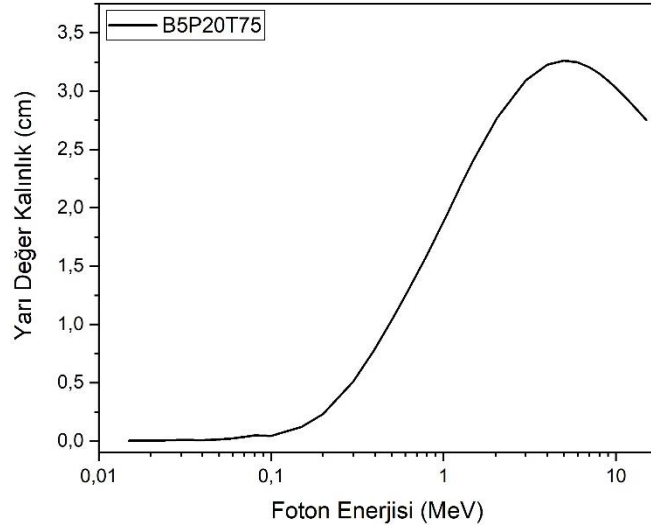
Şekil 4. 25 B5P20T75 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.26'da verilmiştir. Şekil 4.26'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



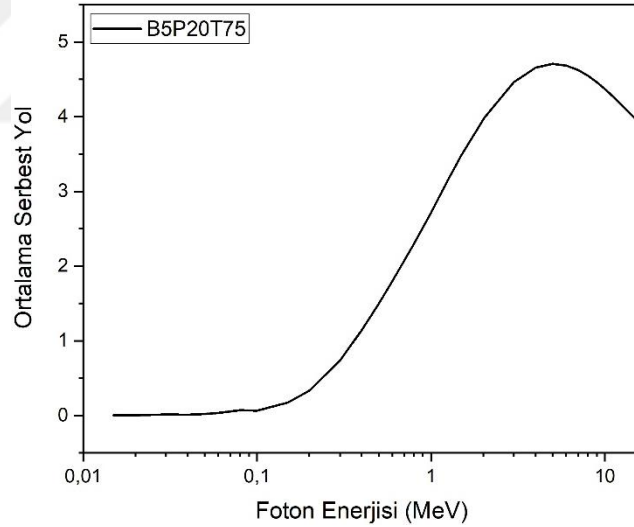
Şekil 4. 26 B5P20T75 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekil 4.27'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



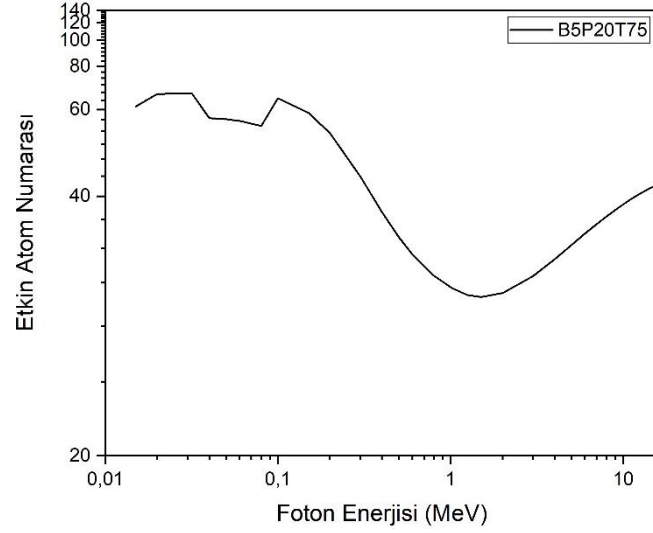
Şekil 4. 27 B5P20T75 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.28’de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



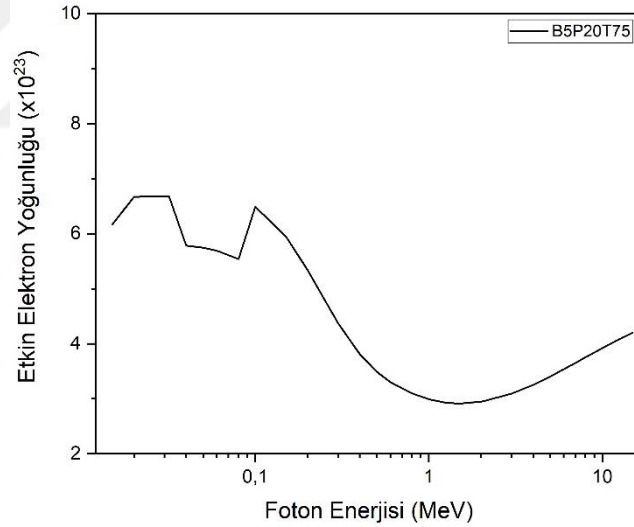
Şekil 4. 28 B5P20T75 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.29’da verilmiştir. Şekil 4.29’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar Z_{etk} değerlerinde bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 29 B5P20T75 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.30'da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar N_e 'de bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 30 B5P20T75 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

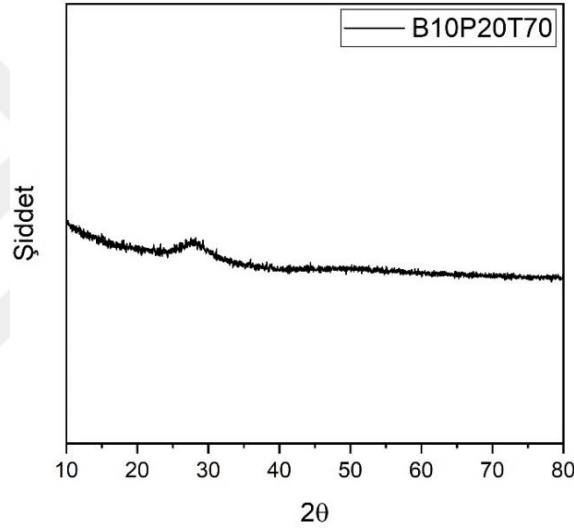
4.4 B10P20T70 Cam Numunesi

%10 Bi_2O_3 - %20 PbCl_2 - %70 TeO_2 bileşimine sahip B10P20T70 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.31'de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



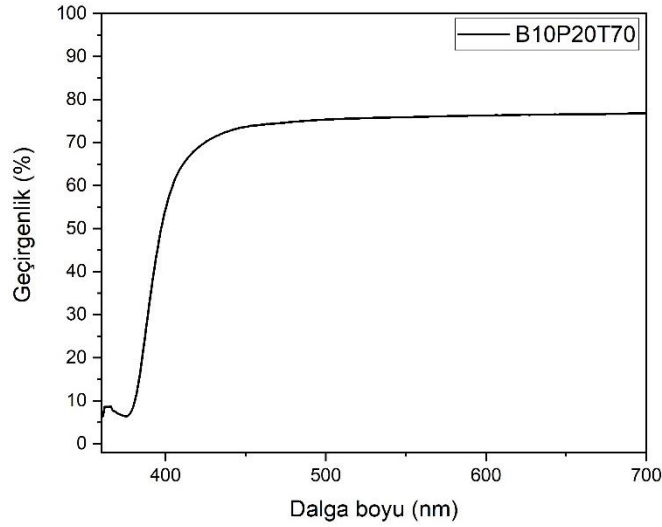
Şekil 4. 31 B10P20T70 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B10P20T70 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.32’de verilmiştir. Şekil 4.32’de de görüldüğü gibi, numunede kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



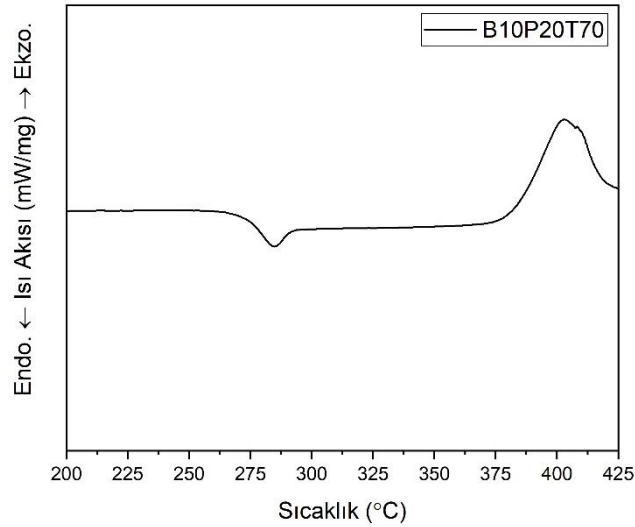
Şekil 4. 32 B10P20T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

B10P20T70 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.33’te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %76 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm’nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 33 B10P20T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B10P20T70 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.34'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 272 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 382 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 403 °C olarak bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 110 °C olarak belirlenmiştir



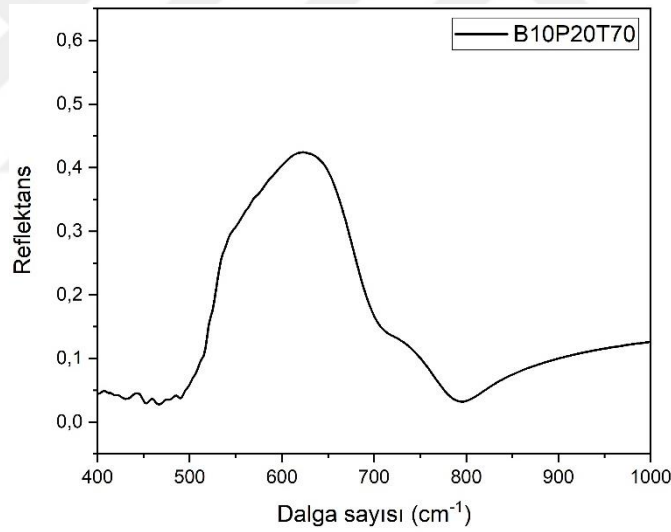
Şekil 4. 34 B10P20T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B10P20T70 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri 6,03 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4 B10P20T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

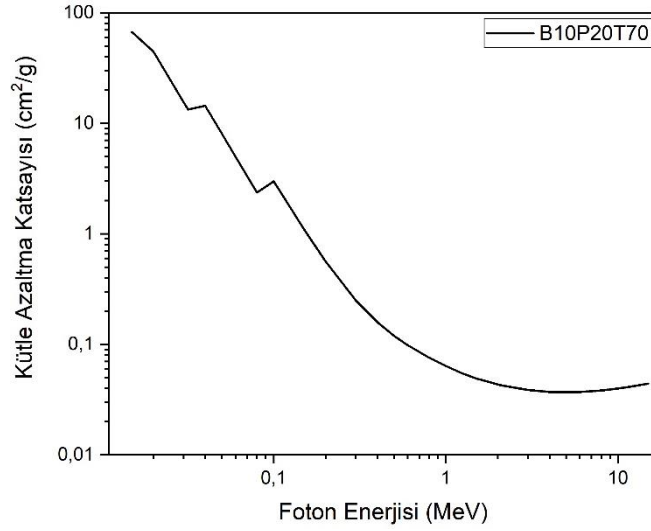
Numune	ρ (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P20T70	6,03	31,59	20,38	53,81

B10P20T70 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.35'te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 515 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 544 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 574 cm⁻¹ ve 622 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 741 cm⁻¹'deki pikin TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



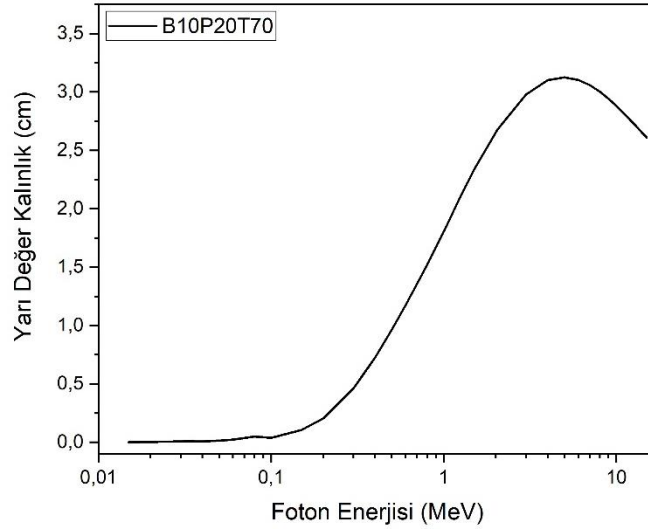
Şekil 4. 35 B10P20T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.36'da verilmiştir. Şekil 4.36'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



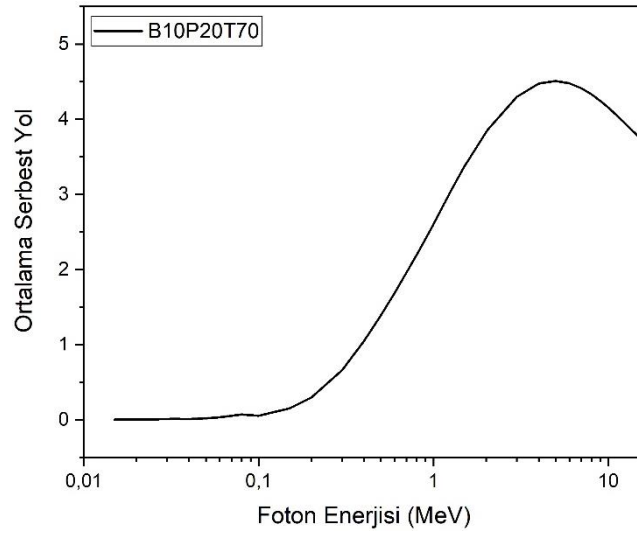
Şekil 4. 36 B10P20T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.37'de verilmiştir. Şekil 4.37'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



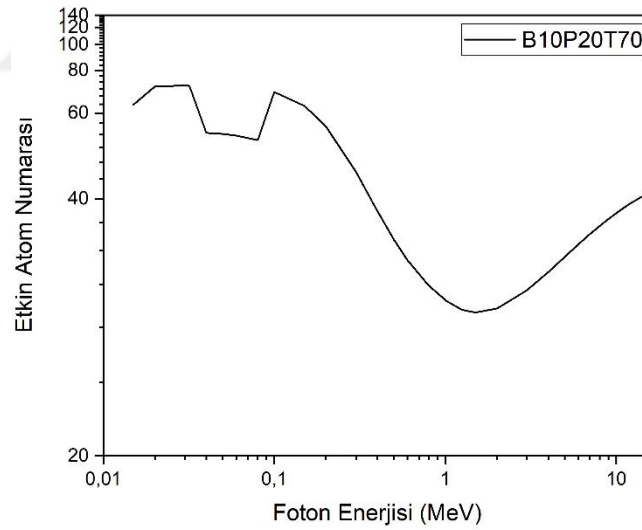
Şekil 4. 37 B10P20T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.38'de verilmiştir. Şekil 4.38'de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY değerleri neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



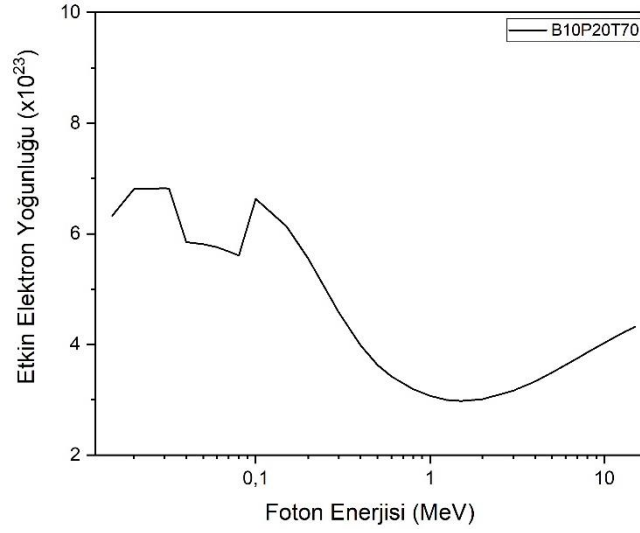
Şekil 4. 38 B10P20T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.39’da verilmiştir. Şekil 4.39’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte etkin atom numarası değerlerinde 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 39 B10P20T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.40’da verilmiştir. Şekil 4.40’da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte elektron yoğunluğunda 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 40 B10P20T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

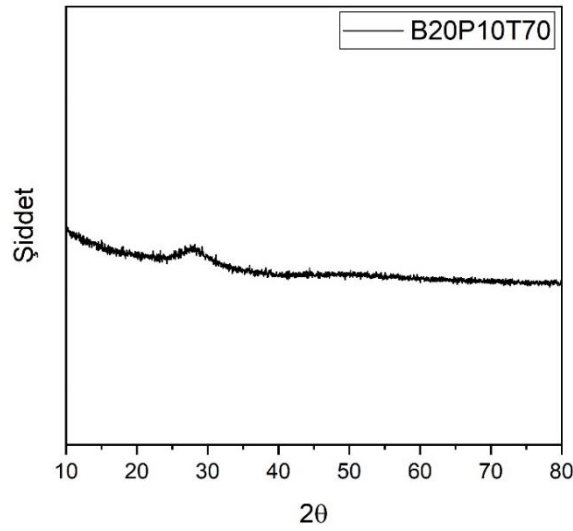
4.5 B20P10T70 Cam Numunesi

%20 Bi_2O_3 - %10 PbCl_2 - %70 TeO_2 bileşimine sahip B20P10T70 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.41’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



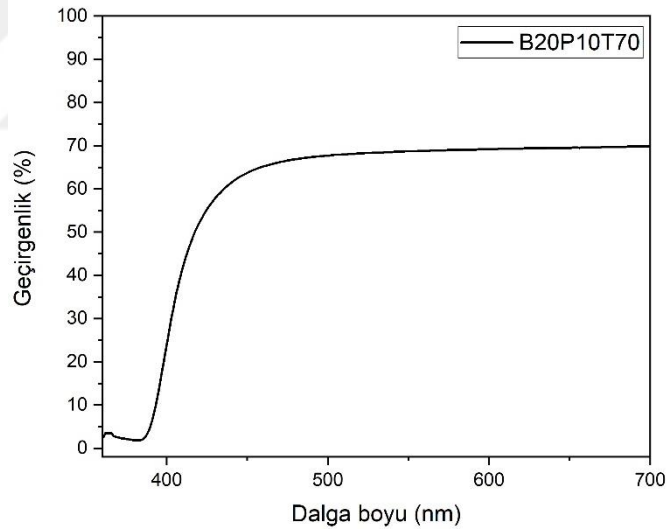
Şekil 4. 41 B20P10T70 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B20P10T70 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.42’de verilmiştir. Şekil 4.42’de de görüldüğü gibi, numunede kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 42 B20P10T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

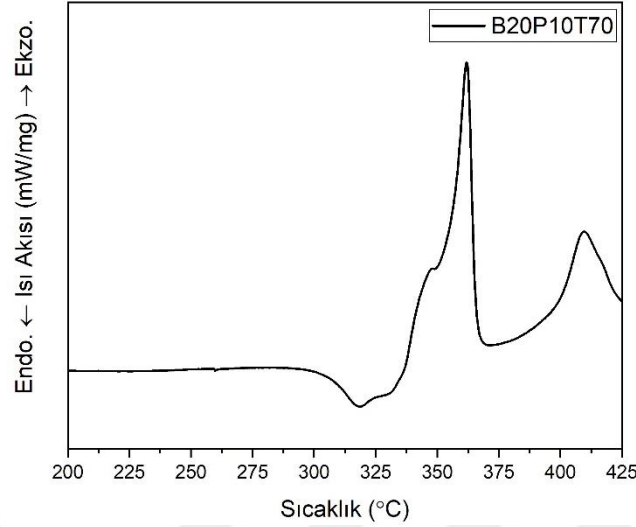
B20P10T70 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.43'te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %70 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm'nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 43 B20P10T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B20P10T70 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.44'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 304 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ilk ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_{c1}) 336 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_{p1}) ise 362 °C olduğu bulunmuştur. Diğer ekzotermik pikin ise başka bir kristalizasyon reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve onset sıcaklığı (T_{c2})

400 °C, pik sıcaklığı ise 410 °C olarak belirlenmiştir. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 32 °C olarak belirlenmiştir.



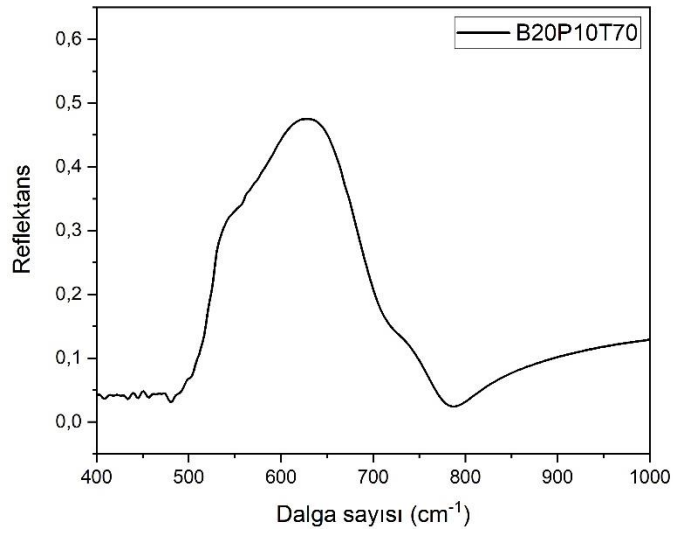
Şekil 4. 44 B20P10T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B20P10T70 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri 6,55 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4. 5 B20P10T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

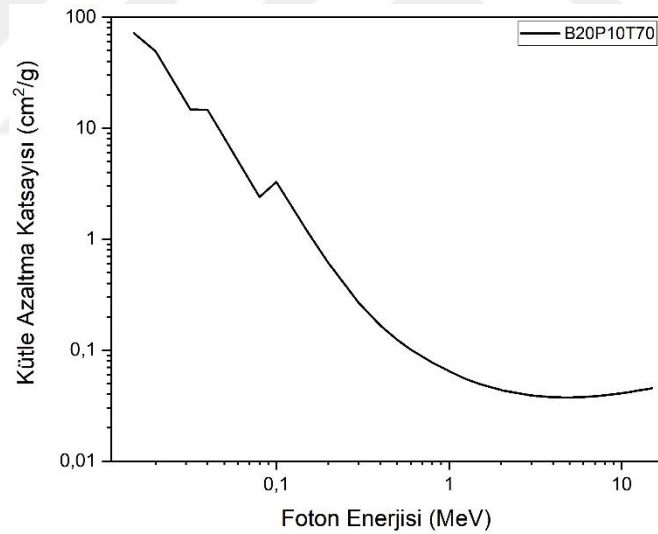
Numune	ρ (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B20P10T70	6,55	28,42	16,72	70,38

B20P10T70 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.45’te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 515 cm⁻¹’de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 545 cm⁻¹’de gözlemlenen piklerin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 575 cm⁻¹ ve 622 cm⁻¹’de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 734 cm⁻¹’deki pikin TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 45 B20P10T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

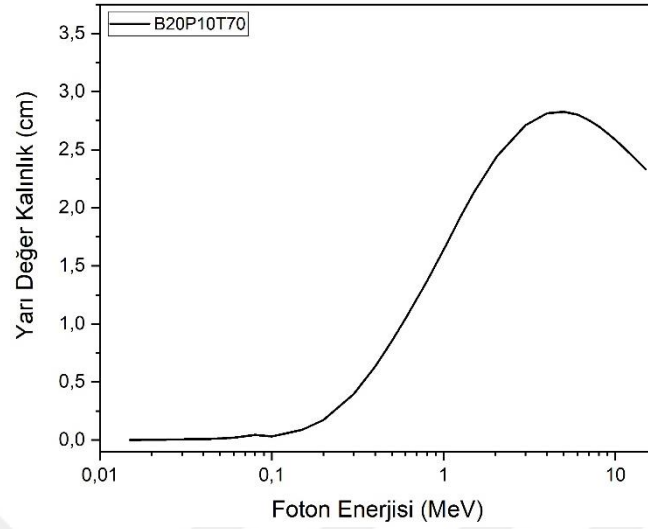
XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.46'da verilmiştir. Şekil 4.46'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 46 B20P10T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

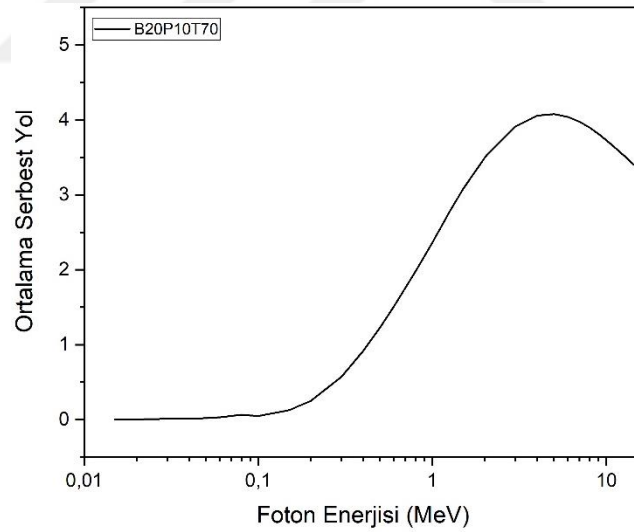
B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.47'de verilmiştir. Şekil 4.47'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum

YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



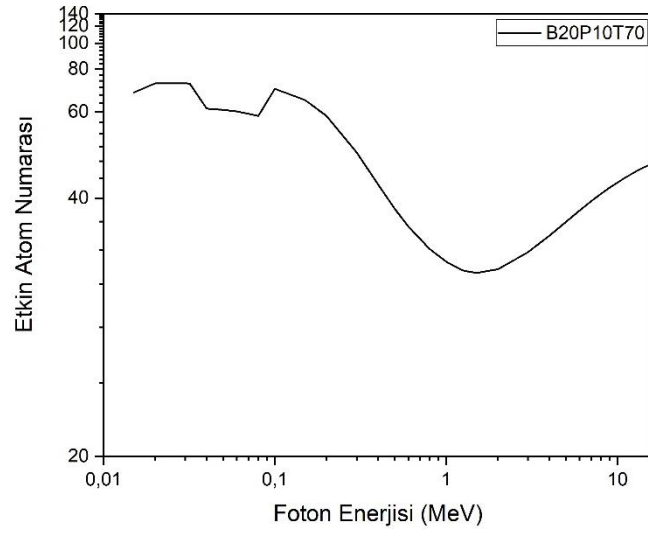
Şekil 4. 47 B20P10T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.48’de verilmiştir. Şekil 4.48’de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY değerleri neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



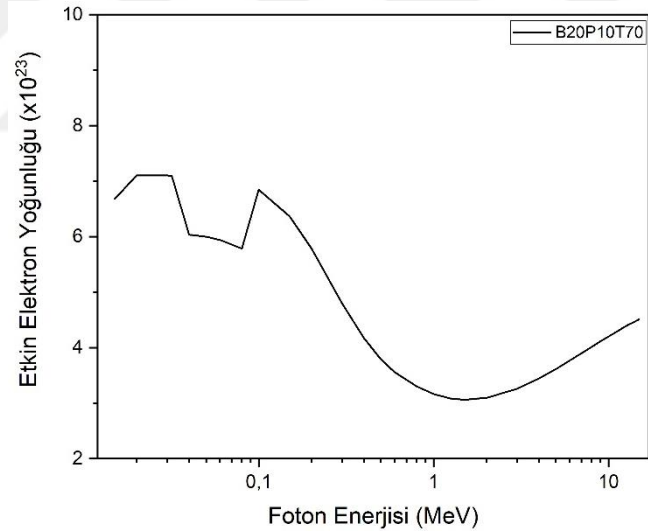
Şekil 4. 48 B20P10T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.49’da verilmiştir. Şekil 4.49’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar Z_{etk} ’de bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 49 B20P10T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.50’de verilmiştir. Şekil 4.50’de görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar N_e ’de bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 50 B20P10T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

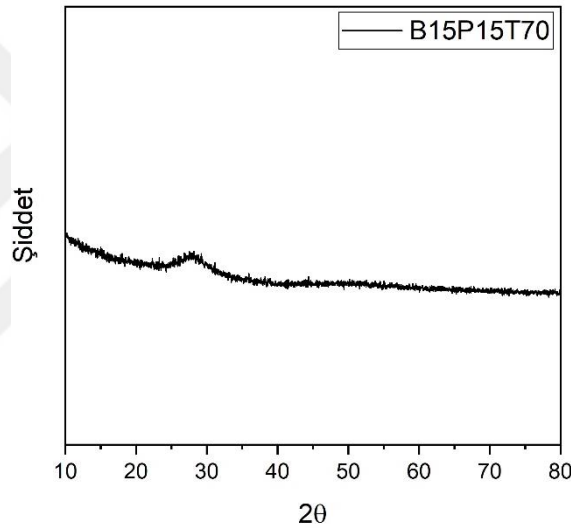
4.6 B15P15T70 Cam Numunesi

%15 Bi_2O_3 - %15 PbCl_2 - %70 TeO_2 bileşimine sahip B15P15T70 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.51’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



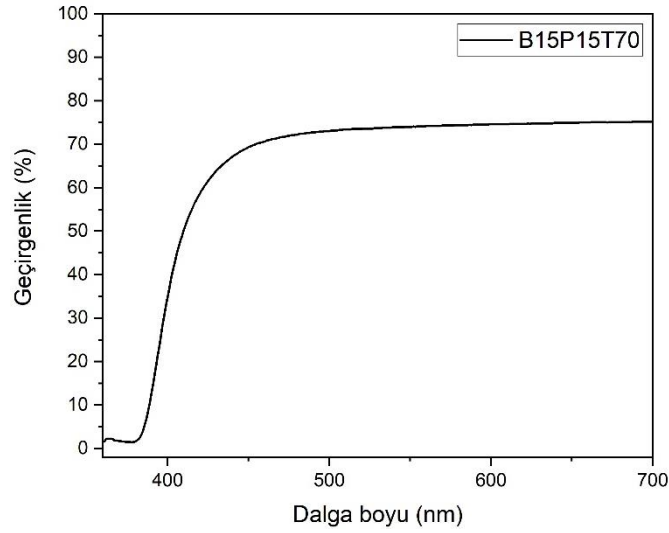
Şekil 4. 51 B15P15T70 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B15P15T70 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.52’de verilmiştir. Şekil 4.52’de de görüldüğü gibi, XRD sonucunda kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



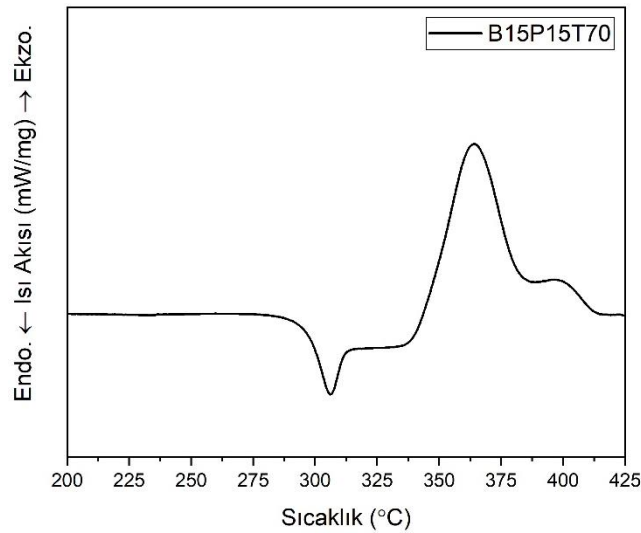
Şekil 4. 52 B15P15T70 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

B15P15T70 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.53’te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %74 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm’nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 53 B15P15T70 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B15P15T70 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.54'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 297 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 343 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 364 °C olduğu bulunmuştur. İkinci ekzotermik reaksiyonun ise onset sıcaklığı belirlenememiş olup, pik sıcaklığı 397 °C olarak tespit edilmiştir. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 46 °C olarak belirlenmiştir.



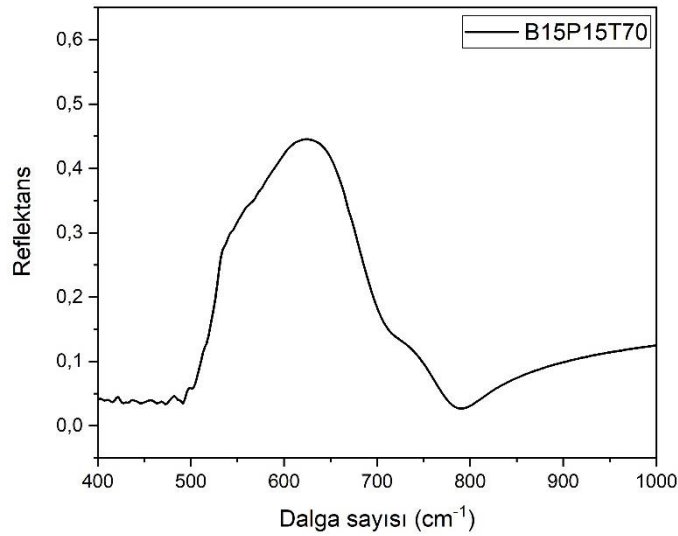
Şekil 4. 54 B15P15T70 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B15P15T70 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri $6,29 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.6’de verilmiştir.

Çizelge 4. 6 B15P15T70 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

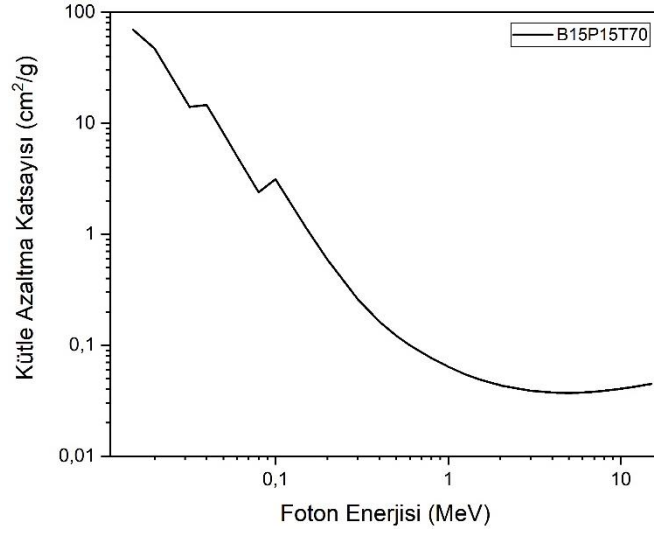
Numune	ρ (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B15P15T70	6,29	29,95	18,43	61,77

B15P15T70 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.55’te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 517 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikin BiO_6 yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 543 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin BiO_6 yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 573 cm^{-1} ve 627 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin TeO_4 üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 731 cm^{-1} ’deki pikin $\text{TeO}_3/\text{TeO}_{3+1}$ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



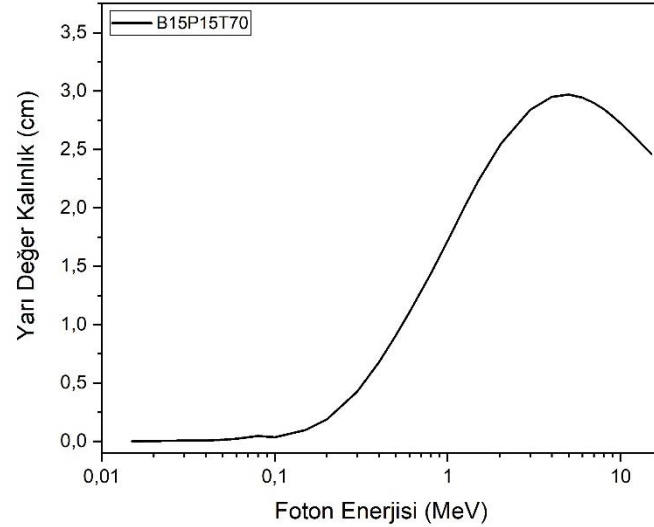
Şekil 4. 55 B15P15T70 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.56’da verilmiştir. Şekil 4.56’da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



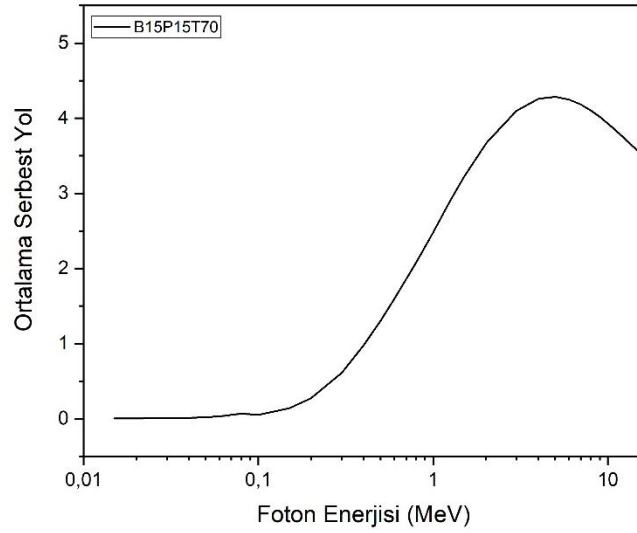
Şekil 4. 56 B15P15T70 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.57'de verilmiştir. Şekil 4.57'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



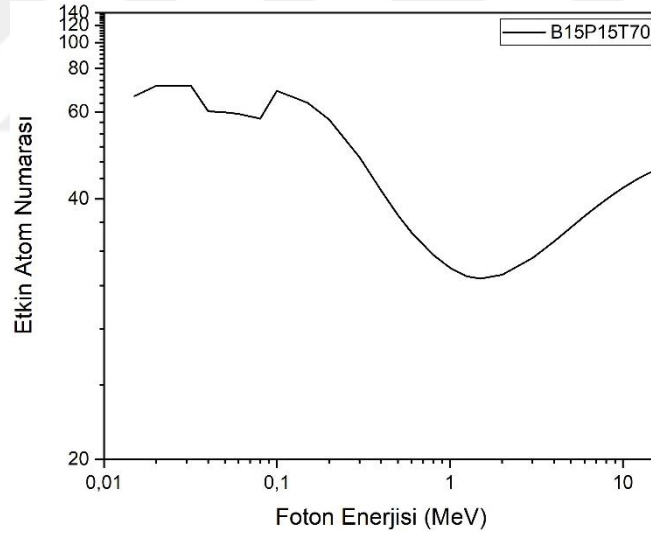
Şekil 4. 57 B15P15T70 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.58'de verilmiştir. Şekil 4.58'de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



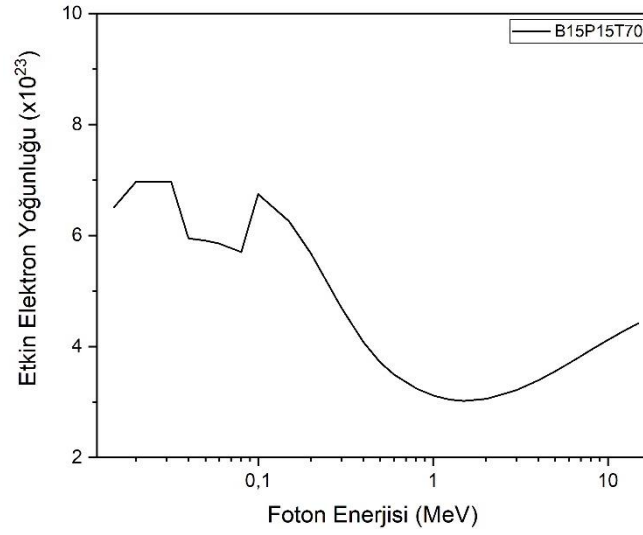
Şekil 4. 58 B15P15T70 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.59’da verilmiştir. Şekil 4.59’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar etkin atom numarasında bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 59 B15P15T70 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.60’da verilmiştir. Şekil 4.60’da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar N_e ’de bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 60 B15P15T70 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

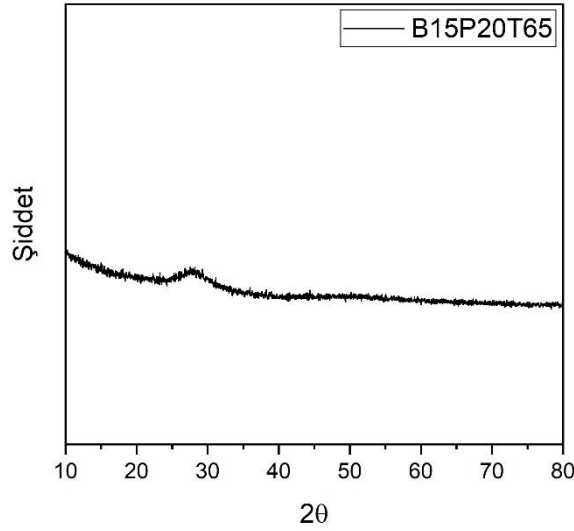
4.7 B15P20T65 Cam Numunesi

%15 Bi_2O_3 - %20 PbCl_2 - %65 TeO_2 bileşimine sahip B15P20T65 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.61’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



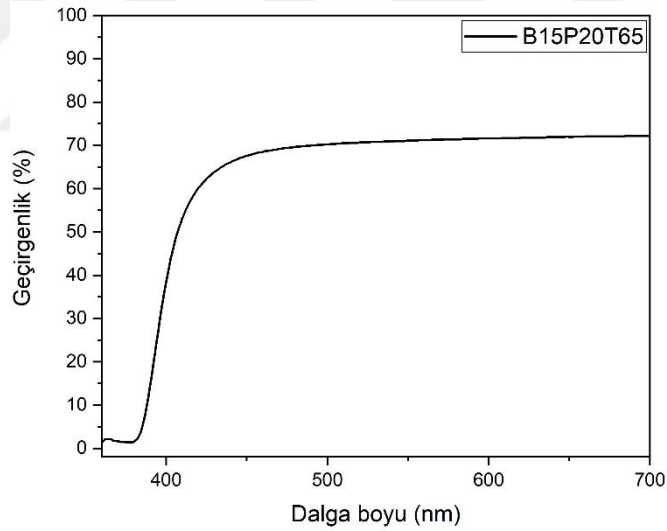
Şekil 4. 61 B15P20T65 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B15P20T65 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.62’de verilmiştir. Şekil 4.62’de de görüldüğü gibi, kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 62 B15P20T65 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

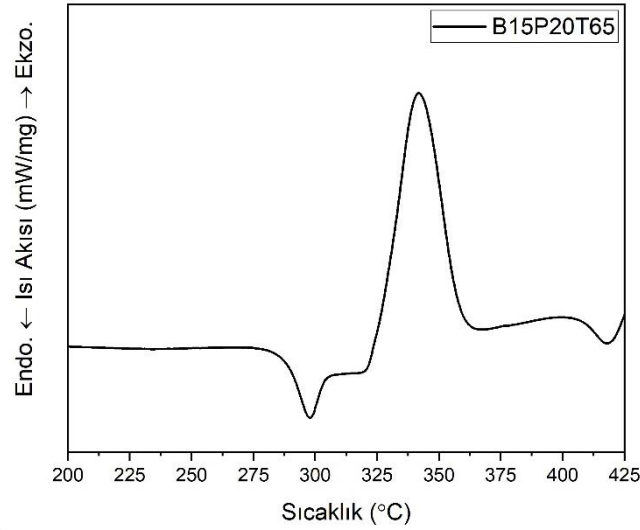
B15P20T65 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.63'te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %71 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm'nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 63 B15P20T65 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B15P20T65 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.64'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 287 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 324 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 341 °C olduğu bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 37 °C olarak belirlenmiştir. Termogramda 400 °C üzerinde

görülen endotermik değişimin ise cam bileşimindeki PbCl_2 'nin pota ile etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmüştür.



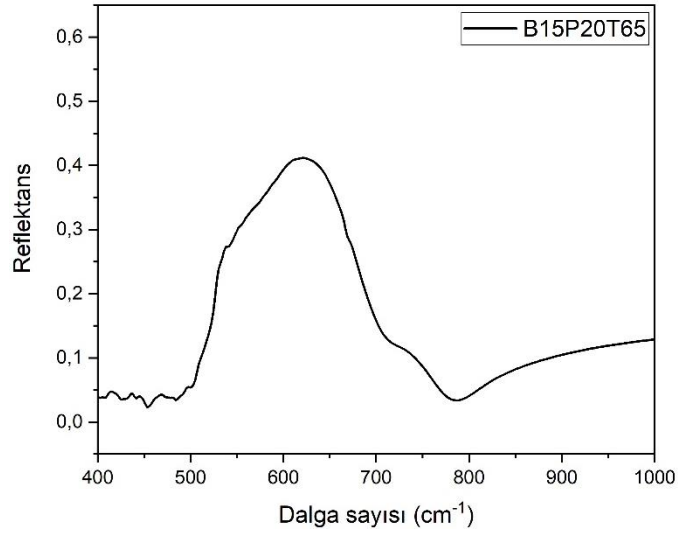
Şekil 4. 64 B15P20T65 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B15P20T65 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri $6,26 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4. 7 B15P20T65 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

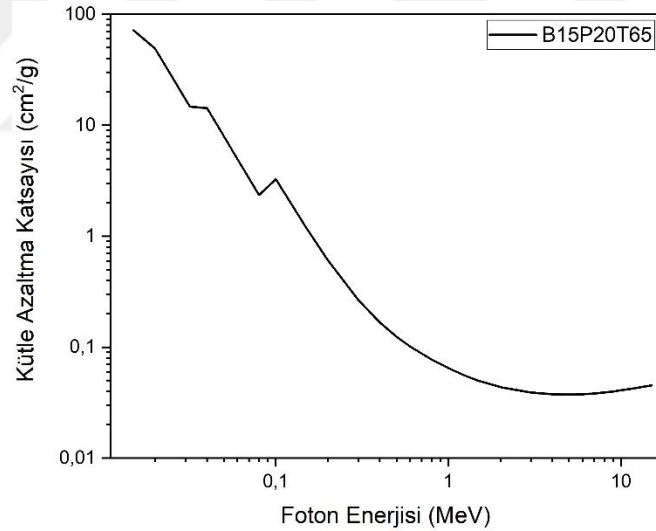
Numune	ρ (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B15P20T65	6,26	31,04	20,35	56,38

B15P20T65 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.65’te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 518 cm^{-1} ’de gözlemlenen pikin BiO_6 yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 537 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin BiO_6 yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 575 cm^{-1} ve 621 cm^{-1} ’de gözlemlenen piklerin TeO_4 üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 733 cm^{-1} ’deki pikin $\text{TeO}_3/\text{TeO}_{3+1}$ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 65 B15P20T65 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

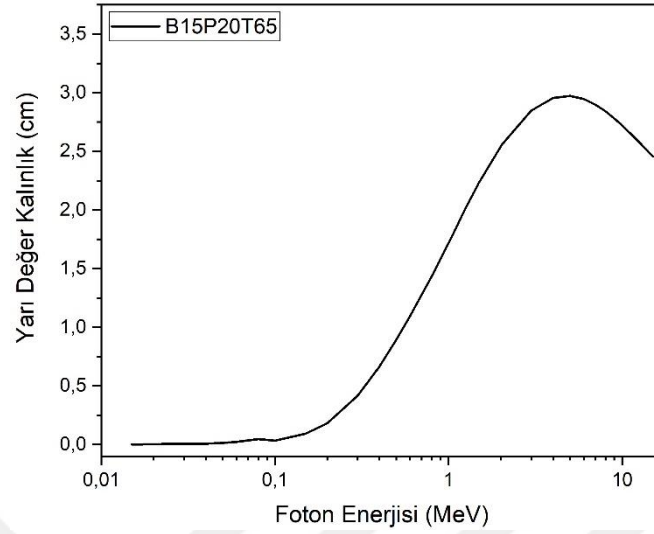
XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.66'da verilmiştir. Şekil 4.66'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 66 B15P20T65 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

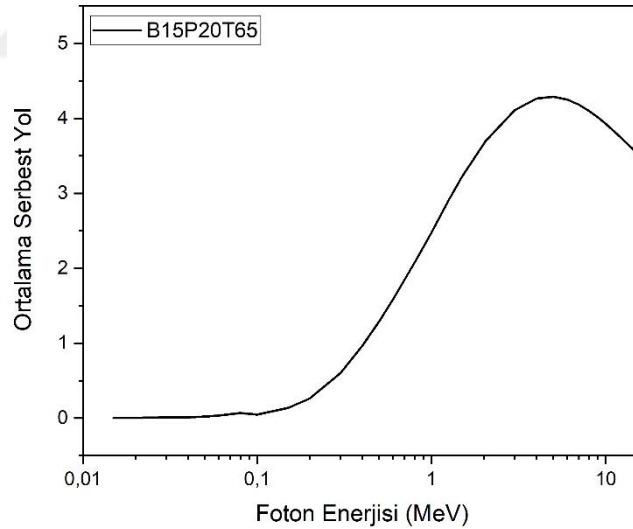
B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.67'de verilmiştir. Şekil 4.67'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum

YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



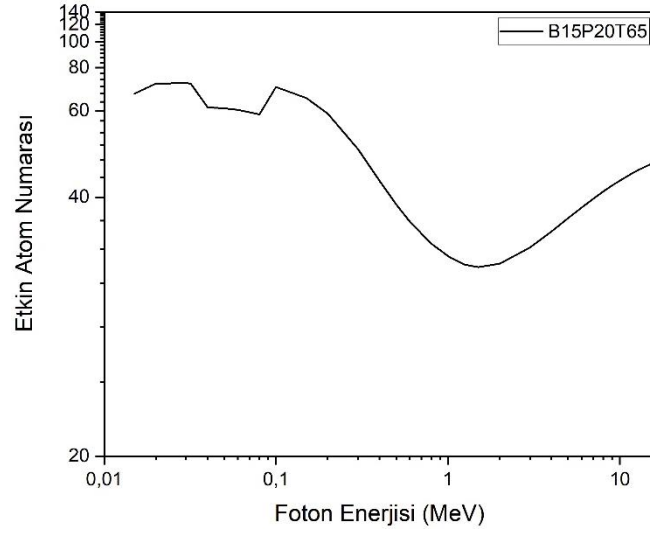
Şekil 4. 67 B15P20T65 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.68’de verilmiştir. Şekil 4.68’de görüldüğü gibi OSY değerleri 0,1 MeV değerine kadar neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



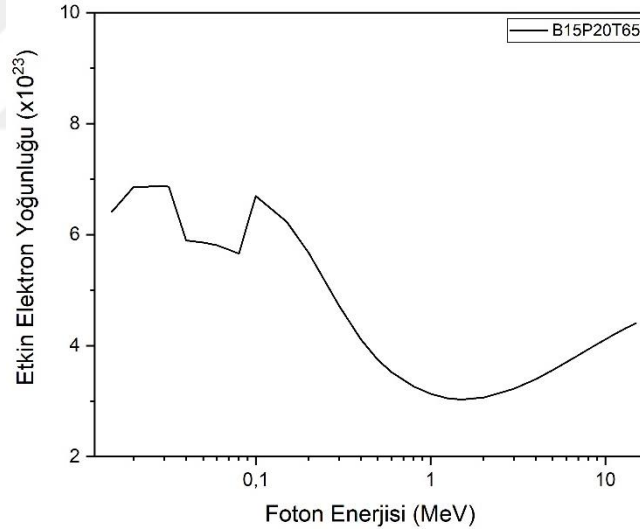
Şekil 4. 68 B15P20T65 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.69’da verilmiştir. Şekil 4.69’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte etkin atom numarası değerlerinin 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 69 B15P20T65 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.70’da verilmiştir. Şekil 4.70’da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte N_e değerlerinin 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 70 B15P20T65 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

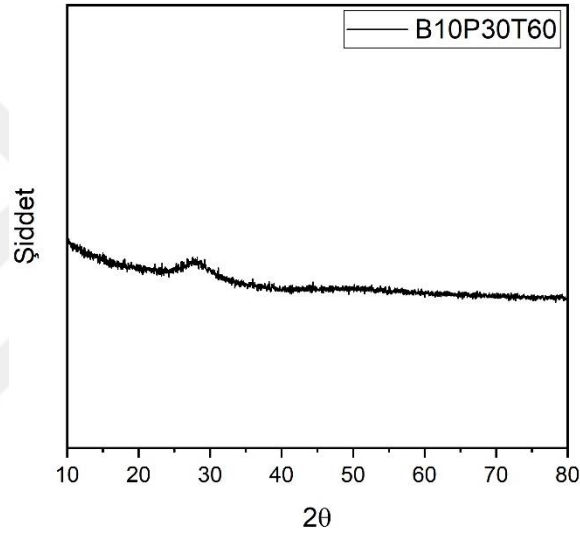
4.8 B10P30T60 Cam Numunesi

%10 Bi₂O₃ - %30 PbCl₂ - %60 TeO₂ bileşimine sahip B10P30T60 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.71’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



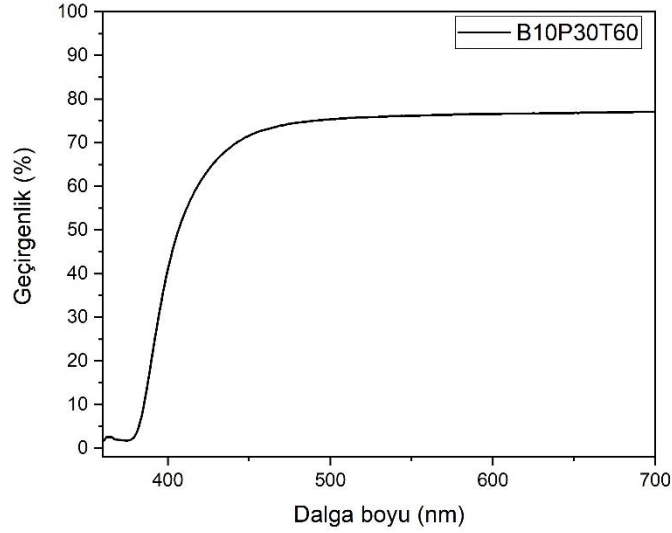
Şekil 4. 71 B10P30T60 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B10P30T60 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.72’de verilmiştir. Şekil 4.72’de de görüldüğü gibi, kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



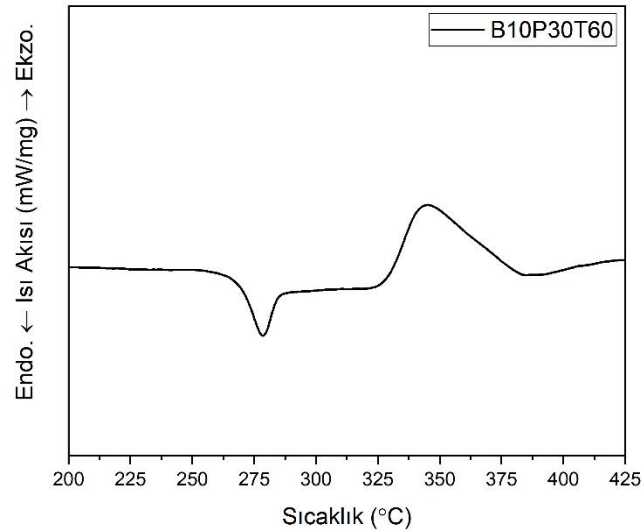
Şekil 4. 72 B10P30T60 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

B10P30T60 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.73’te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %76 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm’nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 73 B10P30T60 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B10P30T60 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.74'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 269 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pikin ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 328 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 345 °C olduğu bulunmuştur. B5P5T90 numunesinin ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 59 °C olarak belirlenmiştir.



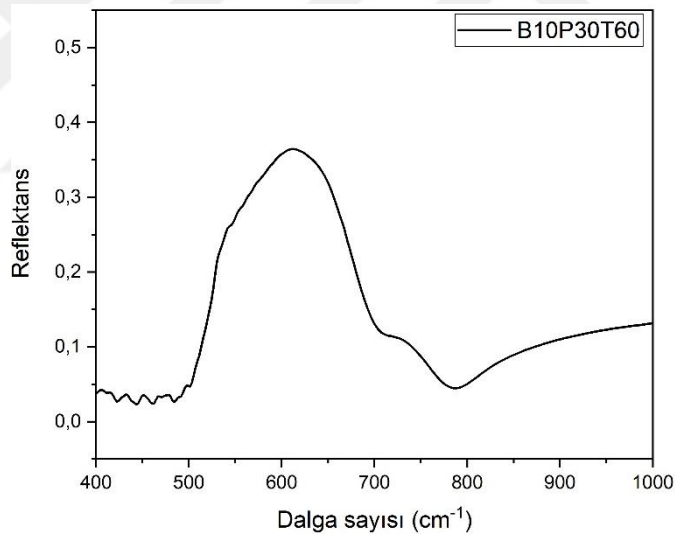
Şekil 4. 74 B10P30T60 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B10P30T60 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri 6,04 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 B10P30T60 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

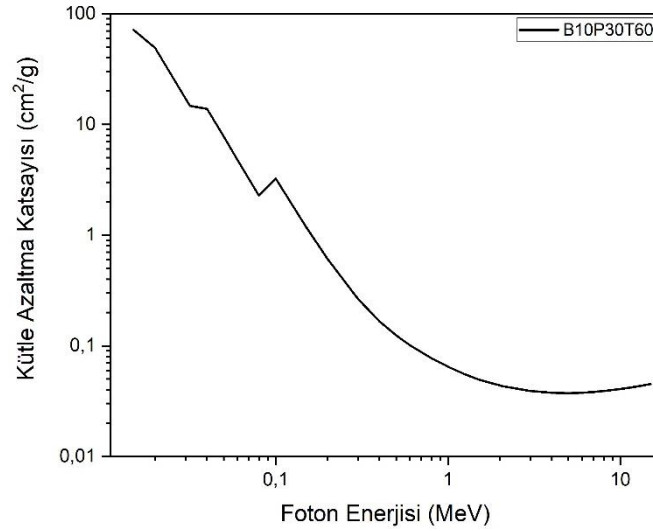
Numune	ρ 25 °C (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P30T60	6,04	33,52	24,83	44,74

B10P30T60 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.75'te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 519 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 542 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 574 cm⁻¹ ve 612 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 728 cm⁻¹'deki pikin TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



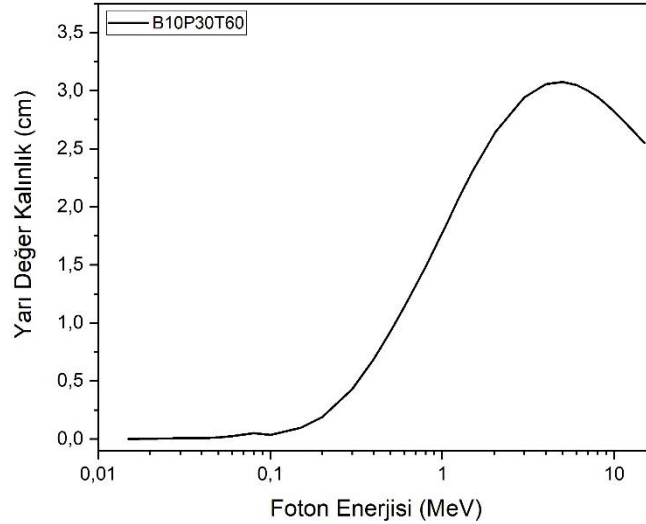
Şekil 4. 75 B10P30T60 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.76'da verilmiştir. Şekil 4.76'da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 76 B10P30T60 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

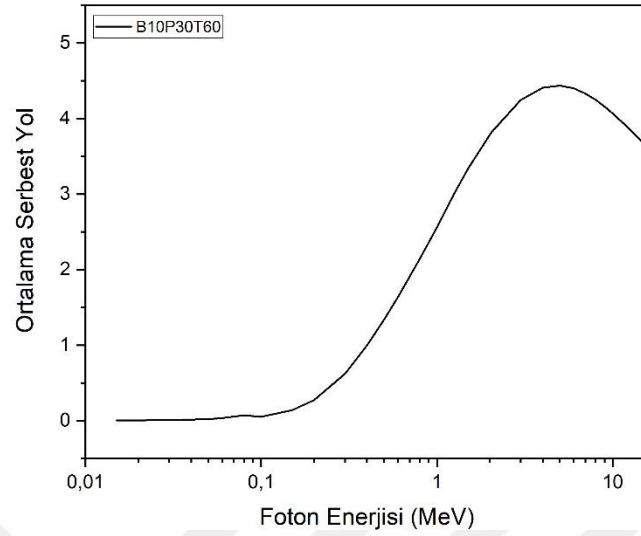
B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.77'de verilmiştir. Şekil 4.77'de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



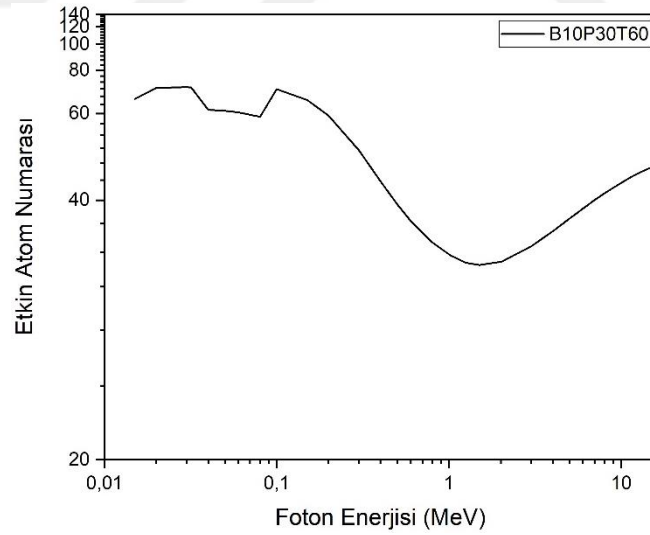
Şekil 4. 77 B10P30T60 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.78'de verilmiştir. Şekil 4.78'de görüldüğü gibi OSY değerlerinin 0,1

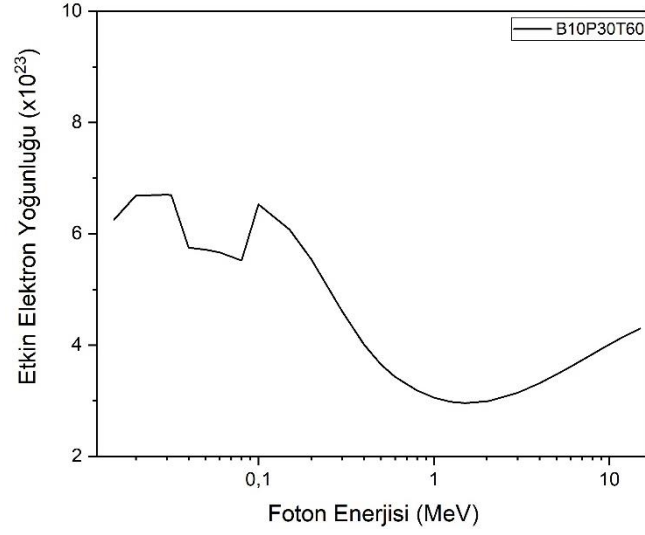
MeV değerine kadar neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



Şekil 4. 78 B10P30T60 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.79’da verilmiştir. Şekil 4.79’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte etkin atom numarası değerinin 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 79 B10P30T60 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.80’da verilmiştir. Şekil 4.80’da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte N_e değerlerinin 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 80 B10P30T60 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

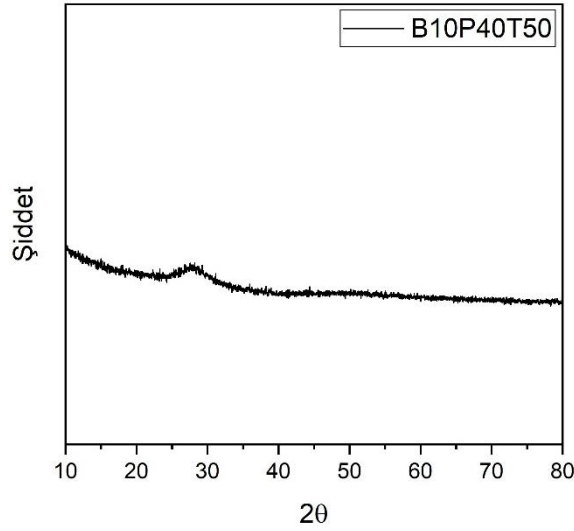
4.9 B10P40T50 Cam Numunesi

%10 Bi_2O_3 - %40 PbCl_2 - %50 TeO_2 bileşimine sahip B10P40T50 cam numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.81’de görülmektedir. Uygulanan döküm koşullarında numune cam olarak elde edilmiştir.



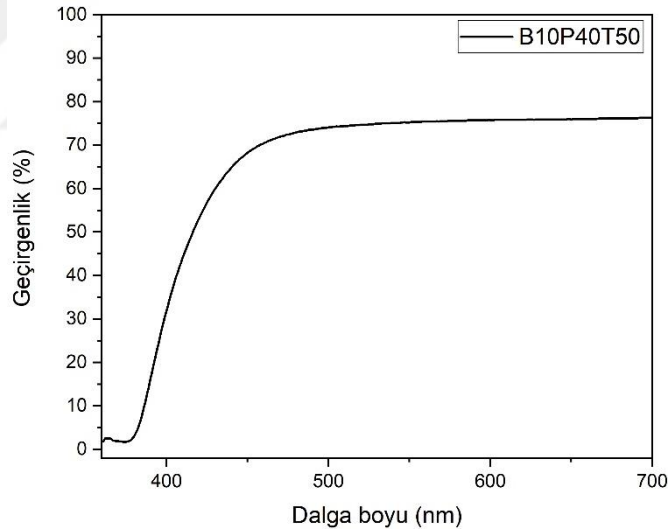
Şekil 4. 81 B10P40T50 cam numunesinin makro görüntüsü

Amorf yapının doğrulanması için B10P40T50 cam numunesine uygulanan XRD analizi sonuçları Şekil 4.82’de verilmiştir. Şekil 4.82’de de görüldüğü gibi, kristalizasyona ait herhangi bir pike rastlanmamış ve numunenin amorf yapıda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 82 B10P40T50 cam numunesinin XRD analiz sonuçları

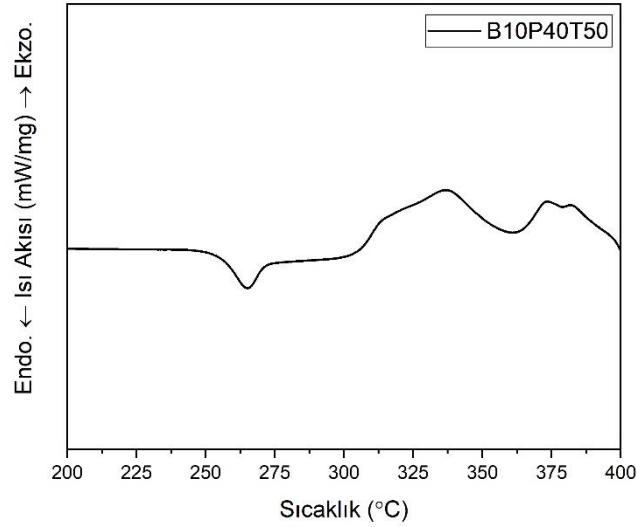
B10P40T50 cam numunesinin 360-700 nm dalga boyu aralığında ölçülen %geçirgenlik değişimi Şekil 4.83'te verilmiştir. Numunenin görünür bölgede yaklaşık %75 geçirgenliğe sahip olduğu ve 400 nm'nin altındaki dalga boylarında geçirgenlik göstermediği görülmektedir.



Şekil 4. 83 B10P40T50 cam numunesinin %geçirgenlik değişimi

B10P40T50 cam numunesinin ısı karakterizasyonu amacıyla uygulanan DSC analizi sonucu Şekil 4.84'te verilmiştir. DSC termogramında görülen endotermik adım değişiminin cam geçiş reaksiyonuna ait olduğu belirlenmiş ve cam geçiş sıcaklığı 256 °C olarak tespit edilmiştir. DSC termogramında görülen ekzotermik pik ise camın kristalizasyonuna ait olduğu belirlenmiş ve kristalizasyon onset sıcaklığı (T_c) 306 °C, kristalizasyon pik sıcaklığı (T_p) ise 337 °C olduğu bulunmuştur. B10P40T50 numunesinin

ısı kararlılık değeri (ΔT) ise 50 °C olarak belirlenmiştir. Görülen diğer piklerin ise cam bileşimindeki $PbCl_2$ 'nin pota ile etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmüştür.



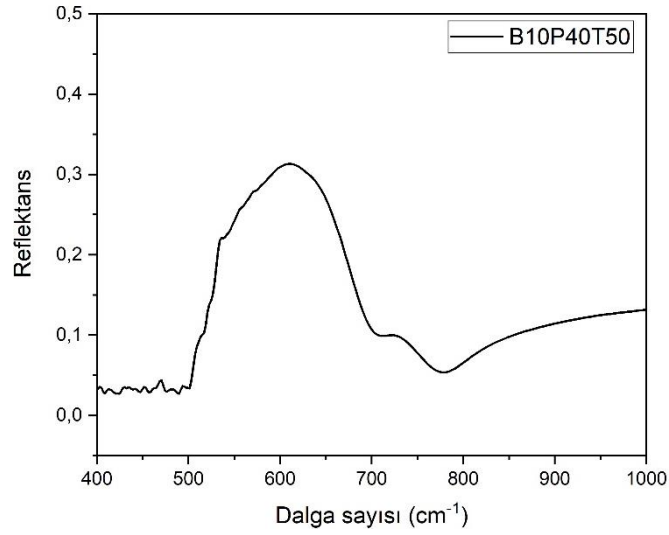
Şekil 4. 84 B10P40T50 cam numunesinin DSC analizi sonucu

B10P40T50 cam numunesinin ölçülen yoğunluk değeri 6,07 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanan molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4. 9 B10P40T50 cam numunesinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri.

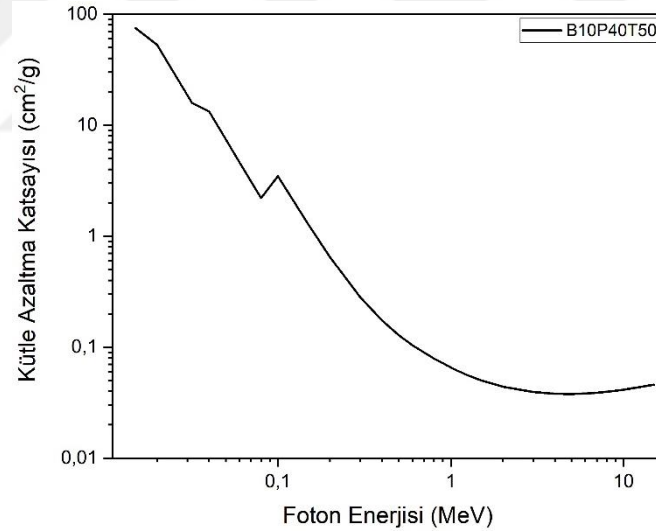
Numune	ρ (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P40T50	6,07	35,31	30,71	36,82

B10P40T50 cam numunesinin yapısal karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen FTIR analizi sonucu Şekil 4.85'te verilmiştir. Numunenin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. 520 cm⁻¹'de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 539 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–₂Cl bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 576 cm⁻¹ ve 610 cm⁻¹'de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit (tbp) birimlerinin gerilme titreşiminden, 724 cm⁻¹'deki pikin TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 85 B10P40T50 cam numunesinin FTIR analizi sonucu

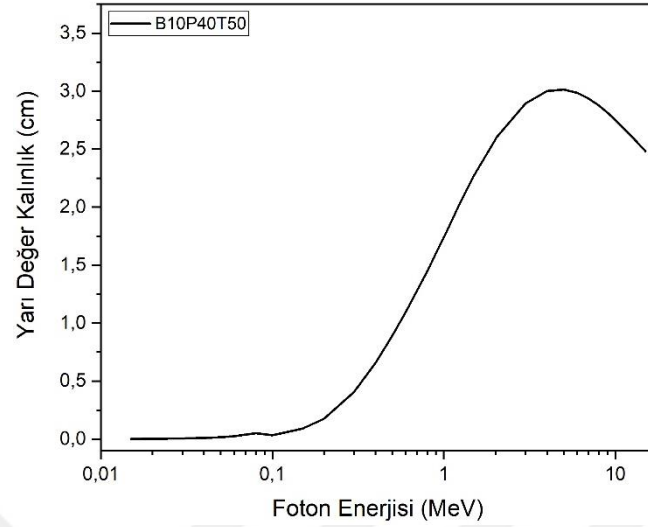
XCOM yazılımı yardımıyla yoğunluk değerleri ve cam bileşimi kullanılarak B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığında hesaplanan kütle azaltma katsayısı foton enerjisi değişimi Şekil 4.86’da verilmiştir. Şekil 4.86’da 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 86 B10P40T50 cam numunesinin kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

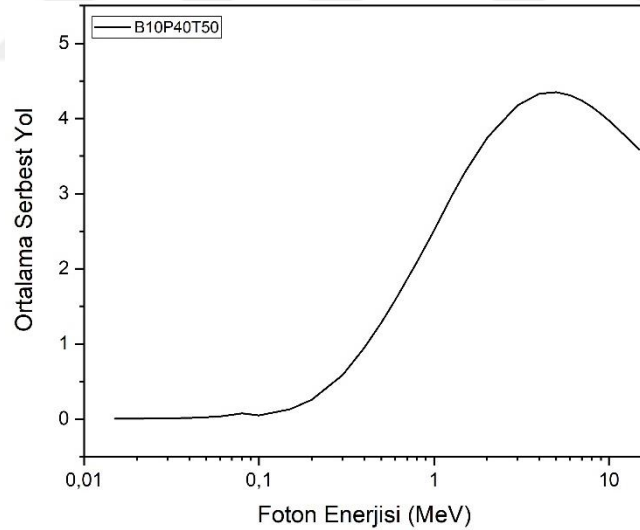
B5P5T90 numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için yarı değer kalınlık foton enerjisi değişimi Şekil 4.87’de verilmiştir. Şekil 4.87’de görüldüğü üzere düşük enerji aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum

YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir.



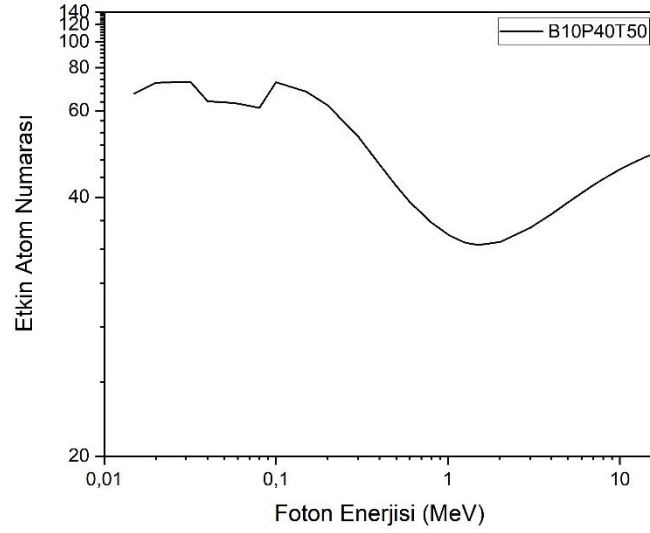
Şekil 4. 87 B10P40T50 cam numunenin yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunenin 0,015-15 MeV aralığında ortalama serbest yol foton enerjisi değişimi Şekil 4.88’de verilmiştir. Şekil 4.88’de görüldüğü gibi OSY değerleri 0,1 MeV değerine kadar neredeyse sabit kalmış ve sonrasında 6 MeV değerine kadar artmıştır.



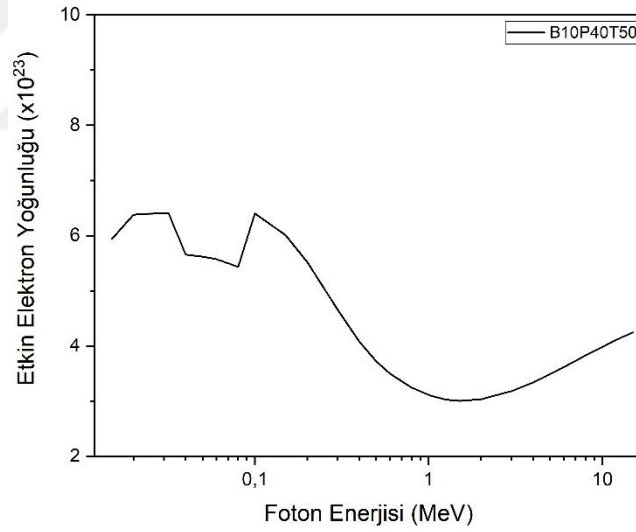
Şekil 4. 88 B10P40T50 cam numunenin ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığında etkin atom numarası foton enerjisi değişimi Şekil 4.89’da verilmiştir. Şekil 4.89’da görüldüğü üzere en yüksek etkin atom numarası değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte 2 MeV değerine kadar etkin atom numarasında bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



Şekil 4. 89 B10P40T50 cam numunesinin etkin atom numarası - foton enerjisi değişimi

B5P5T90 cam numunesinin 0,015-15 MeV aralığı için etkin elektron yoğunluğu foton enerjisi değişimi Şekil 4.90'da verilmiştir. Şekil 4.90'da görüldüğü üzere en yüksek etkin elektron yoğunluğu değerine düşük enerji bölgesinde ulaşılmıştır. Grafikte N_e 'de 2 MeV değerine kadar bir düşüş sonrasında ise artış görülmektedir.



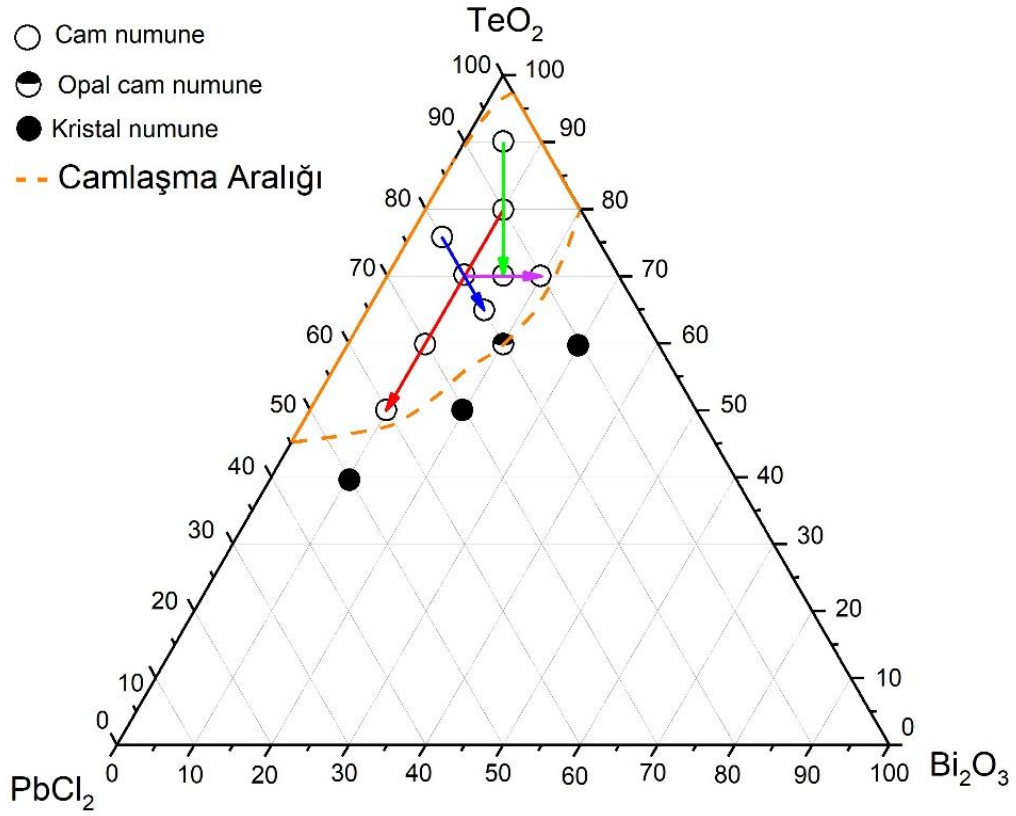
Şekil 4. 90 B10P40T50 cam numunesinin etkin elektron yoğunluğu - foton enerjisi değişimi

DENEYSEL SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Bu bölümde, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin camlaşma davranışı incelenmiş, sistemin cam haritası oluşturulmuş, ayrıca sentezlenen cam numunelerin optik, ısı, fiziksel, yapısal ve radyasyon zırhlama özellikleri değerlendirilip yorumlanmıştır.

5.1 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ Sisteminin Camlaşma Davranışı

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin camlaşma davranışının belirlenmesi ve sistemin cam oluşum bölgesinin tespit edilmesi amacıyla üçlü sisteme ait on üç farklı bileşimde numune sentezlenmiş ve bu numunelerden dokuz tanesi cam olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, üçlü sistemi oluşturan ve cam yapma kabiliyeti bulunan alt ikili sistemler ile ilgili literatür araştırmaları yapılmış ve Bi_2O_3 - TeO_2 ikili sisteminin [148] ve PbCl_2 - TeO_2 ikili sisteminin cam yapma aralıkları [149], [150] ilgili literatürden belirlenmiştir. Buna göre, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı ve cam oluşum bölgesi saptanarak, sistemin cam haritası çıkartılmıştır (Şekil 5.1). Şekil 5.1’de bileşim diyagramı üzerindeki turuncu çizgiler içerisinde kalan alan $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin camlaşma bölgesini göstermektedir.



Şekil 5. 1 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin cam oluşum haritası

Bileşim değişiminin cam özellikleri üzerindeki etkisini daha iyi inceleyebilmek için $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde bileşime bağlı olarak 4 farklı rota oluşturulmuş ve cam özellikleri ile ilgili değerlendirmeler bu rotalar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu rotalar cam haritası üzerinde farklı renklerdeki oklarla gösterilmiş ve rotalarla ilgili açıklamalar Çizelge 5.1’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 5. 1 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde bileşime bağlı olarak incelenen rotalar

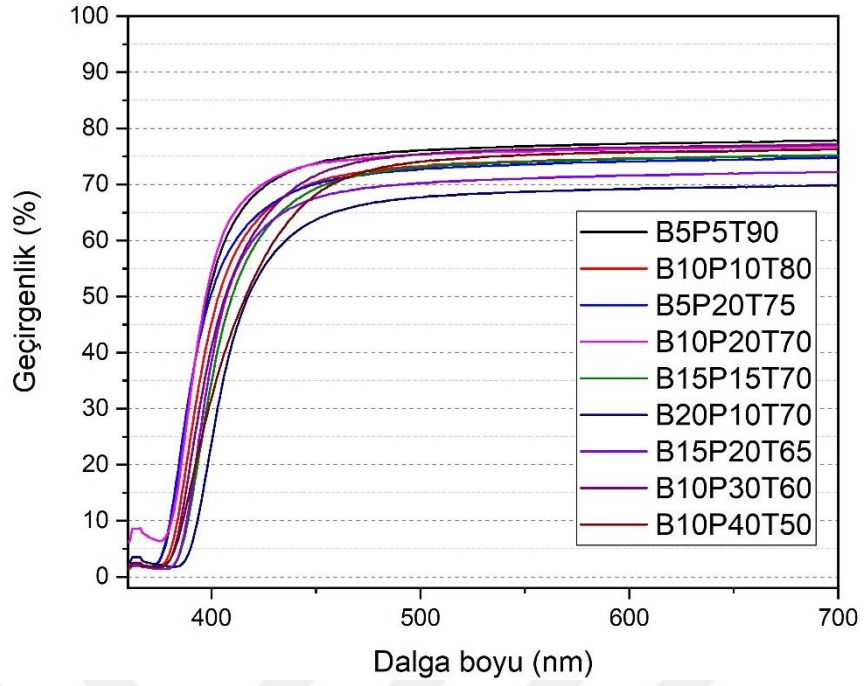
Rota Numarası	Renk	Bileşim (%mol)	x (%mol)
1	Kırmızı	$10\text{Bi}_2\text{O}_3 - x\text{PbCl}_2 - (90-x)\text{TeO}_2$	10, 20, 30, 40
2	Yeşil	$x\text{Bi}_2\text{O}_3 - x\text{PbCl}_2 - (100-x)\text{TeO}_2$	5, 10, 15
3	Mavi	$x\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{PbCl}_2 - (80-x)\text{TeO}_2$	5, 10, 15
4	Mor	$x\text{Bi}_2\text{O}_3 - (30-x)\text{PbCl}_2 - 70\text{TeO}_2$	10, 15, 20

5.2 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sistemine Ait Cam Numunelerin Optik Özelliklerinin Yorumlanması

Tez çalışması kapsamında Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde cam olarak sentezlenen numunelerin makro görüntüleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekil 5.2’den sentezlenen cam numunelerin tümünün saydam, homojen ve açık sarı renkte oldukları görülmektedir. Bileşimde artan PbCl₂ ve Bi₂O₃ oranları ile birlikte numunelerin renginin bir miktar koyulaştığı saptanmıştır.



Şekil 5. 2 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde sentezlenen cam numunelerin makro görüntüsü Camlarda, renk değişiminin görünür bölgede geçirgenlik ve soğurma sınırı üzerinde doğrudan etkisi olduğu bilinmektedir. Bun nedenle sentezlenen cam numunelerin görünür bölge %geçirgenlik değişimleri incelenmiş ve Şekil 5.3’te toplu olarak verilmiştir. Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sistemine ait cam numunelerin görünür bölge geçirgenliklerinin %69-77 aralığında değiştiği ve geçirgenliğin bileşimde artan TeO₂ oranıyla arttığı belirlenmiştir. En iyi görünür bölge geçirgenlik değerini %77 ile B5P5T90 numunesi göstermektedir. Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sistemine ait cam numunelerin soğurma sınırlarının ise 373-385 nm dalga boyu aralığında değiştiği ve cam bileşiminde artan Bi₂O₃ oranıyla daha yüksek dalga boylarına doğru ötelendiği görülmektedir. Sentezlenen camların, insan gözünün en hassas olduğu, 550 nm dalga boyundaki %geçirgenlik değerleri ve soğurma sınırı değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.



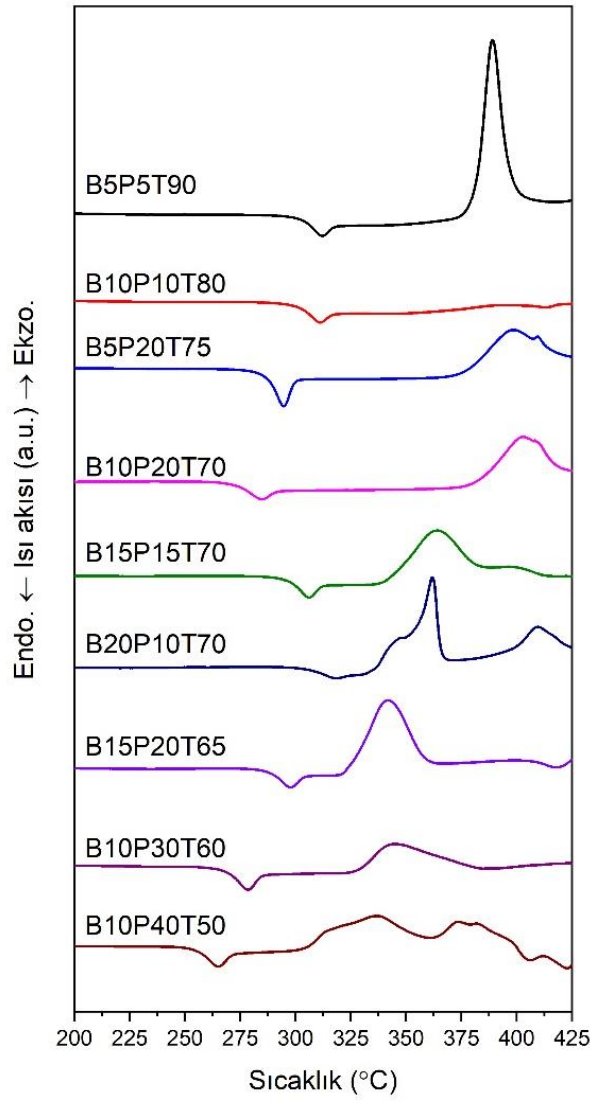
Şekil 5. 3 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin görünür bölge geçirgenlik değişimleri

Çizelge 5. 2 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin %geçirgenlik ve soğurma sınırı değerleri

Numune	Soğurma Sınırı (nm)	550 nm (%)
B5P5T90	375	77
B10P10T80	378	74
B5P20T75	373	74
B10P20T70	375	76
B15P15T70	384	74
B20P10T70	385	70
B15P20T65	383	71
B10P30T60	379	76
B10P40T50	379	75

5.3 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine Ait Cam Numunelerin Isıl Özelliklerinin Yorumlanması

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin DSC termogramları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.4'te ve numunelerin cam geçiş onset (T_g), kristalizasyon onset (T_c), kristalizasyon pik (T_p) ve ısıl kararlılık (ΔT) değerleri ise Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5. 4 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde sentezlenen cam numunelerin DSC termogramları

Şekil 5.4 ve Çizelge 5.3'te verildiği gibi $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait tüm cam numunelerin cam geçiş reaksiyonu gösterdiği belirlenmiş olup; numunelerin cam geçiş sıcaklığı değerlerinin 256-304 °C sıcaklıkları arasında değiştiği tespit edilmiştir. Genel olarak, cam geçiş sıcaklığının bileşimde artan PbCl_2 oranı ile azaldığı, artan Bi_2O_3 oranı ile ise arttığı gözlemlenmiştir. Kristalizasyon sıcaklıkları ise bileşimde azalan TeO_2 oranıyla birlikte daha düşük sıcaklıklara ötelenmiştir.

Çizelge 5. 3 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen cam numunelere ait cam geçiş onset (T_g), kristalizasyon onset (T_c), kristalizasyon pik (T_p) ve ısı kararlılık (ΔT) değerleri

Numune	$T_g(^{\circ}\text{C})$	T_{c1}/T_{p1} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{c2}/T_{p2} ($^{\circ}\text{C}$)	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
B5P5T90	303	381/390	-	78
B10P10T80	301	375/394	-	74
B5P20T75	287	378/399	-	91
B10P20T70	272	382/403	-	110
B15P15T70	297	343/364	-/397	46
B20P10T70	304	336/362	400/410	32
B15P20T65	287	324/341	-	37
B10P30T60	269	328/345	-	59
B10P40T50	256	306/337	-	50

-: Değer yok

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen cam numunelerin ısı kararlılık (ΔT) değerlerinin 32-110 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında değiştiği belirlenmiştir. Isı kararlılık değeri cam bileşiminde artan Bi_2O_3 oranıyla beraber azalmıştır. En iyi ısı kararlılık gösteren camın B10P20T70 numunesi olduğu belirlenmiştir.

5.4 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine Ait Cam Numunelerin Fiziksel Özelliklerinin Yorumlanması

$\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen cam numunelerin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri Çizelge 5.1’de belirtildiği şekilde bileşime bağlı olarak belirlenen 4 farklı rota göz önüne alınarak incelenmiş ve camların bileşime bağlı olarak fiziksel özelliklerindeki değişimler bu rotalardaki bileşimsel değişimlere göre yorumlanmıştır.

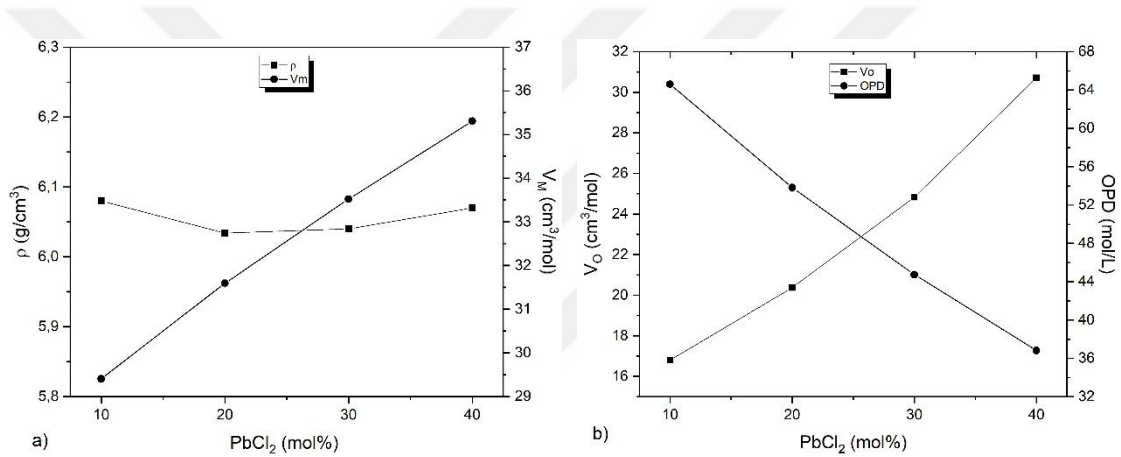
5.4.1 $10\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-xPbCl}_2\text{-(90-x)TeO}_2$ (Rota 1) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması

Rota 1 olarak belirtilen ve sabit Bi_2O_3 oranında, artan PbCl_2 ve azalan TeO_2 değişimi ile cam numunelerin fiziksel özelliklerin değişiminin yorumlanması amacıyla, yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 5.4’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca, bu

rotadaki cam numunelerin Şekil 5.5a'da yoğunluk ve molar hacim, Şekil 5.5b'de ise oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 5. 4 $10\text{Bi}_2\text{O}_3-x\text{PbCl}_2-(90-x)\text{TeO}_2$ (Rota 1) cam numunelerinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri

Numune	ρ 25 °C (g.cm ⁻³)	ρ teorik (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P10T80	6,08	6,01	29,41	16,80	64,61
B10P20T70	6,03	6,03	31,59	20,38	53,81
B10P30T60	6,04	6,05	33,52	24,83	44,74
B10P40T50	6,07	6,07	35,31	30,71	36,82



Şekil 5. 5 Rota 1 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi

Rota 1 için değişen bileşimle beraber yoğunluk değerlerinde çok küçük bir değişim gözlenmiştir. Bunun nedeni, cam yapıda artan PbCl₂ oranına eşit olacak şekilde TeO₂ oranının azalması ve PbCl₂ ve TeO₂'nin yoğunluklarının birbirine çok yakın olmasıdır. Molar hacim değeri ise artan PbCl₂ oranıyla beraber artış göstermiştir. Bunun nedeni PbCl₂'nin molar kütlesi TeO₂'nin molar kütlesinden çok daha büyüktür. Bu durum da molar hacimin artmasını sağlamaktadır.

Oksijen molar hacim değerleri, bileşime eklenen bileşenlerin alan şiddetlerine bağlı olarak değişmiştir. Yapıda TeO₂ oranı azalırken PbCl₂ oranı artmaktadır ve yüksek alan şiddetine sahip olan Te⁴⁺ iyonu (Te⁴⁺:0,95, Pb⁴⁺:0,89, Bi³⁺:0,53) yerini Pb⁴⁺ iyonuna bırakmasıyla yapı daha az sıkı paketlenir hale gelmiş ve oksijen molar hacim değeri

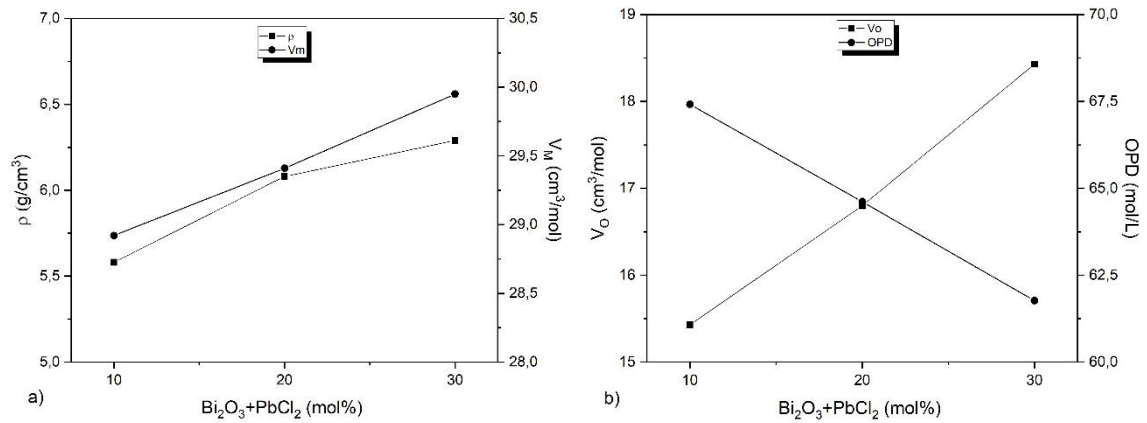
artmıştır. Oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri ise TeO_2 'nin oksijen atomuna sahip olmayan PbCl_2 ile yer değiştirmesi sonucu yapıda azalan oksijen miktarı ile azalmıştır.

5.4.2 $x\text{Bi}_2\text{O}_3-x\text{PbCl}_2-(100-x)\text{TeO}_2$ (Rota 2) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması

Rota 2 olarak belirtilen ve azalan TeO_2 ile eşit oranda artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 değişimi ile cam numunelerin fiziksel özelliklerin değişiminin yorumlanması amacıyla, yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 5.5'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu fiziksel özelliklerin bileşimle değişimine ait grafikler ise Şekil 5.6'te verilmiştir.

Çizelge 5. 5 $x\text{Bi}_2\text{O}_3-x\text{PbCl}_2-(100-x)\text{TeO}_2$ (Rota 2) cam numunelerinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri

Numune	ρ (g.cm^{-3})	ρ teorik (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B5P5T90	5,85	5,84	28,92	15,43	67,42
B10P10T80	6,08	6,01	29,41	16,80	64,61
B15P15T70	6,29	6,18	29,95	18,43	61,77



Şekil 5. 6 Rota 2 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi

Rota 2 için artan $\text{Bi}_2\text{O}_3+\text{PbCl}_2$ ve azalan TeO_2 oranıyla beraber yoğunlukta artış göstermektedir. Bunun nedeni PbCl_2 ve TeO_2 'nin yoğunluklarının birbirine çok yakın olmasına rağmen Bi_2O_3 'ün yoğunluğunun çok daha yüksek olmasıdır. Molar hacim

değeri ise artan $\text{PbCl}_2 + \text{Bi}_2\text{O}_3$ ve azalan TeO_2 oranıyla beraber artış göstermektedir. Bunun nedeni PbCl_2 ve Bi_2O_3 'in TeO_2 'e kıyasla oldukça büyük olan molar kütesidir.

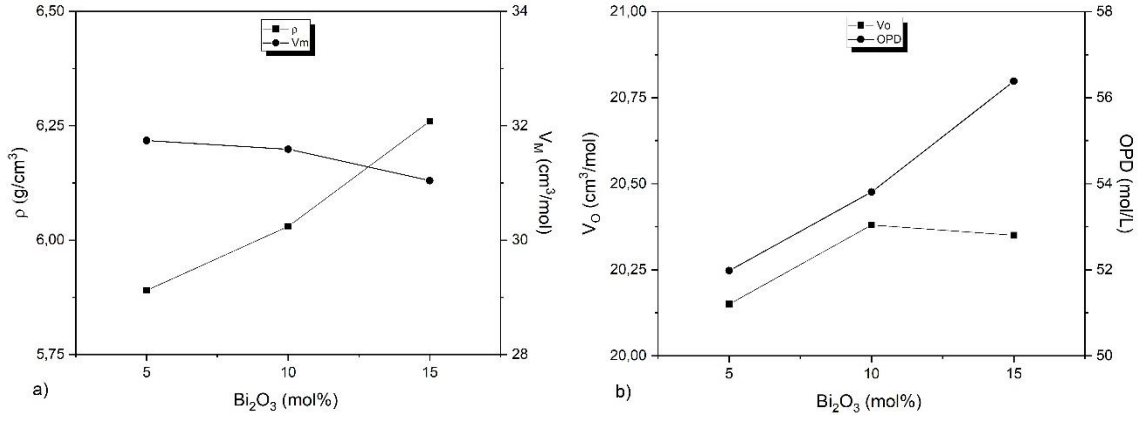
Oksijen molar hacim değerleri, bileşime eklenen bileşenlerin alan şiddetlerine bağlı olarak değişmiştir. Yapıda azalan TeO_2 ve eşit miktarda artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranına bağlı olarak yüksek alan şiddetine sahip olan Te^{4+} iyonlarının (Te^{4+} :0,95, Pb^{4+} :0,89, Bi^{3+} :0,53) yerini düşük alan şiddetine sahip Pb^{4+} ve Bi^{3+} iyonlarına bırakmasıyla yapı daha az sıkı paketlenir hale gelmiş ve oksijen molar hacim değeri artmıştır. Oksijen paketlenme yoğunluğu ise TeO_2 'nin oksijen atomuna sahip olmayan PbCl_2 ve 3/2 oranında daha yüksek oksijen atomu sayısına sahip Bi_2O_3 ile yer değiştirmesi sonucu azalmıştır.

5.4.3 $x\text{Bi}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-(80-x)\text{TeO}_2$ (Rota 3) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması

Rota 3 olarak belirtilen ve sabit PbCl_2 oranında, artan Bi_2O_3 ve azalan TeO_2 değişimi ile cam numunelerin fiziksel özelliklerin değişiminin yorumlanması amacıyla, yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 5.6'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu fiziksel özelliklerin bileşimle değişimine ait grafikler ise Şekil 5.7'te verilmiştir.

Çizelge 5. 6 $x\text{Bi}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-(80-x)\text{TeO}_2$ (Rota 3) cam numunelerinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri

Numune	ρ (g.cm^{-3})	ρ teorik (g.cm^{-3})	V_M ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	V_O ($\text{cm}^3.\text{mol}^{-1}$)	OPD (mol.L^{-1})
B5P20T75	5,89	5,86	31,74	20,15	51,98
B10P20T70	6,03	6,03	31,59	20,38	53,81
B15P20T65	6,26	6,19	31,04	20,35	56,38



Şekil 5. 7 Rota 3 için a) yoğunluk ve molar hacim b) oksijen molar hacim ve oksijen paketlenme yoğunluğu değişimi

Rota 3 için artan Bi_2O_3 ve azalan TeO_2 oranıyla beraber yoğunlukta artış göstermiştir. Bunun nedeni Bi_2O_3 'ün yoğunluğunun TeO_2 'nin yoğunluğuna göre çok daha yüksek olmasıdır. Artan Bi_2O_3 oranıyla beraber molar hacim değerleri ise çok az düşüş göstermiştir. Bunun nedeni artan Bi_2O_3 ile birlikte yapının hem yoğunluğun hem de kütlelenin artış göstermesidir.

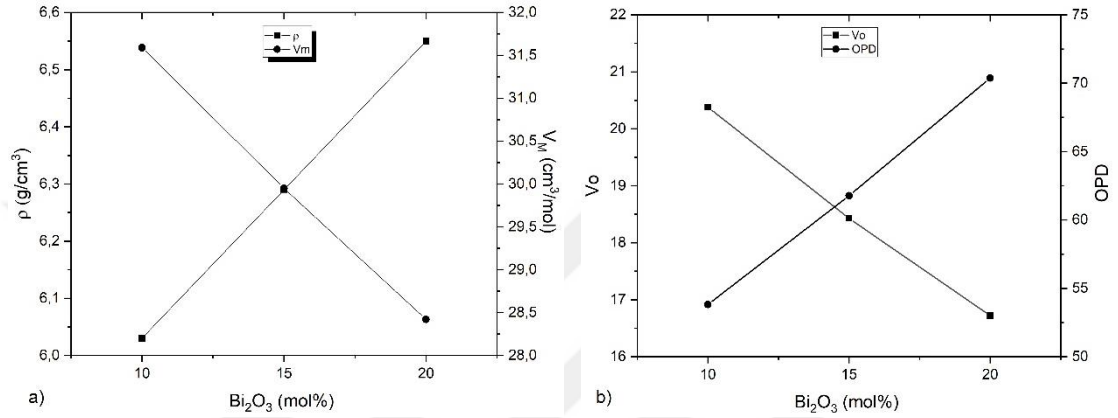
Oksijen molar hacim değerleri, bileşime eklenen bileşenlerin alan şiddetlerine bağlı olarak değişmiştir. Yapıda azalan TeO_2 ve artan Bi_2O_3 oranına bağlı olarak yüksek alan şiddetine sahip olan Te^{4+} iyonlarının (Te^{4+} :0,95, Pb^{4+} :0,89, Bi^{3+} :0,53) yerini Bi^{3+} iyonlarına bırakmasıyla yapı daha az sıkı paketlenir hale gelmiş ve oksijen molar hacim değeri artmıştır. Oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri ise TeO_2 'nin 3/2 oranında daha yüksek oksijen atomu sayısına sahip Bi_2O_3 ile yer değiştirmesi sonucu artmıştır

5.4.4 $x\text{Bi}_2\text{O}_3$ -(30-x) PbCl_2 -70 TeO_2 (Rota 4) için Fiziksel Özelliklerin Yorumlanması

Rota 4 olarak belirtilen ve sabit TeO_2 oranında, artan Bi_2O_3 ve azalan PbCl_2 değişimi ile cam numunelerin fiziksel özelliklerin değişiminin yorumlanması amacıyla, yoğunluk (ρ), molar hacim (V_m), oksijen molar hacim (V_o) ve oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri tespit edilmiş ve Çizelge 5.7'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Bu fiziksel özelliklerin bileşimle değişimine ait grafikler ise Şekil 5.8'te verilmiştir.

Çizelge 5. 7 xBi₂O₃-(30-x)PbCl₂-70TeO₂ (Rota 4) cam numunelerinin yoğunluk (ρ), molar hacim (V_M), oksijen molar hacim (V_O), oksijen paketlenme yoğunluğu (OPD) değerleri

Numune	ρ (g.cm ⁻³)	ρ teorik (g.cm ⁻³)	V_M (cm ³ .mol ⁻¹)	V_O (cm ³ .mol ⁻¹)	OPD (mol.L ⁻¹)
B10P20T70	6,03	6,03	31,59	20,38	53,81
B15P15T70	6,29	6,18	29,95	18,43	61,77
B20P10T70	6,55	6,33	28,42	16,72	70,38



Rota 4 için artan Bi₂O₃ ve azalan PbCl₂ oranıyla birlikte yoğunluk değerleri artış göstermektedir. Bunun nedeni Bi₂O₃'ün yoğunluğunun PbCl₂'nin yoğunluğuna göre çok daha yüksek olmasıdır. Molar hacim değeri ise artan Bi₂O₃ ve azalan PbCl₂ oranıyla beraber bir miktar azalmıştır. Bunun nedeni Bi₂O₃'ün hem molar kütlesi hem de yoğunluğunun PbCl₂'nin molar kütlesi ve yoğunluğundan çok daha büyük olmasıdır.

Oksijen molar hacim değerleri, bileşime eklenen bileşenlerin alan şiddetlerine bağlı olarak değişmiştir (Te⁴⁺:0,95, Pb⁴⁺:0,89, Bi³⁺:0,53). Yapıda azalan PbCl₂ ve artan Bi₂O₃ oranına bağlı olarak yüksek alan şiddetine sahip olan Pb⁴⁺ iyonlarının yerini daha düşük alan şiddetine sahip ancak iki katı oranda yapıda bulunan Bi³⁺ iyonlarına bırakmasıyla yapı daha sıkı paketlenir hale gelmiş ve oksijen molar hacim değeri azalmıştır. Oksijen paketlenme yoğunluğu değerleri ise, yapıda azalan PbCl₂ ve artan Bi₂O₃ oranına bağlı olarak artmıştır. Bunun nedeni oksijen atomu içermeyen PbCl₂ yerine 3 oksijen atomu içeren Bi₂O₃ bileşeninin yapıya katılmasıdır.

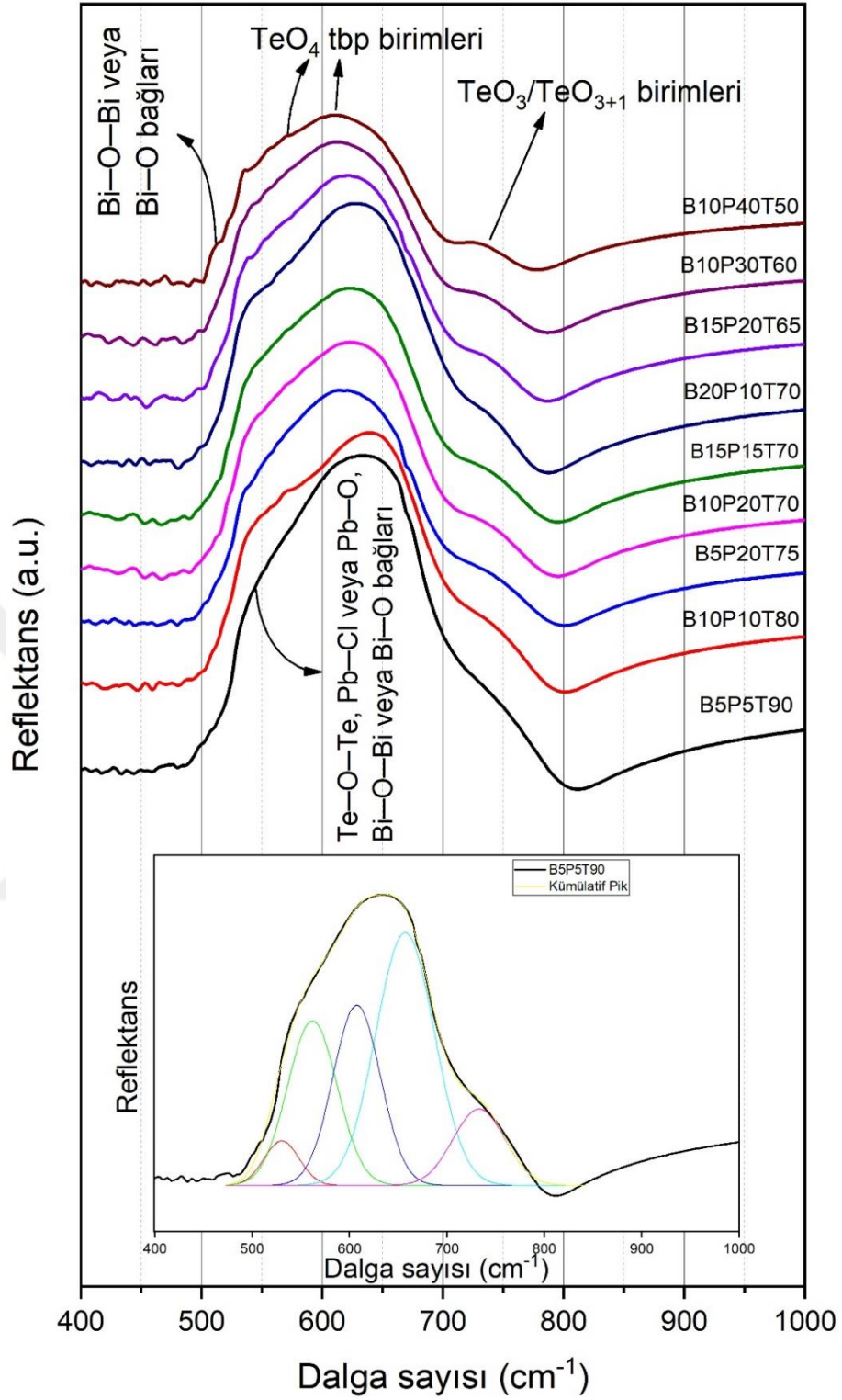
5.5 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ Sistemine Ait Cam Numunelerin Yapısal Özelliklerinin Yorumlanması

Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde elde edilen cam numunelerin yapısal özelliklerinin incelenmesi FTIR spektroskopisi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Şekil 5.9’da sentezlenen camların 400-1000 cm⁻¹ aralığında FTIR spektrumları verilmiştir. Elde edilen FTIR spektrumlarında gözlemlenen titreşim özellikleri, literatürde tellür oksit esaslı farklı sistemler için belirlenen FTIR spektrumları ve deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin FTIR spektrumları değerlendirilerek tespit edilmiştir [121], [147], [151], [152].

Cam numunelerin FTIR spektrumunda amorf yapıdaki düzensizliklerden kaynaklanan geniş pikler görülmüştür. Çizelge 5.8’te detaylı olarak açıklandığı ve Şekil 5.9’da verildiği üzere Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sistemine ait cam numunelerde beş adet ana pik belirlenmiştir. 509-520 cm⁻¹’de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O–Bi veya Bi–O bağlarının gerilme titreşiminden, 537-551 cm⁻¹’de gözlemlenen pikin BiO₆ yapısındaki Bi–O bağlarının titreşimi, Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi ya da Pb–Cl veya Pb–O bağlarının titreşimine ait olduğu düşünülmektedir. 571-576 cm⁻¹ ve 610-632 cm⁻¹’de gözlemlenen piklerin TeO₄ üçgensel çift piramit birimlerinin gerilme titreşiminden, 724-750 cm⁻¹’deki pikin ise TeO₃/TeO₃₊₁ birimlerinin gerilme titreşiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir [121], [147], [151], [153], [154], [155], [156], [157], [158].

Çizelge 5. 8 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde elde edilen camların FTIR analizleri sonucu belirlenen titreşim özellikleri

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Titreşim özellikleri
509-520	BiO ₆ yapısındaki Bi–O–Bi ve Bi–O bağlarının titreşimi Pb–Cl veya Pb–O bağlarının titreşimi Te–O–Te bağlarının gerilme titreşimi BiO ₆ yapısındaki Bi–O–Bi + Bi–O bağlarının titreşimi
537-551	
571-576	TeO ₄ tbp birimlerinin titreşimi
610-632	TeO ₄ tbp birimlerinin titreşimi
724-750	TeO ₃ /TeO ₃₊₁ birimlerinin titreşimi



Şekil 5. 9 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde elde edilen camların FTIR spektrumları

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi artan PbCl₂+Bi₂O₃/TeO₂ oranına bağlı olarak, pik şiddetleri ve pozisyonlarında değişiklikler gözlenmiştir. Azalan TeO₂ ve artan PbCl₂ ve Bi₂O₃ oranıyla beraber TeO₄ yapısına ait piklerin ve TeO₃ tp/TeO₃₊₁ piklerinin şiddetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bizmut-tellürit cam sisteminde Bi³⁺ iyon konsantrasyonu

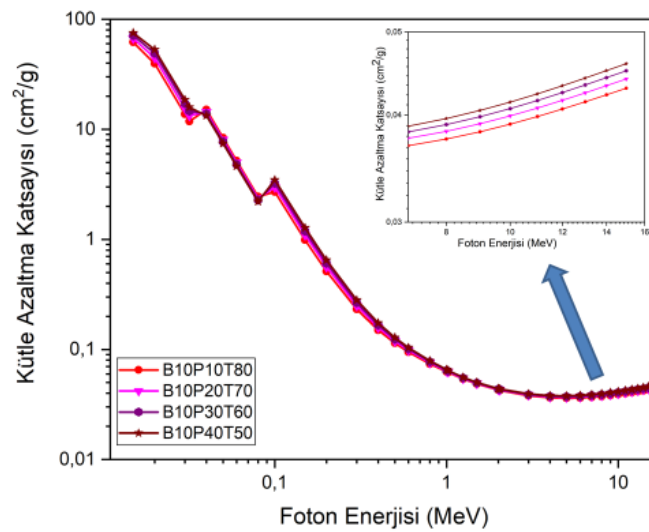
arttığında pikler düşük dalga sayısına doğru ötelenmektedir. $PbCl_2$ miktarının artması ile birlikte TeO_4 çift piramit yapısı azalmakta ve TeO_3 üçgensel piramit yapısı artmaktadır. [152], [159], [160], [161]

5.6 Bi_2O_3 - $PbCl_2$ - TeO_2 Sistemine Ait Cam Numunelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması

Bi_2O_3 - $PbCl_2$ - TeO_2 sisteminde elde edilen cam numunelerin radyasyon zırhlama özellikleri, cam bileşimindeki her bir bileşenin etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi için Çizelge 5.1’de belirlenen 4 farklı rota göz önüne alınarak incelenmiş ve camların bileşime bağlı olarak radyasyon zırhlama özelliklerindeki değişimler ilk olarak bu rotalardaki bileşimsel değişimlere göre yorumlanmış, daha sonra ise tüm cam numuneler için toplu olarak değerlendirilmiştir.

5.6.1 $10Bi_2O_3$ - $xPbCl_2$ -(90-x) TeO_2 (Rota 1) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması

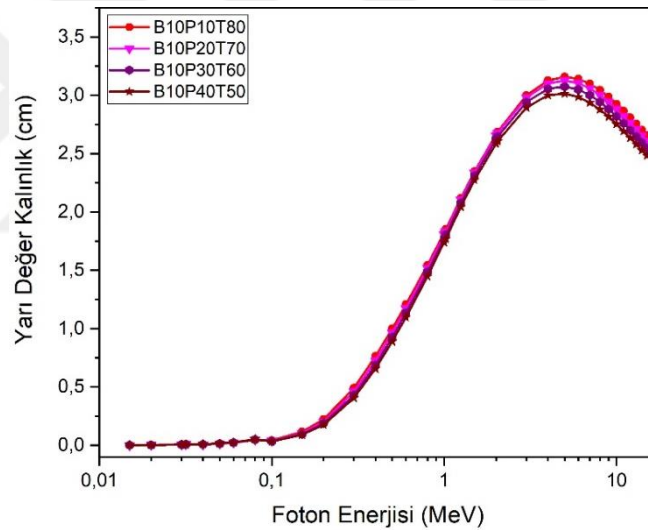
Rota 1 olarak belirtilen ve sabit Bi_2O_3 oranında, artan $PbCl_2$ ve azalan TeO_2 değişimi ile cam numunelerin radyasyon özelliklerin değişiminin yorumlanması amacıyla, kütle azaltma katsayısı (KAK), yarı değer kalınlık (YDK), ortalama serbest yol (OSY), etkin atom numarası (Z_{etk}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{etk}) değerleri tespit edilmiştir. Şekil 5.10’da rota 1 için 0.015-15 MeV enerji aralığında elde edilen kütle azaltma katsayısı değişimi verilmiştir.



Şekil 5. 10 Rota 1 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi

Şekil 5.10’da görüldüğü üzere 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir. Bu azalmanın fotoelektrik soğurma olayından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca orta enerji aralığında ($0,8 < E < 6$ MeV), compton saçılma mekanizması gama ışınları için baskın etkileşim olup, bu işlem atom numarasına (Z) düşük bir bağımlılığa sahiptir. Dolayısıyla bu enerji aralığında tüm camların kütle azaltma katsayısı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Yüksek enerji aralığında ($E > 6$ MeV) ise çift üretim mekanizması baskın hale gelir ve bu nedenle artan foton enerjisiyle beraber kütle azaltma katsayısının hafif bir şekilde arttığı görülür [59], [147]. Artan $PbCl_2$ miktarı ile birlikte kütle azaltma katsayısı da artış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en yüksek KAK değerini veren B10P40T50 numunesi göstermektedir.

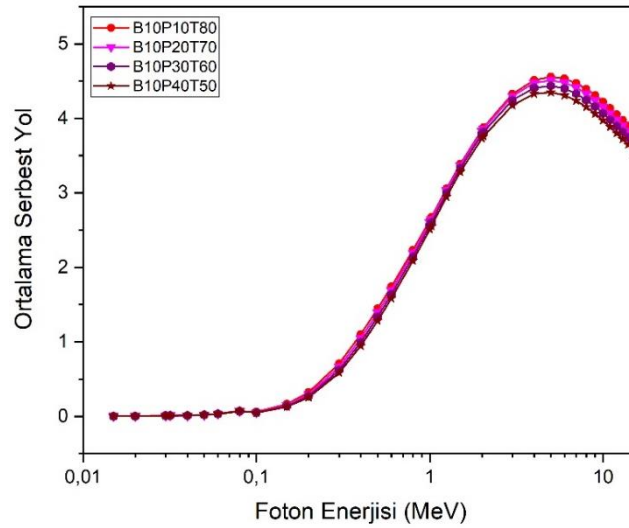
Şekil 5.11’de rota 1 için 0.015-15 MeV enerji aralığında elde edilen yarı değer kalınlık değişimi verilmiştir.



Şekil 5. 11 Rota 1 için yarı değer kalınlık – foton enerjisi (MeV) değişimi

Şekil 5.11’de görüldüğü üzere düşük enerji ($E < 0,8$ MeV) aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmıştır. Burada en iyi sonucu en düşük YDK değeri veren B10P40T50 numunesi göstermektedir.

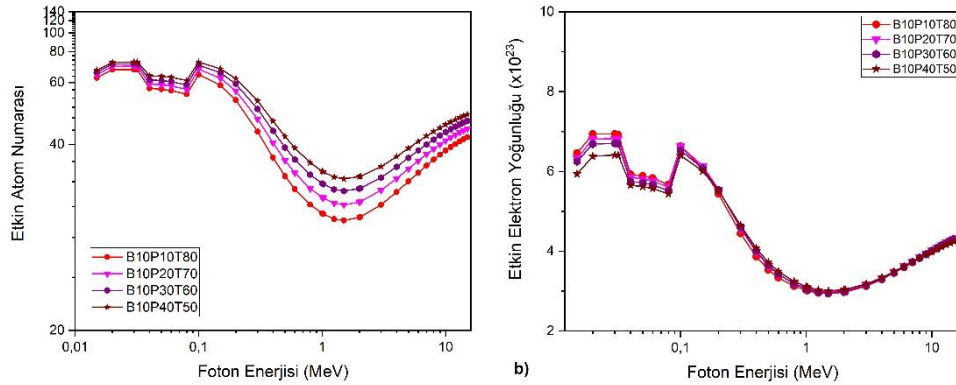
Şekil 5.12’de rota 1 için 0.015-15 MeV enerji aralığında ortalama serbest yol değişimi verilmiştir.



Şekil 5.12 Rota 1 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi 0,1 MeV değerine kadar OSY değeri sabit gelmiş ve 0,1-5 MeV değeri arasında hızla yükselmiştir. OSY değeri temelde KAK değerine bağlı olduğundan aynı baskın mekanizmalar geçerlidir [98]. Artan $PbCl_2$ miktarı ile birlikte ortalama serbest yol değeri düşüş göstermektedir. Burada en iyi sonucu en düşük OSY değeri veren B10P40T50 numunesi göstermektedir.

Şekil 5.13’te rota 1 için 0.015-15 MeV enerji aralığında etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değişimi verilmiştir.



Şekil 5.13 Rota 1 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi

Şekil 5.13’te verilen iki grafik de incelenirse aynı foton enerjisi için benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Maksimum Z_{etk} ve N_{etk} değerleri düşük ($E < 0.8$ MeV) enerji aralığında elde edilmiştir. Minimum değerler ise orta enerji ($0.8 < E < 4$ MeV) aralığında gözlemlenmiştir. İki grafikte de değerlerin sabit olduğu (0,04-0,08 MeV) bir bölge vardır. Grafiklere göre $PbCl_2$ oranının artması ile etkin atom numarası ve etkin elektron

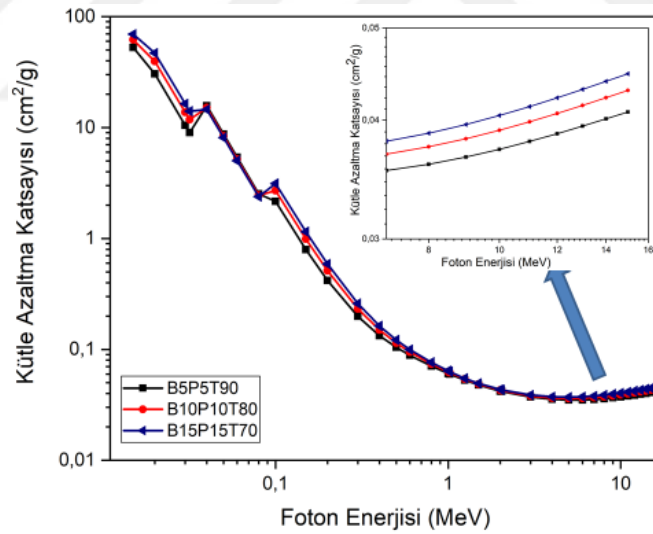
yoğunluğu değerleri artış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en yüksek değeri veren B10P40T50 numunesi sonra B10P30T60 numunesi göstermektedir.

Rota 1 için kütle azaltma katsayısı, yarı değer kalınlık, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri incelendiğinde en iyi radyasyon zırhlama özelliklerini gösteren numunenin B10P40T50 olduğu ardından B10P30T60 numunesinin de iyi zırhlama özellikleri gösterdiği görülmektedir. Rota 1 için, cam bileşiminde sabit Bi_2O_3 oranında, artan PbCl_2 oranının radyasyon zırhlama özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

5.5.2 $x\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $x\text{PbCl}_2$ -(100- x) TeO_2 (Rota 2) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması

Rota 2’de azalan TeO_2 ve eşit oranda artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranında cam numunelerin radyasyon özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

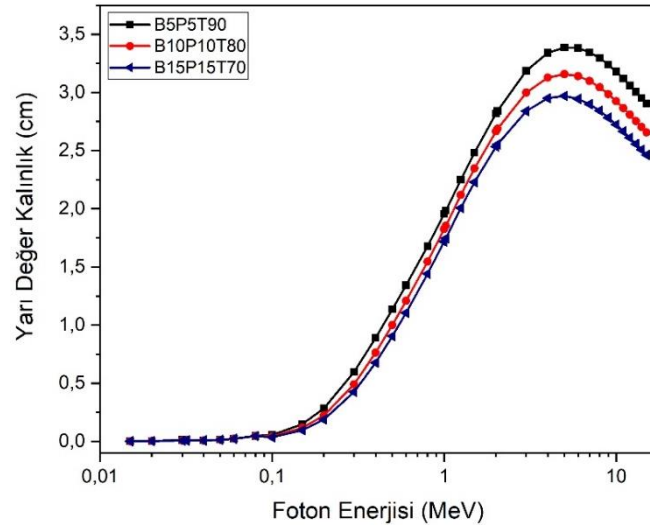
Şekil 5.14’te rota 2 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı kütle azaltma katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 14 Rota 2 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.14’te görüldüğü üzere incelenen enerji aralığında rota 1 için elde edilen kütle azaltma katsayısı – foton enerjisi değişimine benzer bir davranış gözlenmiştir. Bu rotada, artan Bi_2O_3 ve PbCl_2 miktarı ile birlikte kütle azaltma katsayısı artış göstermektedir. Buna göre en iyi sonucu en yüksek KAK değerini veren B15P15T70 numunesi göstermektedir.

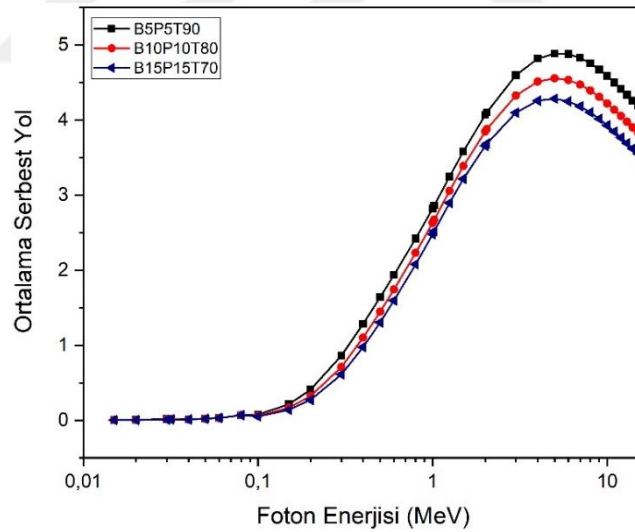
Şekil 5.15’de rota 2 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı yarı değer kalınlık grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 15 Rota 2 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.15’de görüldüğü üzere yarı değer kalınlık – foton enerjisi değişimi rota 1 ile benzer bir davranış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en düşük YDK değeri veren B15P15T70 numunesi göstermektedir.

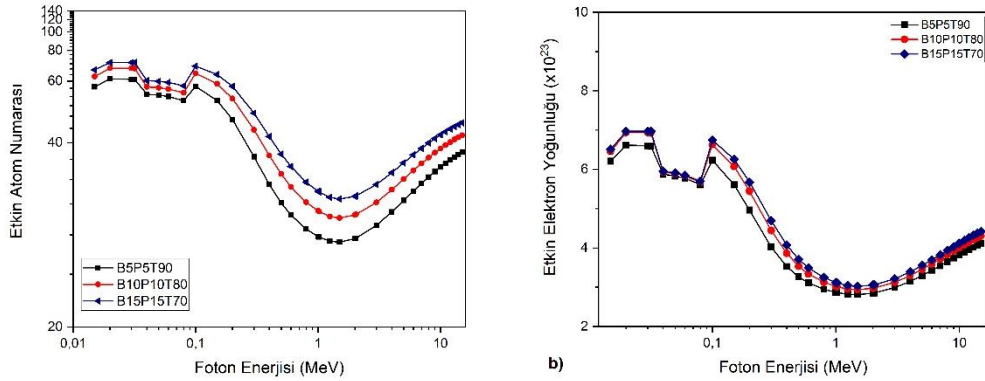
Şekil 5.16’da rota 2 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı ortalama serbest yol grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 16 Rota 2 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.16’da görüldüğü gibi çalışılan enerji aralığında OSY değerleri rota 1 ile benzer bir değişim göstermiştir. Genel olarak artan $PbCl_2$ ve Bi_2O_3 miktarı ile birlikte ortalama serbest yol değeri düşüş göstermektedir. Burada en iyi sonucu en düşük OSY değeri veren B15P15T70 numunesi göstermektedir.

Şekil 5.17’de rota 2 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin atom numarası grafiği ve 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin elektron yoğunluğu grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 17 Rota 2 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

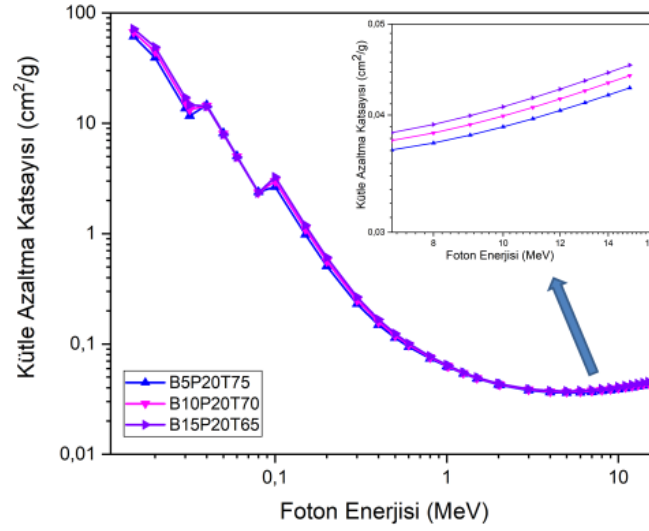
Şekil 5.17’de verilen iki grafikte incelenirse aynı foton enerjisi için benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Maksimum Z_{etk} ve N_{etk} değerleri düşük ($E < 0.8$ MeV) enerji aralığında elde edilmiştir. Minimum değerler ise orta enerji ($0.8 < E < 4$ MeV) aralığında elde edilmiştir. İki grafikte de değerlerin sabit olduğu (0,04-0,08 MeV) bir bölge vardır. Grafiklere göre PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranının artması ile etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri artış göstermektedir. Burada en iyi sonucu B15P15T70 numunesi vermektedir.

Rota 2 için kütle azaltma katsayısı, yarı değer kalınlık, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri incelendiğinde en iyi radyasyon zırhlama özelliklerini gösteren camın B15P15T70 numunesi olduğu görülmektedir. Rota 2 için PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarının artışı ile radyasyon zırhlama özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir.

5.5.3 $x\text{Bi}_2\text{O}_3-20\text{PbCl}_2-(80-x)\text{TeO}_2$ (Rota 3) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması

Rota 3’te sabit PbCl_2 oranında azalan TeO_2 ve artan Bi_2O_3 oranı ile cam numunelerin radyasyon özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

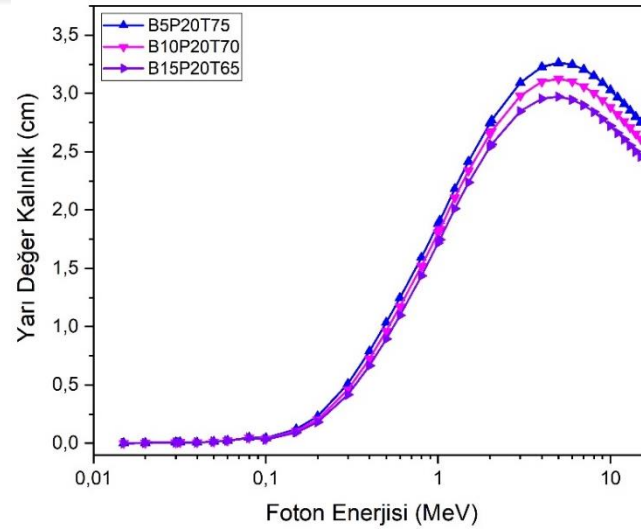
Şekil 5.18’de rota 3 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı kütle azaltma katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 18 Rota 3 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.18’de görüldüğü üzere incelenen enerji aralığında ilk iki rota için elde edilen kütle azaltma katsayısı – foton enerjisi değişimine benzer bir davranış gözlenmiştir. Bu rota için artan $PbCl_2$ miktarı ile birlikte kütle azaltma katsayısı da artış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en yüksek KAK değerini veren B15P20T65 numunesi göstermektedir.

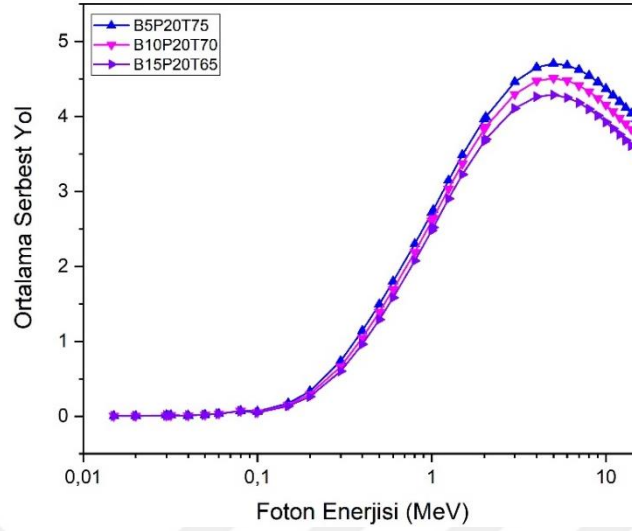
Şekil 5.19’de rota 3 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı yarı değer kalınlık grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 19 Rota 3 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.19’de görüldüğü üzere yarı değer kalınlık – foton enerjisi değişimi rota 1 ve rota 2 ile benzer bir davranış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en düşük YDK değeri veren B15P20T65 numunesi göstermektedir.

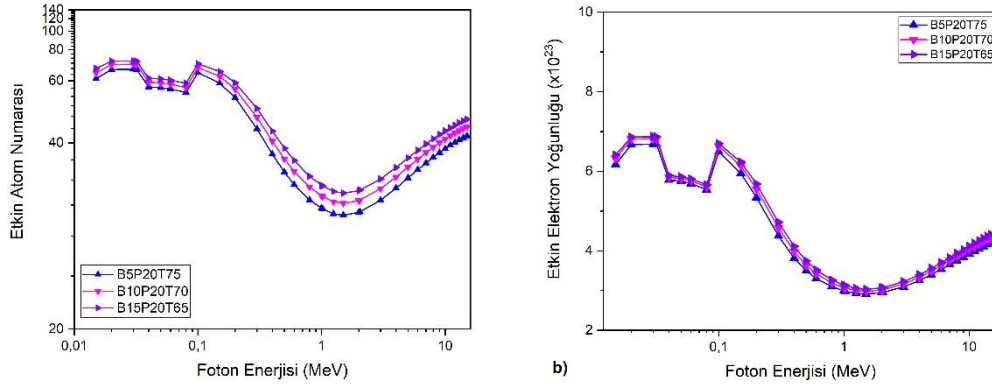
Şekil 5.20’da rota 3 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı ortalama serbest yol grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 20 Rota 3 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.20’da görüldüğü gibi çalışılan enerji aralığında OSY değerleri ilk iki rota ile benzer bir değişim göstermiştir. Burada en iyi sonucu en düşük OSY değeri veren B15P20T65 numunesi göstermektedir.

Şekil 5.21’de rota 3 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin atom numarası grafiği ve 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin elektron yoğunluğu grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 21 Rota 3 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.21’de verilen iki grafikte incelenirse aynı foton enerjisi için benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Farklı enerji aralıklarında gözlemlenen davranışlar rota 1 ve rota 2’deki numuneler için gözlemlenen değişimlere benzerlik göstermektedir. Buna göre göre sabit $PbCl_2$ oranında Bi_2O_3 oranının artması da etkin atom numarası ve etkin elektron

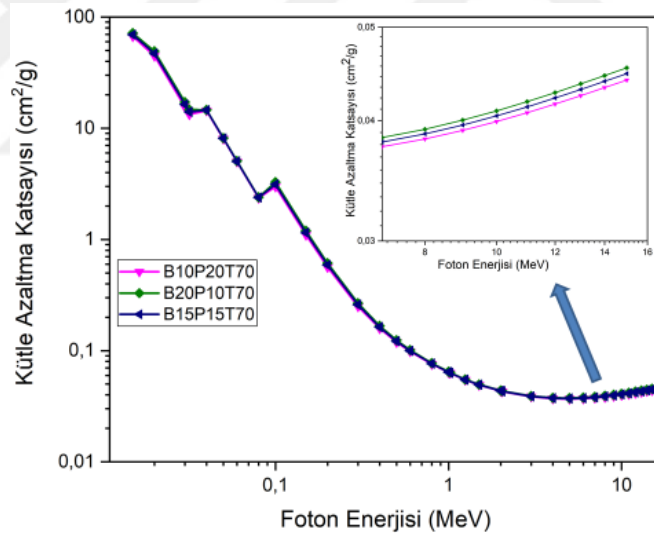
yoğunluğu değerleri artış göstermektedir. Buna göre en iyi zırhlama sonucunu B15P20T65 numunesi vermektedir

Rota 3 için kütle azaltma katsayısı, yarı değer kalınlık, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri incelendiğinde en iyi radyasyon zırhlama özelliklerini gösteren camın B15P20T65 numunesi olduğu görülmektedir. Rota 3 için sabit PbCl_2 oranında Bi_2O_3 oranının artmasının radyasyon zırhlama özelliklerini arttırdığı tespit edilmiştir.

5.5.4 $x\text{Bi}_2\text{O}_3$ -(30-x) PbCl_2 -70 TeO_2 (Rota 4) için Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Yorumlanması

Rota 4'te sabit TeO_2 oranında azalan PbCl_2 ve artan Bi_2O_3 oranı ile cam numunelerin radyasyon özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

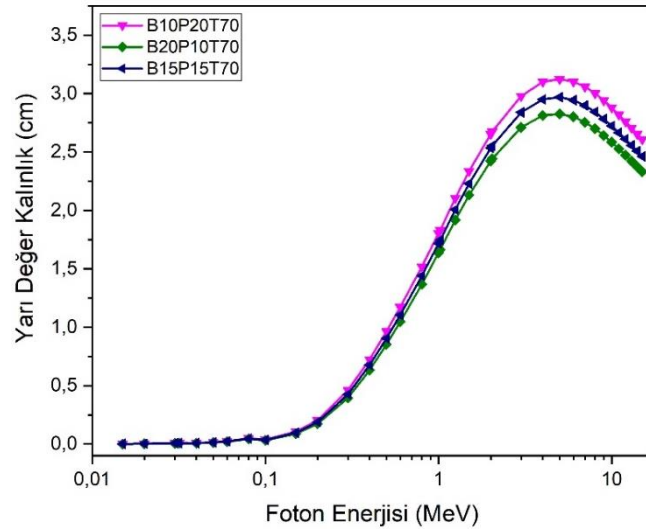
Şekil 5.22'de rota 4 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı kütle azaltma katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 22 Rota 4 için kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.22'de incelenen enerji aralığında önceki rotalar için elde edilen kütle azaltma katsayısı – foton enerjisi değişimine benzer bir davranış gözlenmiştir. Buna göre, yüksek oranda Bi_2O_3 içeren B20P10T70 numunesi en iyi sonucu göstermektedir.

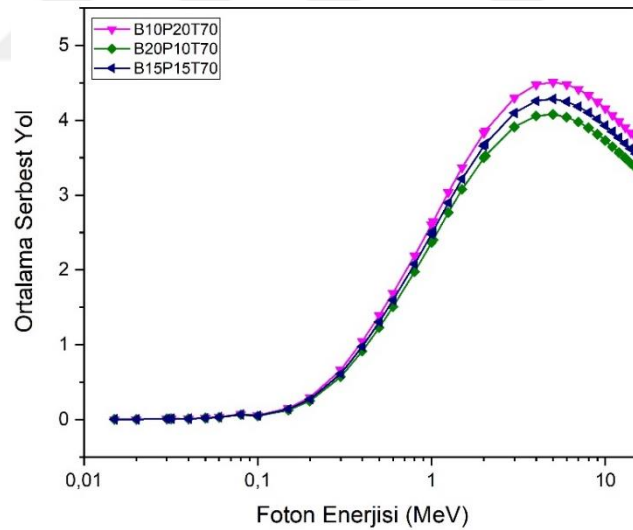
Şekil 5.23'te rota 4 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı yarı değer kalınlık grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 23 Rota 4 için yarı değer kalınlık - foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.23’de görüldüğü üzere yarı değer kalınlık – foton enerjisi değişimi önceki rotalar ile benzer bir davranış göstermektedir. Burada en iyi sonucu en düşük YDK değerini veren, yüksek oranda Bi_2O_3 içeren B20P10T70 numunesi göstermektedir.

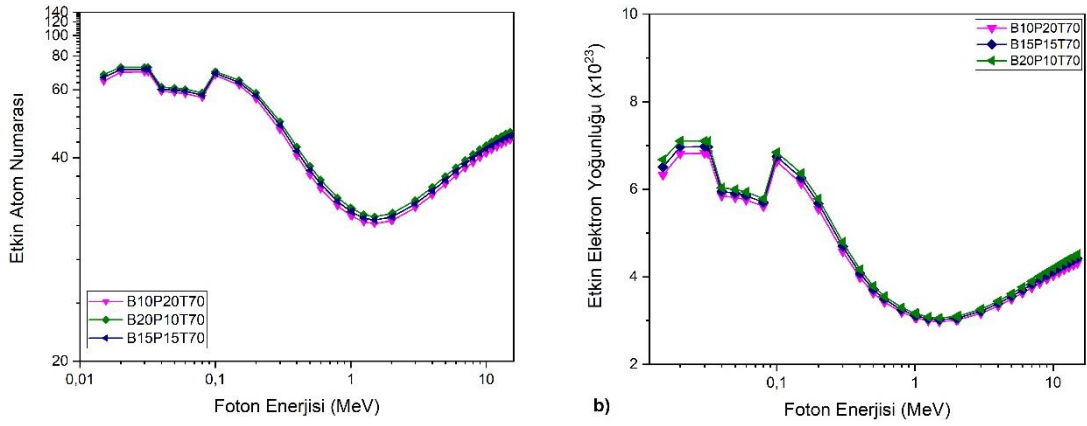
Şekil 5.24’da rota 4 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı ortalama serbest yol grafiği verilmiştir.



Şekil 5. 24 Rota 4 için ortalama serbest yol – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.24’da görüldüğü gibi çalışılan enerji aralığında OSY değerleri önceki rotalar ile benzer bir değişim göstermiştir. Burada en iyi sonucu en düşük OSY değeri veren, yüksek oranda Bi_2O_3 içeren B20P10T70 numunesi göstermektedir.

Şekil 5.25’de rota 4 için 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin atom numarası grafiği ve 0.015-15 MeV enerji aralığına karşı etkin elektron yoğunluğu grafiği verilmiştir.



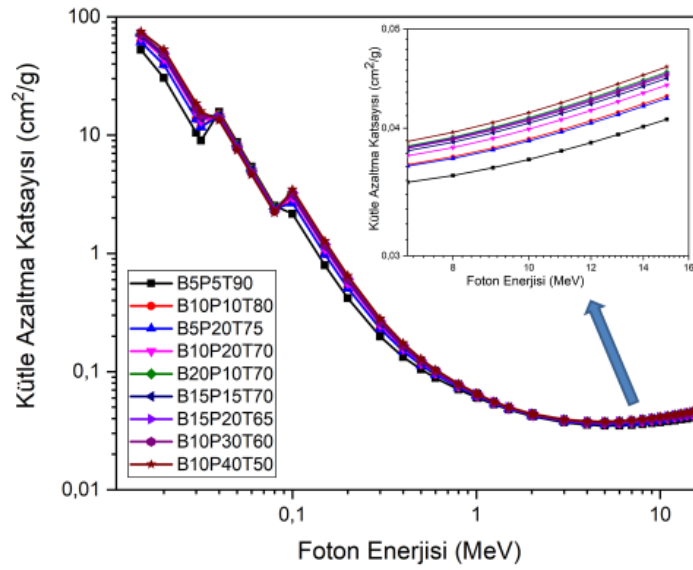
Şekil 5. 25 Rota 4 için a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi grafiği

Şekil 5.25’de verilen iki grafikte incelenirse aynı foton enerjisi için benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Farklı enerji aralıklarında gözlemlenen davranışlar önceki rotalardaki numuneler için gözlemlenen değişimlere benzerlik göstermektedir. Buna göre, en iyi sonucu B20P10T70 numunesi göstermektedir.

Rota 4 için kütle azaltma katsayısı, yarı değer kalınlık, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değerleri incelendiğinde en iyi radyasyon zırhlama özelliklerini gösteren camın B20P10T70 numunesi olduğu görülmektedir.

5.5.5 Tüm Cam Numunelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen tüm cam numunelerin radyasyon zırhlama özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla numunelerin kütle azaltma katsayısı (KAK), yarı değer kalınlık (YDK), ortalama serbest yol (OSY), etkin atom numarası (Z_{etk}) ve etkin elektron yoğunluğu (N_{etk}) değerleri toplu olarak değerlendirilmiştir. Buna göre Şekil 5.26’da $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların 0.015-15 MeV enerji aralığında kütle azaltma katsayısı değişimleri verilmiştir.



Şekil 5. 26 Bi₂O₃-PbCl₂-TeO₂ sisteminde elde edilen camların kütle azaltma katsayısı - foton enerjisi değişimi

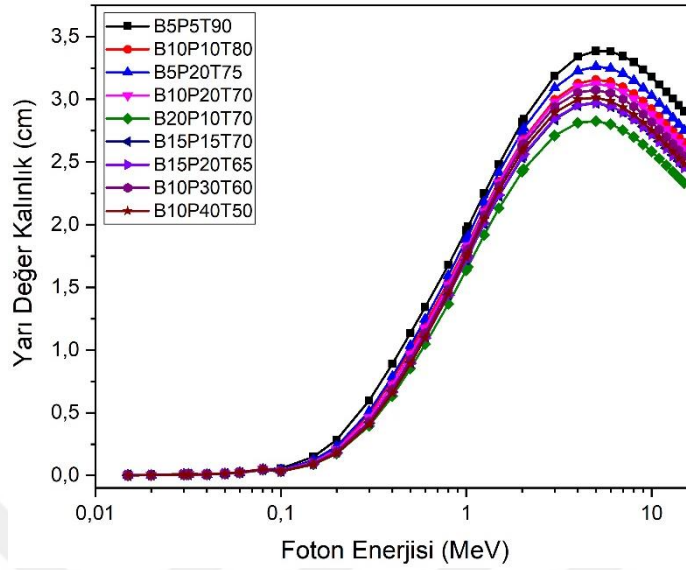
Şekil 5.26'da görüldüğü üzere 1,5 MeV değerine kadar kütle azaltma katsayısı değerlerinde keskin bir azalma gözlemlenmektedir. Bu azalmanın fotoelektrik soğurma olayından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca orta enerji aralığında ($0,8 < E < 6$ MeV), Compton saçılma mekanizması gama ışınları için baskın etkileşim olup, bu işlem atom numarasına (Z) düşük bir bağımlılığa sahiptir. Dolayısıyla bu enerji aralığında tüm camların kütle azaltma katsayısı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir. Yüksek enerji aralığında ($E > 6$ MeV) ise çift üretim mekanizması baskın hale gelir ve bu nedenle artan foton enerjisiyle beraber kütle azaltma katsayısının hafif bir şekilde arttığı görülür. Ayrıca düşük enerji bölgesinde görülen süreksizlikler elementlerin K – L – M soğurma sınırından kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.9'da cam bileşiminde bulunan elementlerin soğurma sınırına ait foton enerji değerleri verilmiştir [59], [97], [98], [147].

Çizelge 5. 9 Elementlerin soğurma sınırlarına ait foton enerjileri (KeV)

Element	Z	M5	M4	M3	M2	M1	L3	L2	L1	K
Te	52	-	-	-	-	1,01	4	4,61	4,94	31,18
Pb	82	2,48	2,59	3,07	3,55	3,85	13,04	15,20	15,86	88
Bi	83	2,58	2,69	3,18	3,69	3,99	13,42	15,71	16,39	90,53
W	74	1,809	1,872	2,281	2,575	2,82	10,21	11,54	12,10	69,53

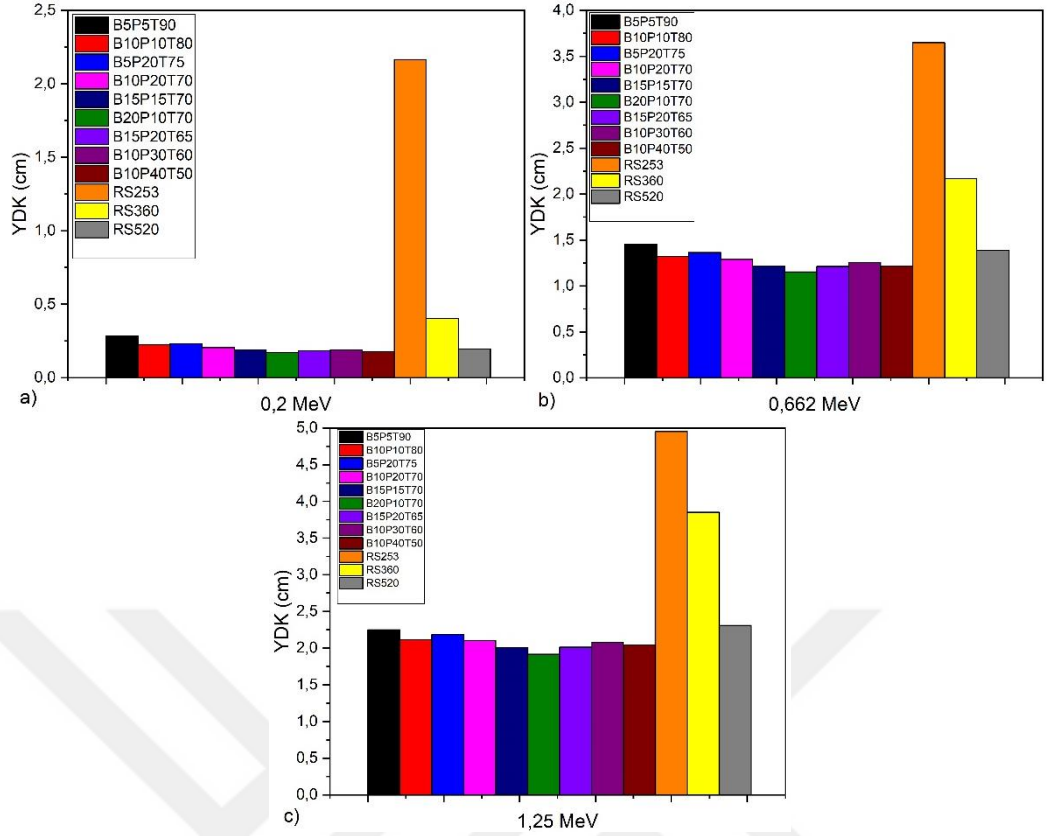
Sentezlenen cam numuneler içerisinde maksimum kütle azaltma katsayısı değerini B20P10T70 ve B10P40T50 numuneleri göstermektedir.

Şekil 5.27’de $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların 0.015-15 MeV enerji aralığında yarı değer kalınlık değerlerinin değişimi verilmiştir.



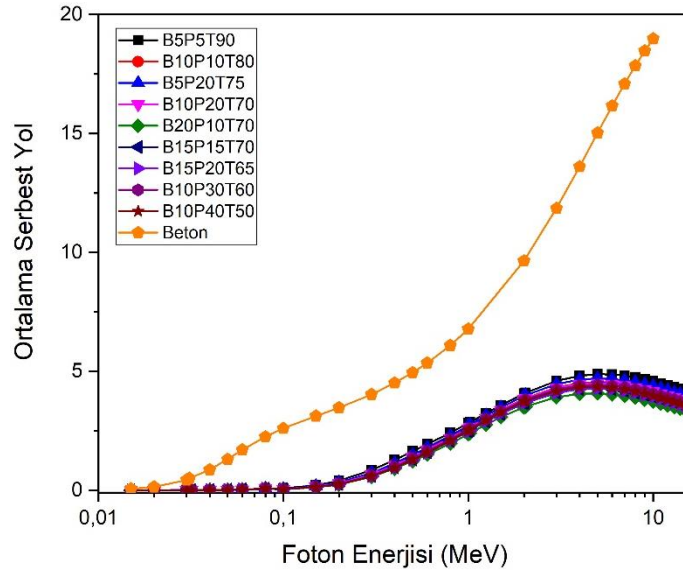
Şekil 5. 27 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların yarı değer kalınlık - foton enerjisi değişimi

Şekil 5.27’de görüldüğü üzere düşük enerji ($E < 0,8$ MeV) aralığında yarı değer kalınlığı değerlerinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çalışılan enerji aralığında 0,1 MeV değerine kadar yarı kalınlık değerleri neredeyse sabit bir değer almış, sonrasında ise artan foton enerjisi ile birlikte büyük bir artış göstermiştir. Maksimum YDK değerlerine 5 MeV değerinde ulaşılmış olup; cam numuneler için bu değerler 2,82-3,39 cm aralığında tespit edilmiştir. YDK değerleri 5 MeV değerinden sonra tekrar bir azalma göstermiştir. Şekil 5.27’de görüldüğü gibi en düşük YDK değerini B20P10T70 numunesi göstermektedir. Bu numunenin en düşük YDK değerine sahip olması hem kütle azaltma katsayısının hem de yoğunluğunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.28’de $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların YDK değerleri açısından ticari radyasyon zırh camları ile karşılaştırması verilmektedir [59], [97], [98], [147]. Buna göre, bu tez çalışmasında sentezlenen cam numunelerin incelenen tüm enerji değerlerinde ticari camların YDK değerlerinden daha düşük değerlere sahip olduğu ve dolayısıyla daha iyi zırhlama özelliği gösterdikleri belirlenmiştir.



Şekil 5. 28 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların a) 0,2 MeV b) 0,662 MeV c) 1,25 MeV foton enerji değerlerinde yarı değer kalınlıklarının ticari camlarla karşılaştırılması

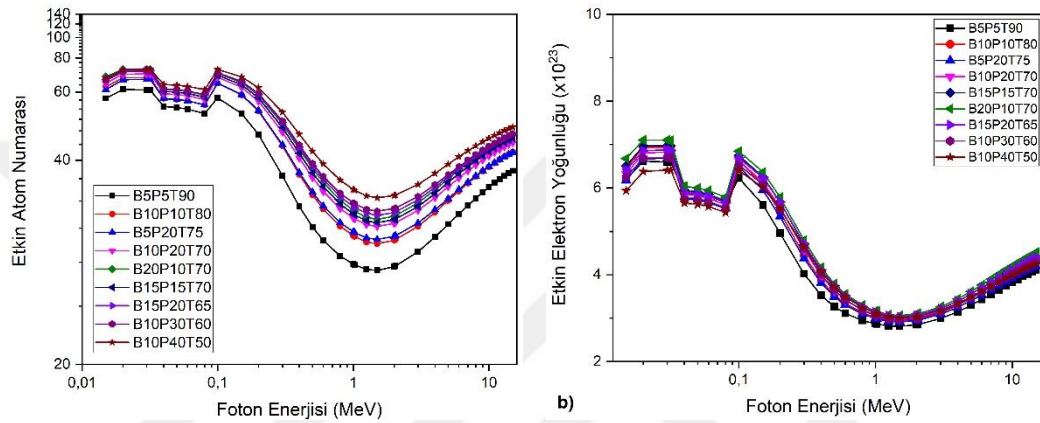
Şekil 5.29’da $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların ve betonun 0.015-15 MeV enerji aralığında ortalama serbest yol değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5. 29 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların ve betonun ortalama serbest yol - foton enerjisi değişimi

Daha kısa ortalama serbest yol, malzemenin gama ışını ile daha fazla etkileşime girdiğini gösterir ve daha iyi radyasyon koruma özelliklerini ifade etmektedir. Bu tez çalışmasında sentezlenen camların pratik uygulamalarının değerlendirilebilmesi için, camların OSY değerleri sıradan beton ile karşılaştırılmış ve bu çalışmada sentezlenen camların betona göre daha düşük OSY değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.29’da görüldüğü üzere B20P10T70 numunesi, en düşük OSY değerine sahiptir [59], [98].

Şekil 5.30’da $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların 0.015-15 MeV enerji aralığında etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu değişimi verilmiştir.



Şekil 5. 30 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların a) etkin atom numarası – foton enerjisi (MeV) b) etkin elektron yoğunluğu – foton enerjisi (MeV) değişimi

Şekil 5.30’da $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminde elde edilen camların foton enerjisine bağlı Z_{etk} ve N_e değişimlerinin benzer olduğu görülmektedir. Literatürde farklı alaşımlar ve çeşitli tellürit camlar için de benzer değişimler gözlemlenmiştir [147], [162]. Şekil 5.30’da görüldüğü gibi maksimum Z_{etk} ve N_e değerlerine düşük enerji aralığında rastlanmıştır. Bunun nedeni, yüksek atom numaralı camların fotoelektrik soğurma kesitinin Z^4 etkileşimi nedeniyle daha da ağırlaşmasıdır. Ayrıca grafiklerde Z_{etk} ve N_e değerlerinin neredeyse sabit olduğu bir bölge dikkat çekmektedir. Bu bölgede compton saçılması baskındır ve etkileşim kesiti atom numarası ile doğru orantılıdır. Grafiklerde görülen ve süreksizlik yaratan sıçramalar ise fotoelektrik absorpsiyon etkileşiminin neden olduğu tellür ve bizmutun K-kabuğu emilimi ile açıklanabilir. Foton enerjisi 3 MeV’un üzerine çıktığında ise Z_{etk} ve N_e değerlerinde küçük bir artış gözlemlenmektedir. Yüksek enerjili bölgede çift üretimi mekanizmasının baskınlığı bu artışın sebebi olabilir. Sentezlenen tüm cam numuneler karşılaştırıldığında yüksek oranda PbCl_2 ve Bi_2O_3 içeren camların daha yüksek Z_{etk} ve N_e değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. [59], [98]

Sonuç olarak, bu tez çalışması kapsamında incelenen numuneler radyasyon zırhlama özellikleri açısından değerlendirildiğinde genel olarak yoğunluklarının yüksek olması ve cam yapıdaki $PbCl_2$ ve Bi_2O_3 oranının artmasının zırhlama özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir. En iyi zırhlama özelliği gösteren numunenin B20P10T70 numunesi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca beton ve diğer ticari camlar ile karşılaştırıldığında bu çalışmada sentezlenen tüm numunelerin daha iyi zırhlama özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bütün bu sonuçlar dikkate alındığı zaman bu tez çalışması kapsamında üretilen camların radyasyon zırh malzemesi olarak yüksek bir kullanım potansiyeli olduğu belirlenmiştir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, radyasyon zırhlama uygulamalarına yönelik olarak $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin camlaşma davranışı incelenmiş, sistemin cam haritası oluşturulmuş, sistemden elde edilen cam numuneler optik, ısı, fiziksel, yapısal özellikler açısından incelenmiş ve radyasyon zırhlama uygulamalarında kullanım potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bu incelemeler sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların üretimi sırasında cam harmanında bulunan klorür bileşeni nedeniyle camların ergitme ve döküm koşullarının hassas olarak kontrolü gerekmektedir.
2. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait hazırlanan 13 farklı bileşimde numuneden 9 tanesi döküm sonrası cam olarak elde edilmiş ve camların amorf yapıları XRD analizleri ile doğrulanmıştır. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin cam yapma bileşim aralığı belirlenerek cam oluşum bölgesi haritalandırılmıştır. Buna göre, $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sisteminin TeO_2 'ce zengin bölgede iyi camlaşma özelliği gösterdiği belirlenmiştir.
3. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların görünür bölgede %70-77 aralığında yüksek geçirgenlik değerlerine sahip olduğu ve 400 nm ve daha düşük dalga boylarında geçirgenlik göstermediği, soğurma sınırı değerlerinin ise 373-385 nm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen camların renginin artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranı ve azalan TeO_2 oranına bağlı olarak açık sarı renkten koyu sarıya doğru değiştiği belirlenmiştir.
4. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların cam geçiş sıcaklıkları 256-304 °C arasında tespit edilmiştir. Camların ısı kararlılık değerlerinin, 32-110 °C

aralığında değiştiği ve en yüksek ΔT değerine sahip camın B10P20T70 olduğu belirlenmiştir.

5. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların; oda sıcaklığında ölçülen yoğunluk değerlerinin 5,85-6,55 g/cm³ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Yoğunluk değerinin bileşimde değişen $\text{TeO}_2/\text{PbCl}_2$ oranıyla beraber çok fazla değişmediği ve artan Bi_2O_3 oranıyla beraber arttığı belirlenmiştir.
6. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların radyasyon zırhlama özelliklerinin, kütle azaltma katsayısı, yarı değer kalınlık, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğu açısından incelenmesi sonucu:
 - Kütle azaltma katsayısı değerlerinin azalan TeO_2 oranı ve artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarıyla beraber arttığı belirlenmiş ve en yüksek kütle azaltma katsayısı özelliği gösteren numunenin B10P40T50 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.
 - Yarı değer kalınlık değerinin azalan TeO_2 oranı ve artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarıyla beraber azaldığı belirlenmiş ve en düşük yarı değer kalınlık gösteren numunenin B20P10T70 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.
 - Ortalama serbest yol değerinin azalan TeO_2 oranı ve artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarıyla beraber azaldığı belirlenmiş ve en düşük ortalama serbest yol gösteren numunenin B20P10T70 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.
 - Etkin atom numarası değerinin azalan TeO_2 oranı ve artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarıyla beraber arttığı belirlenmiş ve en iyi özellik gösteren numunenin B10P40T50 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.
 - Etkin elektron yoğunluğu değerlerinin azalan TeO_2 oranı ve artan PbCl_2 ve Bi_2O_3 oranlarıyla beraber arttığı belirlenmiş ve en iyi özellik gösteren numunenin B20P10T70 numunesi olduğu gözlemlenmiştir.

Bütün bu özellikler toplu olarak değerlendirildiği zaman sentezlenen tüm cam numuneler arasında en iyi zırhlama özelliği gösteren numunenin B20P10T70 numunesi olduğu tespit edilmiştir.

7. $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ sistemine ait camların çok daha az kurşun içermesine rağmen sıradan betonla ve mevcut ticari radyasyon zırhı camlarla yapılan karşılaştırılmaları sonucu daha iyi radyasyon zırhlama özellikleri gösterdikleri

belirlenmiş ve sonuç olarak radyasyon zırlama uygulamalarında yüksek kullanım potansiyeline sahip oldukları tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] TAEK, "Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Bilgi köşesi", http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html, 30 Mart 2019.
- [2] Ermiş, Ş., (2014). X veya γ Işını Soğuran Camların Etkin Atom Ve Elektron Numaralarının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [3] Knoll, G.F., (1999). Radiation Detectibn and Measurement Third Edition, John Wiley & Sons, Michigan.
- [4] T.A.E.K., "Radyasyon ve Yaşam", <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/184-radyasyonla-birlikte-yasiyoruz/500-radyasyon-ve-yasam.html>, 12 Şubat 2018.
- [5] Büyük, B., (2013). Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama Ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi, Xcom Bilgisayar Programı İle İrdelenmesi Ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzeme Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Karaman, E.S., (2003). Farklı Türkiye mermer türlerinin toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite seviyelerinin tayini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul
- [7] T.A.E.K., "Bilgi Köşesi", <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/r02.htm>, 30,03,2017.
- [8] Özyurt, O., (2015). Türkiye’de Üretilen Granitlerin Gama Ve Nötronları Zayıflatma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Faw R. E., Kenneth Shultis J., (2002). Fundamentals Of Nuclear Science And Engineering, Marcel Dekker, New York – Basel.
- [10] Doğanalp A., (2018). X-ışını dersi, Ders Notu, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimağusa.
- [11] Rachel A., Powsner M. R. P., Edward R., (2013). Essentials of Nuclear Medicine Physics and Instrumentation, A John Wiley & Sons.
- [12] Çevikbaş, G., (2014). Alüminyum Titanat/Spinel’in Radyasyon Karşısındaki Davranışının İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Yalçın L.Ş., (2018). Parçacıklar Ve Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi, Ders notu, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

- [14] Günaydin, E., (2014). Nötronlara Maruz Kalan Zn:Al/P-Si Heterokavşakların Akım-Voltaj Karakteristiklerinde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Vallières, S., (2016). Dose Enhancement with Nanoparticles in Radiotherapy Using Gold-Doxorubicin Conjugates, Medical Radiation Physics. McGill Üniversitesi, Kanada.
- [16] Leroy C., Rancoita P.G., (2009). Principles Of Radiation Interaction In Matter And Detection, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapur.
- [17] Glasstone S., Sesonske A., (1981). Nuclear Reactor Engineering, V.N. Reinhold Company, USA.
- [18] L'Annunziata M.F., (2012). Handbook of Radioactivity Analysis, Elsevier, book aid international, Sabre Foundation, USA.
- [19] Hüyük T., (2009). Yeni Bir Nötron Detektörü Tasarımı İçin Simülasyon Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] Martin, J.E., (2013). Physics for Radiation Protection, Wiley-VCH, Singapur.
- [21] Press, P., (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford: ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21(1-3).
- [22] I.A.E.A., (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Sources, International Basic Safety Standards, Viyana, Avusturya.
- [23] Krane S.K., (1988). Nuclear Physics, John Wiley&Sons, New York.
- [24] Eaves G., (1964). Principles of Radiation Protection, Iliffe Books L.T.D., London.
- [25] Kaçar, A., (2006). Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [26] Ünal O., Çoşkun A., (2016). "Barit Agregalı Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması", Akü Femübid, 16: 125-131.
- [27] Kiliçarslan Ş., Akkurt İ., (2007). "Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 22, No 2: 393-399.
- [28] Organization, W.H., (1996). Trace elements in human nutrition and health, Cenevre.
- [29] Singh N., Singh K. J., Singh K., Singh H., (2004). "Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 225: 305-309.
- [30] Fukuda A., Koshida K., Yamaguchi I., Takahashi M., Kitabayashi K., Matsubara K., Noto K., Kawabata C., Nakagawa H., (2004). "Shielding effect of clinical X-

- ray protector and lead glass against annihilation radiation and gamma rays of ^{99m}Tc ", *Nippon Hoshasen Gijutsu Gakkai zasshi*, 60: 1723-1729.
- [31] Arbuzov V.I., Andreeva N.Z., Leko N.A., Nikitina S.I., Orlov N.F., Fedorov Y.K., (2005). "Optical, spectral, and radiation-shielding properties of high-lead phosphate glasses", *Glass Physics and Chemistry*, 31: 583-590.
 - [32] Geleil A.S., Hall M.M., Shelby J.E., (2006). "Hollow glass microspheres for use in radiation shielding", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352: 620-625.
 - [33] Arbuzov V.I., Fyodorov Y.K., Nikitana S.I., Voroshilova M.V., (2007). "Radiation shielding glasses of a new generation", *Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology Part B*, 48: 302-303.
 - [34] Arbuzov V.I., Fyodorov Y.K., (2008). Spectral, radiation-optical and shielding properties of phosphate glasses with high lead content, *Advanced Materials Research*. 213-218.
 - [35] Singh S., Kumar A., Singh D., Thind K.S., Mudahar G.S., (2008). "Barium–borate–flyash glasses: As radiation shielding materials", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms*, 266: 140-146.
 - [36] Dararutana P., Duchaneephet J., Pongkrapan S., Sirikulrat N., Wathanakul P., (2009). "Effect of Bi_2O_3 content on optical and radiation shielding properties of $(\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ glass system", *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, 3: 525-527.
 - [37] Kirdsiri K., Kaewkhao J., Chanthima N., Limsuwan P., (2011). "Comparative study of silicate glasses containing Bi_2O_3 , PbO and BaO : Radiation shielding and optical properties", *Annals of Nuclear Energy*, 38: 1438-1441.
 - [38] Kaewkhao, J., (2011). "Development of lead free radiation shielding glass: Experimental and theoretical approach". 2nd International Conference on Instrumentation, 1-7. Bandung, Indonesia.
 - [39] Kaewjaeng S., Kaewkhao J., Limsuwan P., Maghanemi U., (2012). "Effect of BaO on Optical, Physical and Radiation Shielding Properties of $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-Na}_2\text{O}$ Glasses System", *Procedia Engineering*, 32: 1080-1086.
 - [40] Tuscharoen S., Kaewkhao J., Limkitjaroenporn P., Limsuwan P., Chewpraditkul W., (2012). "Improvement of $\text{BaO}:\text{B}_2\text{O}_3$:Fly ash glasses: Radiation shielding, physical and optical properties", *Annals of Nuclear Energy*, 49: 109-113.
 - [41] Tuscharoen S., Kaewkhao J., (2012). "Structural, Optical and Radiation Shielding Properties of $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-Rice Husk Ash Glasses}$ ", *Procedia Engineering*, 32: 734-739.
 - [42] Chanthima, N. ve Kaewkhao, J., (2013). "Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1keV to 100GeV", *Annals of Nuclear Energy*, 55: 23-28.
 - [43] Ruengsri, S., (2014). "Radiation Shielding Properties Comparison of Pb-Based Silicate, Borate, and Phosphate Glass Matrices", *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2014: 5.

- [44] Kurudirek, M., (2014). "Radiation shielding and effective atomic number studies in different types of shielding concretes, lead base and non-lead base glass systems for total electron interaction: A comparative study", *Nuclear Engineering and Design*, 280: 440-448.
- [45] Yasaka P., Pattanaboonmee N., Kim H.J., Limkitjaroenporn P., Kaewkhao J. (2014). "Gamma radiation shielding and optical properties measurements of zinc bismuth borate glasses", *Annals of Nuclear Energy*, 68: 4-9.
- [46] Singh V.P., Badiger N.M., Kaewkhao J., (2014). "Radiation shielding competence of silicate and borate heavy metal oxide glasses: Comparative study", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 404: 167-173.
- [47] Kaundal, R.S., (2015). "Effect of a heavy metal oxide on the radiation shielding parameters for some Borate Glasses", *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 6: 716-720.
- [48] Rachniyom W., Tuscharoen S., Kaewkhao J., Pachana P., (2015). "Pb-free radiation shielding glass using coal fly ash", *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 47: 309-315.
- [49] Ruengsri S., Insiripong S., Sangwaranatee N., Kaewkhao J., (2015). "Development of barium borosilicate glasses for radiation shielding materials using rice husk ash as a silica source", *Progress in Nuclear Energy*, 83: 99-104.
- [50] Issa S., Sayyed M.I., Kurudirek M., (2016). "Investigation of gamma radiation shielding properties of some zinc tellurite glasses", *Journal of Physical Science*, 27: 97-119.
- [51] Sarachai S., Chanthima N., Kaewkhao J., Sangwaranatee N., (2015). "A study of photon interaction and radiation shielding properties of $\text{BaO}:\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2:\text{B}_2\text{O}_3$ glasses", 4th International Conference on Instrumentation, 268-271.
- [52] Kaundal, R.S., (2016). "Comparative study of radiation shielding parameters for bismuth borate glasses", *Materials Research*, 19: 776-780.
- [53] Elalaily, N.A. Abou-Hussien, E.M. ve Saad, E.A., (2016). "Bismuth silicate glass containing heavy metal oxide as a promising radiation shielding material", *Radiation Effects and Defects in Solids*, 171: 840-854.
- [54] Shamshad, L. Rooh, G. Limkitjaroenporn, P. Srisittipokakun, N. Chaiphaksa, W. Kim, H.J. ve Kaewkhao, J., (2017). "A comparative study of gadolinium based oxide and oxyfluoride glasses as low energy radiation shielding materials", *Progress in Nuclear Energy*, 97: 53-59.
- [55] Kaundal, R.S., (2017). "Comparative study of radiation shielding parameters for binary oxide glasses", *Oriental Journal of Chemistry*, 33: 2324-2328.
- [56] Ruengsri, S. Kaewkhao, J. Limkitjaroenporm, P. Meejitpaisan, P. Hongtong, W. ve Cheewasukhanont, W., (2017). "Development of gadolinium calcium phosphate oxyfluoride glass for radiation shielding materials", *Integrated Ferroelectrics*, 177: 48-58.
- [57] Lakshminarayana, G. Baki, S.O. Lira, A. Sayyed, M.I. Kityk, I.V. Halimah, M.K. ve Mahdi, M.A., (2017). "X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and radiation shielding parameters investigations for zinc molybdenum borotellurite

- glasses containing different network modifiers", *Journal of Materials Science*, 52: 7394-7414.
- [58] Lakshminarayana, G., Baki, S.O., Kaky, K.M., Sayyed, M.I., Tekin, H.O., Lira, A., Kityk, I.V., Mahdi, M.A., (2017). "Investigation of structural, thermal properties and shielding parameters for multicomponent borate glasses for gamma and neutron radiation shielding applications", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 471: 222-237.
 - [59] Dong, M.G. Sayyed, M.I. Lakshminarayana, G. Çelikkilek Ersundu, M. Ersundu, A.E. Nayar, P. ve Mahdi, M.A., (2017). "Investigation of gamma radiation shielding properties of lithium zinc bismuth borate glasses using XCOM program and MCNP5 code", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 468: 12-16.
 - [60] Kurudirek, M., (2017). "Heavy metal borate glasses: Potential use for radiation shielding", *Journal of Alloys and Compounds*, 727: 1227-1236.
 - [61] Sayyed, M.I. Qashou, S.I. ve Khattari, Z.Y., (2017). "Radiation shielding competence of newly developed $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$ glasses", *Journal of Alloys and Compounds*, 696: 632-638.
 - [62] Issa, S.A.M. Sayyed, M.I. ve Kurudirek, M., (2017). "Study of gamma radiation shielding properties of ZnO-TeO_2 glasses", *Bulletin of Materials Science*, 40: 841-857.
 - [63] Ahmad, N.S. Mustafa, I.S. Mansor, I. Malik, M.F.I.B.A. Razali, N.A.N. ve Nordin, S., (2018). "Gamma ray shielding characteristic of BiZnBo-SLS and PbZnBo-SLS glass", *Materials Research Express*, 5.
 - [64] Allahmoradi, N. Baghshahi, S. ve Rajabi, M., (2018). "Theoretical and experimental study of $\text{PbO-SiO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_3$ glasses as gamma ray shielding materials", *Journal of the Australian Ceramic Society*, 54: 459-465.
 - [65] Ashok, K. Dong, M.G. Sayyed, M.I. Lakshminarayana, G. Xue, X.X. ve Mahdi, M.A., (2018). "Gamma-Ray Shielding Effectiveness of Lead Bismuth Germanoborate Glasses", *Glass Physics and Chemistry*, 44: 292-299.
 - [66] Azreen, N.M. Rashid, R.S.M. Haniza, M. Voo, Y.L. ve Mugahed Amran, Y.H., (2018). "Radiation shielding of ultra-high-performance concrete with silica sand, amang and lead glass", *Construction and Building Materials*, 172: 370-377.
 - [67] Bagheri, R. Moghaddam, A.K. Shirmardi, S.P. Azadbakht, B. ve Salehi, M., (2018). "Determination of gamma-ray shielding properties for silicate glasses containing Bi_2O_3 , PbO , and BaO ", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 479: 62-71.
 - [68] Dogra, M. Singh, K.J. ve Kaur, K., (2018). "Structural and optical properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CdO-Na}_2\text{O}$ glass system for gamma ray shielding applications", *AIP Conference Proceedings*, 1953.
 - [69] Dogra, M. Singh, K.J. Kaur, K. Anand, V. Kaur, P. Singh, P. ve Bajwa, B.S., (2018). "Investigation of gamma ray shielding, structural and dissolution rate properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-BaO-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ glass system", *Radiation Physics and Chemistry*, 144: 171-179.

- [70] Dong, M.G. El-Mallawany, R. Sayyed, M.I. ve Tekin, H.O., (2018). "Corrigendum to 'Shielding properties of $80\text{TeO}_2\text{--}5\text{TiO}_2\text{--}(15\text{--}x)\text{WO}_3\text{--}x\text{A}_n\text{O}_m$ glasses using WinXCom and MCNP5 code", Radiation Physics and Chemistry, 144: 452.
- [71] El-Kameesy, S.U. Youssef, G.M. El-Zaiat, S.Y. Saudi, H.A. ve Abd El-Kawy, F.S., (2018). "Gamma Rays Attenuation Properties and the Associated Optical and Mechanical Behavior of Development (70-x) $\text{B}_2\text{O}_3\text{--}10\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}10\text{Na}_2\text{O--}10\text{ZnO--}x\text{PbO}$ Glasses", Silicon, 10: 1881-1886.
- [72] Elmahroug, Y. Almatari, M. Sayyed, M.I. Dong, M.G. ve Tekin, H.O., (2018). "Investigation of radiation shielding properties for $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--V}_2\text{O}_5\text{--TeO}_2$ glass system using MCNP5 code", Journal of Non-Crystalline Solids, 499: 32-40.
- [73] El-Mallawany, R. Sayyed, M.I. Dong, M.G. ve Rammah, Y.S., (2018). "Simulation of radiation shielding properties of glasses contain PbO", Radiation Physics and Chemistry, 151: 239-252.
- [74] Ersundu, A.E. Büyükyıldız, M. Çelikkilek Ersundu, M. Şakar, E. ve Kurudirek, M., (2018). "The heavy metal oxide glasses within the $\text{WO}_3\text{--MoO}_3\text{--TeO}_2$ system to investigate the shielding properties of radiation applications", Progress in Nuclear Energy, 104: 280-287.
- [75] Gaikwad, D.K. Obaid, S.S. Sayyed, M.I. Bhosale, R.R. Awasarmol, V.V. Kumar, A. Shirsat, M.D. ve Pawar, P.P., (2018). "Comparative study of gamma ray shielding competence of $\text{WO}_3\text{--TeO}_2\text{--PbO}$ glass system to different glasses and concretes", Materials Chemistry and Physics, 213: 508-517.
- [76] Ghanem, A.H. Farag, A.T.M. Al-Sehemi, A.G. Al-Ghamdi, A. Farooq, W.A. ve Yakuphanoglu, F., (2018). "Bismuth Borate Glass Based Nuclear Materials", Silicon, 10: 1195-1201.
- [77] Issa, S.A.M. Kumar, A. Sayyed, M.I. Dong, M.G. ve Elmahroug, Y., (2018). "Mechanical and gamma-ray shielding properties of $\text{TeO}_2\text{--ZnO--NiO}$ glasses", Materials Chemistry and Physics, 212: 12-20.
- [78] Issa, S.A.M. Mostafa, A.M.A. Dong, M. Singh, V.P. ve Tekin, H.O., (2018). "Determining the gamma-ray parameters for $\text{BaO--ZnO--B}_2\text{O}_3$ glasses using MCNP5 code: a comparison study", Radiation Effects and Defects in Solids, 173: 510-525.
- [79] Issa, S.A.M. Saddeek, Y.B. Tekin, H.O. Sayyed, M.I. ve Shaaban, K.S., (2018). "Investigations of radiation shielding using Monte Carlo method and elastic properties of $\text{PbO--SiO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$ glasses", Current Applied Physics, 18: 717-727.
- [80] Kaewjaeng, S. Kothan, S. Chanthima, N. Kim, H.J. ve Kaewkhao, J., (2018). "Gamma radiation shielding materials of lanthanum calcium silicoborate glasses", Materials Today: Proceedings, 5: 14901-14906.
- [81] Kaur, P. Singh, D. ve Singh, T., (2018). "Gamma rays shielding and sensing application of some rare earth doped lead-alumino-phosphate glasses", Radiation Physics and Chemistry, 144: 336-343.

- [82] Kaur, P. Singh, K.J. ve Thakur, S., (2018). "Evaluation of the gamma radiation shielding parameters of bismuth modified quaternary glass system", AIP Conference Proceedings, 1953.
- [83] Kim, I.S. Choi, S.Y. ve Yang, E.I., (2018). "Evaluation of durability of concrete substituted heavyweight waste glass as fine aggregate", Construction and Building Materials, 184: 269-277.
- [84] Kumar, A. Sayyed, M.I. Dong, M. ve Xue, X., (2018). "Effect of PbO on the shielding behavior of ZnO–P₂O₅ glass system using Monte Carlo simulation", Journal of Non-Crystalline Solids, 481: 604-607.
- [85] Kurudirek, M. Chutithanapanon, N. Laopaiboon, R. Yenchai, C. ve Bootjomchai, C., (2018). "Effect of Bi₂O₃ on gamma ray shielding and structural properties of borosilicate glasses recycled from high pressure sodium lamp glass", Journal of Alloys and Compounds, 745: 355-364.
- [86] Lakshminarayana, G. Baki, S.O. Sayyed, M.I. Dong, M.G. Lira, A. Noor, A.S.M. Kityk, I.V. ve Mahdi, M.A., (2018). "Vibrational, thermal features, and photon attenuation coefficients evaluation for TeO₂-B₂O₃-BaO-ZnO-Na₂O-Er₂O₃-Pr₆O₁₁ glasses as gamma-rays shielding materials", Journal of Non-Crystalline Solids, 481: 568-578.
- [87] Lakshminarayana, G. Kumar, A. Dong, M.G. Sayyed, M.I. Long, N.V. ve Mahdi, M.A., (2018). "Exploration of gamma radiation shielding features for titanate bismuth borotellurite glasses using relevant software program and Monte Carlo simulation code", Journal of Non-Crystalline Solids, 481: 65-73.
- [88] Lakshminarayana, G. Sayyed, M.I. Baki, S.O. Lira, A. Dong, M.G. Kaky, K.M. Kityk, I.V. ve Mahdi, M.A., (2018). "Optical absorption and gamma-radiation-shielding parameter studies of Tm³⁺ -doped multicomponent borosilicate glasses", Applied Physics A: Materials Science and Processing, 124.
- [89] Manjunatha, H.C. Seenappa, L. B.M, C. Sridhar, K.N. ve Hanumantharayappa, C., (2018). "Gamma, X-ray and neutron shielding parameters for the Al-based glassy alloys", Applied Radiation and Isotopes, 139: 187-194.
- [90] Mariyappan, M. Marimuthu, K. Sayyed, M.I. Dong, M.G. ve Kara, U., (2018). "Effect Bi₂O₃ on the physical, structural and radiation shielding properties of Er³⁺ ions doped bismuth sodiumfluoroborate glasses", Journal of Non-Crystalline Solids, 499: 75-85.
- [91] Marzouk, M.A. ElBatal, H.A. ve Abdelghany, A.M., (2018). "Gamma Irradiation Effect on Structural and Spectral Properties of CeO₂, Nd₂O₃, Gd₂O₃ or Dy₂O₃– Doped Strontium Borate Glass", Silicon, 10: 29-37.
- [92] Ozan Tekin, H. Sayyed, M.I. Manici, T. ve Altunsoy, E.E., (2018). "Photon shielding characterizations of bismuth modified borate –silicate–tellurite glasses using MCNPX Monte Carlo code", Materials Chemistry and Physics, 211: 9-16.
- [93] Rachniyom, W. Chaiphaksa, W. Limkitjaroeanporn, P. Tuschaoen, S. Sangwanate, N. ve Kaewkhao, J., (2018). "Effect of Bi₂O₃ on radiation shielding properties of glasses from coal fly ash", Materials Today: Proceedings, 5: 14046-14051.

- [94] Rachniyom, W. Wiwatkanjana, P. Ruangtaweep, Y. ve Kaewkhao, J., (2018). "Effect of the BaO addition on properties of alkali borosilicate glasses from sub-bituminous fly ash", *Materials Today: Proceedings*, 5:14189-14193.
- [95] Rauf, N. Ruangtaweep, Y. Chaiphaksa, W. ve Kaewkhao, J., (2018). "Preparing the transparent Gadolinium Silicoborate glass for radiation shielding material", *Journal of Physics: Conference Series*, 1120.
- [96] Sarachai, S. Chanthima, N. Sangwanate, N.W. Kothan, S. Kaewjaeng, S. Tungjai, M. Djamal, M. ve Kaewkhao, J., (2018). Radiation shielding properties of BaO-ZnO-B₂O₃ glass for X-ray room, *Key Engineering Materials*. 88-93.
- [97] Sayyed, M.I. Çelikkilek Ersundu, M. Ersundu, A.E. Lakshminarayana, G. ve Kostka, P., (2018). "Investigation of radiation shielding properties for MeO-PbCl₂-TeO₂ (MeO = Bi₂O₃, MoO₃, Sb₂O₃, WO₃, ZnO) glasses", *Radiation Physics and Chemistry*, 144: 419-425.
- [98] Sayyed, M.I. Dong, M.G. Tekin, H.O. Lakshminarayana, G. ve Mahdi, M.A., (2018). "Comparative investigations of gamma and neutron radiation shielding parameters for different borate and tellurite glass systems using WinXCom program and MCNPX code", *Materials Chemistry and Physics*, 215: 183-202.
- [99] Sayyed, M.I. Issa, S.A.M. Büyükyıldız, M. ve Dong, M., (2018). "Determination of nuclear radiation shielding properties of some tellurite glasses using MCNP5 code", *Radiation Physics and Chemistry*, 150: 1-8.
- [100] Sayyed, M.I. Issa, S.A.M. Tekin, H.O. ve Saddeek, Y.B., (2018). "Comparative study of gamma-ray shielding and elastic properties of BaO-Bi₂O₃-B₂O₃ and ZnO-Bi₂O₃-B₂O₃ glass systems", *Materials Chemistry and Physics*, 217: 11-22.
- [101] Sayyed, M.I. Khattari, Z.Y. Kumar, A. Al-Jundi, J. Dong, M.G. ve Alzaatreh, M.Y., (2018). "Radiation shielding parameters of BaO-Nb₂O₅-P₂O₅ glass system using MCNP5 code and XCOM software", *Materials Research Express*, 5.
- [102] Sayyed, M.I. ve Lakshminarayana, G., (2018). "Structural, thermal, optical features and shielding parameters investigations of optical glasses for gamma radiation shielding and defense applications", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 487: 53-59.
- [103] Sayyed, M.I. Lakshminarayana, G. Dong, M.G. Ersundu, M.Ç. Ersundu, A.E. ve Kityk, I.V., (2018). "Investigation on gamma and neutron radiation shielding parameters for BaO/SrO-Bi₂O₃-B₂O₃ glasses", *Radiation Physics and Chemistry*, 145: 26-33.
- [104] Sayyed, M.I. Lakshminarayana, G. Moghaddasi, M. Kityk, I.V. ve Mahdi, M.A., (2018). "Physical Properties, Optical band gaps and Radiation Shielding Parameters Exploration for Dy³⁺-doped Alkali/Mixed Alkali Multicomponent Borate Glasses", *Glass Physics and Chemistry*, 44: 279-291.
- [105] Sayyed, M.I. Rammah, Y.S. Abouhaswa, A.S. Tekin, H.O. ve Elbashir, B.O., (2018). "ZnO-B₂O₃-PbO glasses: Synthesis and radiation shielding characterization", *Physica B: Condensed Matter*, 548: 20-26.

- [106] Sayyed, M.I. Tekin, H.O. Altunsoy, E.E. Obaid, S.S. ve Almatari, M., (2018). "Radiation shielding study of tellurite tungsten glasses with different antimony oxide as transparent shielding materials using MCNPX code", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 498: 167-172.
- [107] Sriwunkum, C. Nutaro, T. ve Saiz, A., (2018). "The comparative study of the radiation shielding of PbO-Li₂O-B₂O₃ glass system by using FLUKA to XCOM and experimental data", *Journal of Physics: Conference Series*, 1144.
- [108] Takai, Z.I. Kaundal, R.S. Mustafa, M.K. Asman, S. Idris, A. Shehu, Y. Mohammad, J. Idris, M.G. ve Said, M., (2018). "Gamma ray and FTIR studies in zinc doped lead borate glasses for radiation shielding application", *Materials Research*, 22.
- [109] Tijani, S.A. Al-Hadeethi, Y. Sambo, I. ve Balogun, F.A., (2018). "Shielding of beta and bremsstrahlung radiation with transparent Bi₂O₃-B₂O₃-TeO₂ glasses in therapeutic nuclear medicine", *Journal of Radiological Protection*, 38: N44-N51.
- [110] Tijani, S.A. Kamal, S.M. Al-Hadeethi, Y. Arib, M. Hussein, M.A. Wageh, S. ve Dim, L.A., (2018). "Radiation shielding properties of transparent erbium zinc tellurite glass system determined at medical diagnostic energies", *Journal of Alloys and Compounds*, 741: 293-299.
- [111] Waly, E.S.A. Al-Qous, G.S. ve Bourham, M.A., (2018). "Shielding properties of glasses with different heavy elements additives for radiation shielding in the energy range 15–300 keV", *Radiation Physics and Chemistry*, 150: 120-124.
- [112] Agar, O. Khattari, Z.Y. Sayyed, M.I. Tekin, H.O. Al-Omari, S. Maghrabi, M. Zaid, M.H.M. ve Kityk, I.V., (2019). "Evaluation of the shielding parameters of alkaline earth based phosphate glasses using MCNPX code", *Results in Physics*, 12: 101-106.
- [113] Agar, O. Sayyed, M.I. Tekin, H.O. Kaky, K.M. Baki, S.O. ve Kityk, I., (2019). "An investigation on shielding properties of BaO, MoO₃ and P₂O₅ based glasses using MCNPX code", *Results in Physics*, 12: 629-634.
- [114] Aktas, B. Yalcin, S. Dogru, K. Uzunoglu, Z. ve Yilmaz, D., (2019). "Structural and radiation shielding properties of chromium oxide doped borosilicate glass", *Radiation Physics and Chemistry*, 156: 144-149.
- [115] Al-Hadeethi, Y. ve Tijani, S.A., (2019). "Radiation interaction parameters of commercial building glasses at energies of interest for potential nuclear accidents", *Journal of the American Ceramic Society*. 2019: 1-8.
- [116] Almatari, M., (2019). "Gamma radiation shielding properties of glasses within the TeO₂-TiO₂-ZnO system", *Radiochimica Acta*.
- [117] Almatari, M. Agar, O. Altunsoy, E.E. Kilicoglu, O. Sayyed, M.I. ve Tekin, H.O., (2019). "Photon and neutron shielding characteristics of samarium doped lead alumino borate glasses containing barium, lithium and zinc oxides determined at medical diagnostic energies", *Results in Physics*, 12: 2123-2128.
- [118] Dogra, M. Singh, K.J. ve Kaur, K., (2019). "Investigation of γ ray shielding, structural and dissolution rate studies of alkali based bismuth borate glass systems with MoO₃ added", *Radiochimica Acta*, 107: 261-269.

- [119] Dong, M.G. Agar, O. Tekin, H.O. Kilicoglu, O. Kaky, K.M. ve Sayyed, M.I., (2019). "A comparative study on gamma photon shielding features of various germanate glass systems", *Composites Part B: Engineering*, 165: 636-647.
- [120] Elbashir, B.O. Sayyed, M.I. Dong, M.G. Elmahroug, Y. Lakshminarayana, G. ve Kityk, I.V., (2019). "Characterization of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-ZnO-B}_2\text{O}_3$ and $\text{TeO}_2\text{-ZnO-CdO-Li}_2\text{O-V}_2\text{O}_5$ glass systems for shielding gamma radiation using MCNP5 and Geant4 codes", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 126: 112-123.
- [121] Gaikwad, D.K. Sayyed, M.I. Botewad, S.N. Obaid, S.S. Khattari, Z.Y. Gawai, U.P. Afaneh, F. Shirshat, M.D. ve Pawar, P.P., (2019). "Physical, structural, optical investigation and shielding features of tungsten bismuth tellurite based glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 503-504: 158-168.
- [122] Halimah, M.K. Azuraída, A. Ishak, M. ve Hasnimulyati, L., (2019). "Influence of bismuth oxide on gamma radiation shielding properties of boro-tellurite glass", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 512: 140-147.
- [123] Issa, S.A.M. Saddeek, Y.B. Sayyed, M.I. Tekin, H.O. ve Kilicoglu, O., (2019). "Radiation shielding features using MCNPX code and mechanical properties of the $\text{PbO-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ glass systems", *Composites Part B: Engineering*, 167: 231-240.
- [124] Issa, S.A.M. Tekin, H.O. Elsaman, R. Kilicoglu, O. Saddeek, Y.B. ve Sayyed, M.I., (2019). "Radiation shielding and mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glasses using MCNPX Monte Carlo code", *Materials Chemistry and Physics*, 223: 209-219.
- [125] Kaky, K.M. Sayyed, M.I. Laariedh, F. Abdalsalam, A.H. Tekin, H.O. ve Baki, S.O., (2019). "Structural, optical and radiation shielding properties of zinc boro-tellurite alumina glasses", *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 125.
- [126] Kaur, P. Singh, D. ve Singh, T., (2019). " Sm^{3+} and Gd^{3+} Co-doped lead phosphate glasses for γ -rays shielding and sensing", *Journal of Luminescence*, 209: 74-88.
- [127] Kaur, P. Singh, K.J. Thakur, S. Singh, P. ve Bajwa, B.S., (2019). "Investigation of bismuth borate glass system modified with barium for structural and gamma-ray shielding properties", *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206: 367-377.
- [128] Kumar, A. Kaur, R. Sayyed, M.I. Rashad, M. Singh, M. ve Ali, A.M., (2019). "Physical, structural, optical and gamma ray shielding behavior of $(20+x) \text{PbO-10 BaO-10 Na}_2\text{O-10 MgO-(50-x) B}_2\text{O}_3$ glasses", *Physica B: Condensed Matter*, 552: 110-118.
- [129] Lakshminarayana, G. Sayyed, M.I. Baki, S.O. Lira, A. Dong, M.G. Bashar, K.A. Kityk, I.V. ve Mahdi, M.A., (2019). "Borotellurite Glasses for Gamma-Ray Shielding: An Exploration of Photon Attenuation Coefficients and Structural and Thermal Properties", *Journal of Electronic Materials*, 48: 930-941.
- [130] Lee, J.C. Jang, B.K. Shon, C.S. Kim, J.H. ve Chung, C.W., (2019). "Potential use of borosilicate glass to make neutron shielding mortar: Enhancement of

- thermal neutron shielding and strength development and mitigation of alkali-silica reaction", *Journal of Cleaner Production*, 210: 638-645.
- [131] Marlton, W. Rao, P.V. Klement, R. Galusek, D. Sayyed, M.I. Tekin, H.O. Prasad, P.S. ve Veeraiah, N., (2019). "Spectroscopic and thermal analysis of lead-free multipurpose radiation shielding glasses", *Ceramics International*, 45: 5332-5338.
- [132] Marlton, W. Venkateswara Rao, P. Tekin, H.O. Sayyed, M.I. Klement, R. Galusek, D. Lakshminarayana, G. Syam Prasad, P. ve Veeraiah, N., (2019). "Analysis of red mud doped $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-BaO}$ glasses for application as glass solder in radiation shield repair using MCNPX simulation", *Ceramics International*, 45: 7619-7626.
- [133] Mhareb, M.H.A. Almessiere, M.A. Sayyed, M.I. ve Alajerami, Y.S.M., (2019). "Physical, structural, optical and photons attenuation attributes of lithium-magnesium-borate glasses: Role of Tm_2O_3 doping", *Optik*, 182: 821-831.
- [134] Sayyed, M.I. Kaky, K.M. Şakar, E. Akbaba, U. Taki, M.M. ve Agar, O., (2019). "Gamma radiation shielding investigations for selected germanate glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 512: 33-40.
- [135] Tekin, H.O. Altunsoy, E.E. Kavaz, E. Sayyed, M.I. Agar, O. ve Kamislioglu, M., (2019). "Photon and neutron shielding performance of boron phosphate glasses for diagnostic radiology facilities", *Results in Physics*, 12: 1457-1464.
- [136] Tekin, H.O. Kilicoglu, O. Kavaz, E. Altunsoy, E.E. Almatari, M. Agar, O. ve Sayyed, M.I., (2019). "The investigation of gamma-ray and neutron shielding parameters of $\text{Na}_2\text{O-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SiO}_2$ bioactive glasses using MCNPX code", *Results in Physics*, 12: 1797-1804.
- [137] Vani, P. Vinitha, G. Sayyed, M.I. Elbashir, B.O. ve Manikandan, N., (2019). "Investigation on structural, optical, thermal and gamma photon shielding properties of zinc and barium doped fluorotellurite glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 511: 194-200.
- [138] Wilson, M., (2019). "Optimization of the radiation shielding capabilities of bismuth-borate glasses using the genetic algorithm", *Materials Chemistry and Physics*, 224: 238-245.
- [139] Corning, "Med-X Glass", <https://www.corning.com/au/en/products/advanced-optics/product-materials/specialty-glass-and-glass-ceramics/radiation-shielding-glass/corning-med-x-glass.html>. 30,03,2019.
- [140] Schott, "Radiation Shielding Glass", https://www.schott.com/d/advanced_optics/352fbb5f-4d56-49d3-bb47-256437d58f0a/1.4/schott-radiation-shielding-glass-may-2013-eng.pdf. 30.03.2019.
- [141] Çelikbilek, M. Ersundu, A.E. ve Aydin, S., (2013). "Preparation and characterization of $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Li}_2\text{O}$ glasses", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 378: 247-253.

- [142] M.J. Berger, J.H.H., S.M. Seltzer, J. Chang, J.S. Coursey, R. Sukumar, D.S. Zucker, K. Olsen,, (2010). "XCOM: Photon Cross Sections Database", NIST Standard Reference Database (XGAM).
- [143] Hubbell, M.J.B.a.J.H., (1987). "XCOM: Photon Cross Sections on A Personal Computer", National Bureau Of Standards, 87-3597.
- [144] Gerward, L. Guilbert, N. Bjorn Jensen, K. ve Levring, H., (2001). "X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM", Radiation Physics and Chemistry, 60: 23-24.
- [145] Sarachai, S. Chanthima, N. Kaewkhao, J. Sangwanate, N. ve Sangwanate, N., (2016). "A study of photon interaction and radiation shielding properties of BaO:Na₂O:SiO₂:B₂O₃ glasses", ICICI-BME, 2015: 268-271.
- [146] Issa, S.A.M. ve Mostafa, A.M.A., (2017). "Effect of Bi₂O₃ in borate-tellurite-silicate glass system for development of gamma-rays shielding materials", Journal of Alloys and Compounds, 695: 302-310.
- [147] Çelikbilek Ersundu, M. Ersundu, A.E. Sayyed, M.I. Lakshminarayana, G. ve Aydin, S., (2017). "Evaluation of physical, structural properties and shielding parameters for K₂O–WO₃–TeO₂ glasses for gamma ray shielding applications", Journal of Alloys and Compounds, 714: 278-286.
- [148] Xu, T. Chen, F. Dai, S. Shen, X. Wang, X. Nie, Q. Liu, C. Xu, K. ve Heo, J., (2011). "Glass formation and third-order optical nonlinear properties within TeO₂-Bi₂O₃-BaO pseudo-ternary system", Journal of Non-Crystalline Solids, 357: 2219-2222.
- [149] Delimarskii, Y.K. ve Lutsenko, V.G., (1977). "Fusibility diagram of the PbCl₂-TeO₂ system", Ukr. Chem. J., 43: 546.
- [150] Gedikoğlu, N. Çelikbilek Ersundu, M. Kostka, P. Bašinová, N. ve Ersundu, A.E., (2018). "Investigating the influence of transition metal oxides on temperature dependent optical properties of PbCl₂–TeO₂ glasses for their evaluation as transparent large band gap semiconductors", Journal of Alloys and Compounds, 748: 687-693.
- [151] Çelikbilek, M. Erçin Ersundu, A. ve Aydin, S., (2013). "Glass formation and characterization studies in the TeO₂-WO₃-Na₂O system", Journal of the American Ceramic Society, 96: 1470-1476.
- [152] ÇELİKBİLEK, M., (2013). Tellürit Sistemlerin Camlaşma Davranışlarının, Cam Özelliklerinin Ve Termokromik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [153] Ersundu, A.E. Çelikbilek, M. Baazouzi, M. Soltani, M.T. Troles, J. ve Aydin, S., (2014). "Characterization of new Sb₂O₃-based multicomponent heavy metal oxide glasses", Journal of Alloys and Compounds, 615: 712-718.
- [154] Srinivasarao, G. ve Veeraiah, N., (2002). "The role of iron ions on the structure and certain physical properties of PbO-As₂O₃ glasses", Journal of Physics and Chemistry of Solids, 63: 705-717.
- [155] Rada, M. Rus, L. Rada, S. Culea, E. ve Rusu, T., (2014). "The network modifier and former role of the bismuth ions in the bismuth-lead-germanate

- glasses", *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 132: 533-537.
- [156] Zhou, Y. Yang, Y. Huang, F. Ren, J. Yuan, S. ve Chen, G., (2014). "Characterization of new tellurite glasses and crystalline phases in the TeO_2 - PbO - Bi_2O_3 - B_2O_3 system", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 386: 90-94.
 - [157] Mohamed-Kamari, H. Oo, H.M. ve Wan-Yusoff, W.M.D., (2012). "Optical properties of bismuth tellurite based glass", *International Journal of Molecular Sciences*, 13: 4623-4631.
 - [158] Raghavaiah, B.V. Laxmikanth, C. ve Veeraiah, N., (2004). "Spectroscopic studies of titanium ions in PbO - Sb_2O_3 - As_2O_3 glass system", *Optics Communications*, 235: 341-349.
 - [159] Hooi Ming Oo, H.M.-K.a.W.M.D.W.-Y., (2012). "Optical Properties of Bismuth Tellurite Based Glass", *International Journal of Molecular Sciences*: 4623-4631.
 - [160] Munoz-Martín, D. Villegas, M.A. Gonzalo, J. ve Fernández-Navarro, J.M., (2009). "Characterisation of glasses in the TeO_2 - WO_3 - PbO system", *Journal of the European Ceramic Society*, 29: 2903-2913.
 - [161] Machacek, J. Kostka, P. Liska, M. Zavadil, J. ve Gedeon, O., (2011). "Calculation and analysis of vibrational spectra of PbCl_2 - Sb_2O_3 - TeO_2 glass from first principles", *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357: 2562-2570.
 - [162] Sayyed, M.I., (2016). "Investigations of gamma ray and fast neutron shielding properties of tellurite glasses with different oxide compositions", *Canadian Journal of Physics*, 94: 1133-1137.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Volkan AKILLI
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.08.1992, Ankara
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : akillivolkan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Tuzluca Yır Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016 - 2018	Elize Elektronik Mühendislik san. ve tic. Ltd. Bakım Mühendisi Şti.	

YAYINLARI

Bildiri

1. Akıllı V., Terzi G., Çelikbilek Ersundu M., Ersundu A. E., (2018) “Comparative Radiation Shielding Study of $WO_3/Bi_2O_3-PbCl_2-TeO_2$ Glass Systems as Transparent Shielding Materials” Türkiye Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi, 2018, Bodrum, Muğla, Türkiye.
2. Akıllı V., Kıbrıslı O., Çelikbilek Ersundu M., Ersundu A. E., (2018) “Investigation of Tellurite Glasses for Radiation Applications” 15th International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids & 14th European Society of Glass Conference, 2018, Saint Malo, Fransa.

Proje

1. Bizmut Oksit-Kurşun Klorür-Tellür Oksit Sisteminin Isıl, Optik ve Yapısal Açından İncelenerek Camlaşma Davranışlarının Belirlenmesi ve Camların Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi, BAP Y. Lisans, FYL-2018-3353.