



**FARKLI AĞIR OKSİTLER İLE KATKILANDIRILMIŞ
B₂O₃-TeO₂ CAM SİSTEMİNİN
YAPISAL, OPTİK VE RADYASYON SOĞURMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Recep KURTULUŞ

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart 2023

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.52 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

FARKLI AĞIR OKSİTLER İLE KATKILANDIRILMIŞ B_2O_3 - TeO_2
CAM SİSTEMİNİN YAPISAL, OPTİK VE RADYASYON
SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Recep KURTULUŞ

Danışman

Prof. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mart 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Recep KURTULUŞ tarafından hazırlanan “Farklı Ağır Oksitler İle Katkılandırılmış B_2O_3 - TeO_2 Cam Sisteminin Yapısal, Optik ve Radyasyon Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca GG / AA / YYYY tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi İmza

Üye : Ünvanı Adı SOYADI
Üniversite adı, Fakültesi İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15 / 03 / 2023

Recep KURTULUŞ

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI AĞIR OKSİTLER İLE KATKILANDIRILMIŞ B_2O_3 - TeO_2 CAM SİSTEMİNİN YAPISAL, OPTİK VE RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Recep KURTULUŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Taner KAVAS

Bu araştırmada, radyasyon soğurma uygulamalarında kullanılmak üzere farklı ağır oksitler ile katkılandırılmış borotellürit cam sistemi çalışıldı. Bu amaçla, öncelikle, $x B_2O_3$ - $(100-x) TeO_2$, x : molce %0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30; sonrasında, $y Bi_2O_3$ - $[(100-y) ((x B_2O_3$ - $(100-x) TeO_2))]$, y : molce %0, 5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20 ve 25; son olarak ise, $(100-z) [y Bi_2O_3$ - $((100-y) (x B_2O_3$ - $(100-x) TeO_2))]$ - $z HMO$, z : molce %5 ve HMO : Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , Sm_2O_3 , cam sistemleri ikili, üçlü ve dörtlü olarak tasarlandı. *BT* (*BT5* ile *BT30* arası), *BT20-Bi* (*BT20-Bi0* ile *BT20-Bi25* arası) ve *BT20Bi10-HMO* (*BT20Bi10-Gd5* ile *BT20Bi10-W5* arası) kodlu cam serileri, sırasıyla, tartım, karıştırma, ergitme, şekillendirme ve tavlama süreçleri neticesinde başarıyla sentezlendi. Sentezlenen cam serileri, malzeme karakterizasyonu ve radyasyon soğurma kabiliyeti açılarından birtakım analizlere tabi tutuldu. Böylelikle de fiziksel, yapısal, ısı, optik ve radyasyon soğurma özellikleri ortaya çıkarıldı. Fiziksel özellikler çerçevesinde, yoğunluk değerlerinin 4.6504 ile 5.5541 g.cm⁻³ arasında değişkenlik gösterdiği, bununla beraber, artan ağır oksit ilavesiyle yoğunluğun da artırılabilir olduğu görüldü. Yapısal özellikler bakımından, *BT* serilerinin tümü ile *BT20Bi5*, *BT20Bi10*, *BT20-Bi12.5*, *BT20Bi10-Ta5* ve *BT20Bi10-La5* numuneleri amorf yapı sergilerken, diğerlerinde kristal faz oluşumları tespit edildi. Ayrıca, bağ yapıları ve titreşim modları irdelenerek, temelde, B-O, B-O-B, Te-O, Te-O-Te, O-Te-O ve Bi-O bağları bulundu. Isıl özellikler açısından *BT* serileri dahilinde yapılan çalışmalarda, camsı geçiş noktası, farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak

değişkenlik gösterirken, genel olarak 321 ile 348 °C arasında değiştiği görüldü. Ek olarak, kristalizasyon kinetiği çalışmaları yapılarak Ozawa, Kissenger ve Augis-Bennet dahilinde kristallenme için gerekli olan aktivasyon enerjisi ve viskoz akış için gerekli olan aktivasyon enerjisi hesaplanarak, bunların, sırasıyla, 161.5 ile 303.2 kJ/mol ve 65.7 ile 596.9 kJ/mol arasında olduğu bulundu. Optik özellikler dahilinde yapılan çalışmalara göre, soğurma eğrilerinde farklı ağır oksit ilavelere bağlı olarak azalmalar meydana geldiği, buna paralel olarak da enerji bant aralığı ve kırınım indisi değerlerinin değişim sergilediği bulundu. Enerji bant aralığının 3.50 eV değerinden düşük olduğu ve kırınım indisinin 2.30 değerinden yüksek olduğu hesaplandı. Malzeme karakterizasyon testleri sonrasında ise, BT20, BT20-Bi10 ve BT20Bi10-Ta5 camlarının en ideal sonuçları beraberinde getirdiği neticesine varıldı. Radyasyon soğurma özellikleri kapsamında, her bir cam serisi teorik açıdan Phy-X/PSD yazılımı ile değerlendirilerek, 0.015 ile 15 MeV foton enerji aralığında, *LAC*, *HVL* ve *Z_{eff}* parametreleri hesaplandı. Artan foton enerjisiyle *LAC*, *HVL* ve *Z_{eff}* parametrelerinin, sırasıyla, azaldığı, arttığı ve azaldığı görülürken, ağır oksit ilavelerin cam serilerine eklenmesiyle bu üç parametrenin iyileşme gösterdiği ortaya çıkarıldı. Öte yandan, ideal sonuçları sağlayan bu cam serilerine deneysel gama ışıını spektroskopi testi uygulanarak deneysel radyasyon soğurma özellikleri belirlendi. Deneysel sonuçların, teorik hesaplamalar ile iyi uyum içinde bulunduğu ve bağlı hata payının %0.59 ile %2.91 arasında değiştiği görüldü. 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde yapılan deneysel ölçümler, gama soğurma uygulamalarında BT20Bi10-Ta5 numunesinin ticari radyasyon soğurucu cam malzemeler ile oldukça rekabet edebilir düzeyde olduğunu gösterdi. Öte yandan, nötron soğurma uygulamalarında ise, BT20 numunesinin son derece üstün özellikler sergileyerek umut verici bir cam olduğu ortaya çıkarıldı. Tüm bunların neticesinde, rakipleri ile rekabet edebilir nitelikte, özgün ve yenilikçi cam kompozisyonlarına sahip ve farklı radyasyon uygulamaları için çözümler sunabilecek düzeyde borotellürit esaslı cam formülasyonları kapsamlı ve başarılı biçimde ilgili uygulama alanlarına alternatif sunmak üzere ortaya konuldu.

2023, xx + 208 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır oksit, B₂O₃, Cam, Kurşunsuz, Radyasyon soğurma, TeO₂

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF STRUCTURAL, OPTICAL, AND RADIATION ATTENUATION PROPERTIES OF B_2O_3 - TeO_2 GLASS SYSTEM DOPED WITH HEAVY OXIDES

Recep KURTULUŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Prof. Taner KAVAS

In this research, a borotellurite glass system doped with different heavy oxides for use in radiation shielding applications was studied. With this motivation, initially, $x B_2O_3$ - (100- x) TeO_2 , x : 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 mol%; then, $y Bi_2O_3$ - [(100- y) (($x B_2O_3$ - (100- x) TeO_2))], y : 0, 5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20 ve 25 mol%; and finally, (100- z) [$y Bi_2O_3$ - ((100- y) ($x B_2O_3$ - (100- x) TeO_2))]- $z HMO$, z : 5 mol% and HMO : Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , Sm_2O_3 , glass formulations were designed as double, triple and quadruple systems. Glass series coded *BT* (BT5 to BT30), *BT20-Bi* (BT20-Bi0 to BT20-Bi25) and *BT20Bi10-HMO* (BT20Bi10-Gd5 to BT20Bi10-W5) were subjected to weighing, mixing, melting, forming and annealing steps, and eventually the samples were successfully synthesized. The synthesized glass series was subjected to some analyzes in terms of material characterizations and radiation shielding ability. Thus, physical, structural, thermal, optical, and radiation attenuation properties were revealed. Within the scope of physical properties, it was observed that the density values varied between 4.6504 and 5.5541 g.cm⁻³; hence, the density could be increased with increasing heavy oxide addition. In terms of structural properties, the all *BT* series, *BT20Bi5*, *BT20Bi10*, *BT20-Bi12.5*, *BT20Bi10-Ta5*, and *BT20Bi10-La5* samples exhibited amorphous structure, while crystal phase formations were detected in the remaining. Further, by examining the bond structures and vibration modes, basically, B-O, B-O-B, Te-O, Te-O-Te, O-Te-O, and Bi-O bonds were found. Within the thermal properties framework, studies conducted

specifically for the *BT* series observed that the glass transition point varied depending on different heating rates. That is, it generally altered between 321 and 348 °C. Moreover, by carrying out crystallization kinetics studies, the activation energy required for crystallization and the activation energy required for viscous flow were calculated based on Ozawa, Kissenger, and Augis-Bennet methods. They were found to be between 161.5 and 303.2 kJ/mol and 65.7 and 596.9 kJ/mol, respectively. According to the studies carried out within the optical properties, it was shown that the absorption curves decrease due to different heavy oxide additions. Based on absorption spectra, the energy band gap and refractive index values showed changes in parallel. The energy band gap was calculated to be lower than 3.50 eV, and the refractive index was higher than 2.30. After material characterization tests, it was concluded that *BT20*, *BT20-Bi10*, and *BT20Bi10-Ta5* glasses bring the most ideal results. Within the scope of radiation attenuation properties, each glass series was evaluated theoretically with Phy-X/PSD software, and *LAC*, *HVL*, and *Z_{eff}* parameters were discussed in the photon energy range of 0.015 to 15 MeV. It was observed that *LAC*, *HVL*, and *Z_{eff}* parameters decreased, increased, and decreased with increasing photon energy, respectively, while these three parameters improved with the addition of heavy oxide additions within the glass series. On the other hand, the experimental gamma ray spectroscopy test was applied to the ideal glass series, and their experimental radiation attenuation properties were determined. It was seen that the experimental results were in good agreement with the theoretical calculations, and the relative error margin varied between 0.59% and 2.91%. Experimental measurements at 662, 1173, and 1332 keV photon energy levels showed that the *BT20Bi10-Ta5* sample was highly competitive with commercial radiation shielding glass materials in photon-shielding applications. On the other hand, in neutron attenuation applications, the *BT20* sample showed extremely superior properties, revealing it to be a promising glass. As a result of all these, borotellurite-based glass formulations have been developed to offer alternatives to the relevant application areas in a comprehensive and successful manner.

2023, xx + 208 pages

Keywords: Heavy oxide, B₂O₃, Glass, Lead-free, Radiation shielding, TeO₂

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde 20.FEN.BİL.52 proje numarası ile destek sağlayan, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Doktora öğrenimi sürecinde, TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında yer alan 2211- C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Bursiyerliği desteği için, Bilim İnsanı Destekleme Programları (BİDEB) Başkanlığı'na, şükranlarımı sunarım.

Araştırma konusunun ortaya çıkarılması, çalışmaların yönlendirilmesi ve tezin yazımı aşamalarında desteğini esirgemeyen, herhangi bir ihtiyaç anında hızlı ve etkin biçimde çözüm odaklı hareket eden, ve son olarak kariyer gelişimim sürecinde yapmış olduğu değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Taner KAVAS'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım boyunca her daim görüş ve önerilerini aktaran, mevcut tez çalışmasının başarıyla tamamlanmasında desteklerini gördüğüm Prof. Dr. Hüseyin Özkan TOPLAN'a ve Prof. Dr. İskender AKKURT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda destek, görüş ve öneriyle katkılarını gördüğüm Doç. Dr. Ziya Özgür YAZICI'ya sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca, test ve analiz süreçlerinde herhangi bir beklemeye mahal vermeden, desteğini her zaman gösteren Öğr. Gör. Dr. Hakan ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, değerli emeklerini hayatımın her anında hissettiğim, vefakar anneme ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım. Üzerimde emeği olan diğer herkesi de bilmekteyim ve kendilerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Son olarak, hayatıma 2009 yılının güzel bir Eylül akşamında giren, o günden bu yana her daim yanımda olan ve desteği ile bugünlere daha emin ulaşmamı sağlayan benim kıymetlim, hayatım, sevgili eşim ve aynı zamanda meslektaşım Cansu KURTULUŞ'a, sonsuz sevgilerimle, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım.

İlkokulda öğrendiğim ve hayatıma aktardığım üzere; çalışan kazanır, elması kızarır...

Recep KURTULUŞ
Afyonkarahisar 2023



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. CAM MALZEMELER HAKKINDA	5
2.1 Camın Tanımı	5
2.2 Camın Yapısı	6
2.3 Cam Oluşum Teorileri	8
2.4 Camın Kimyasal Niteliği ve Cam Türleri.....	10
2.4.1 Vitrikiye Silika.....	11
2.4.2 Soda-Kireç-Kum Camı.....	12
2.4.3 Borosilikat Camı	13
2.4.4 Kurşunsilikat Camı	13
2.4.5 Alüminosilikat Camı	13
2.4.6 Biyoaktif Cam	14
2.4.7 Silikat Esaslı Olmayan Diğer Camlar	14
2.4.8 Halid Camları	14
2.4.9 Kalkojenler ve Kalkojen Camlar.....	15
2.4.10 Metalik Camlar.....	15
2.5 Tellürit Cam Sistemleri.....	15
3. LİTERATÜR BİLGİLERİ	17
3.1 Radyasyon ve Radyasyon Soğurma.....	17
3.2 Web of Science Üzerinde Yapılan Analizler	22
3.3 Tellürit Cam Sistemleri Üzerine Literatür Değerlendirmeleri.....	26
3.4 Literatür Sonrası Değerlendirmeler	42
3.5 Tezin Amaç ve Hedefleri	44
4. MATERYAL ve METOT	47
4.1 Deney Akım Şeması	47

4.2 Cam Serilerinin Hazırlanması.....	47
4.2.1 Borotellürit (BT) İkili Cam Sistemlerinin Hazırlanması	48
4.2.2 Bismut-borotellürit (BBT) Üçlü Cam Sistemlerinin Hazırlanması	51
4.2.3 Bismut- borotellürit- HMO (BBT- HMO) Dörtlü Cam Sistemlerinin Hazırlanması	52
4.3 Karakterizasyon Testleri	54
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
5.1 Borotellürit (BT) İkili Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi	61
5.1.1 Fiziksel Özellikler	61
5.1.2 Yapısal Özellikler.....	64
5.1.3 Isıl Özellikler.....	71
5.1.4 Optik Özellikler.....	87
5.1.5 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri.....	92
5.2 Bizmo-borotellürit (BBT) Üçlü Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi	98
5.2.1 Fiziksel Özellikler	98
5.2.2 Yapısal Özellikler.....	101
5.2.3 Isıl Özellikler.....	110
5.2.4 Optik Özellikler.....	114
5.2.5 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri.....	119
5.3 Bizmut-borotellürit-HMO (BT20Bi10-HMO) Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi	124
5.3.1 Fiziksel Özellikler	124
5.3.2 Yapısal Özellikler.....	126
5.3.3 Optik Özellikler.....	135
5.3.4 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri.....	139
6. DENEYSEL VE TEORİK GAMA SOĞURMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE TARTIŞMA	144
7. TEORİK NÖTRON SOĞURMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE TARTIŞMA	154
8. CAM SERİLERİNİN BİRBİRİ İLE GENİŞ YELPAZEDE KIYASI	158
9. SONUÇLAR.....	161
10. GELECEK GÖRÜNÜMÜ	174
11. KAYNAKÇA	175
ÖZGEÇMİŞ.....	200

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μ	Doğrusal soğurma katsayısı
A	Soğurma sabiti
A_i	İçerik i için atomik ağırlık
AMW	Ortalama moleküler ağırlık
E_g^d	Doğrusal enerji bant aralığı
E_g^{ind}	Doğrusal olmayan enerji bant aralığı
E_U	Urbach enerjisi
f_i	İçerik i için molar fraksiyon
h	Planck sabiti
I	Nihai ışın şiddeti
I_0	Başlangıç ışın şiddeti
m_{hava}	Numunenin havadaki ağırlığı
M_i	İçerik i için moleküler ağırlık
m_{su}	Numunenin sudaki ağırlığı
N_A	Avogadro sayısı
n_b	Birim hacim başına bağ sayısı
n_c	Ortalama bağ yoğunluğu
N_c	İçerik i cam formülü başına düşen katyon sayısı
n_d	Doğrusal kırınım indisi
n_f	İçerik i için koordinasyon sayısı
n_{ind}	Doğrusal olmayan kırınım indisi
V_m	Molar hacim
V_O	Oksijen molar hacim
x_i	İçerik i için molar fraksiyon
Z_{eff}	Etkin atom numarası
Z_i	İçerik i için atom numarası
α	Soğurma katsayısı
ν	Işığın frekansı
ρ_{cam}	Cam yoğunluğu
ρ_{su}	Su yoğunluğu

Kısaltmalar

BBT	Bizmut-borotellürit
BT	Borotellürit
DTA	Dilatometrik termal analiz
FNRCs	Hızlı nötron kesit giderme
FTIR	Fourier geçirimli infrared
HMO	Ağır metal oksit
HVL	Yarı-değer katmanı
LAC	Doğrusal soğurma katsayısı
MCNP	Monte Carlo N-parçacığı
NBO	Bağlanmamış oksijen sayısı
OPD	Oksijen paketleme yoğunluğu
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SLS	Soda-kireç-kum camı
TGA	Termogravimetrik analiz
WoS	Web of Science
XRD	X-ışını kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Cam oluşturan bir sıvı için hacim-sıcaklık diyagramı (1: kristal, 2: yavaş soğutulan, 3: hızlı soğutulan)	8
Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum (Tiger Moon'dan adapte edilmiştir)	18
Şekil 3.2 Farklı malzeme tiplerinin, farklı ışımalara karşı gösterdikleri radyasyon koruması.	19
Şekil 3.3 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu malzeme alanında yıllara göre yapılan yayın sayıları.....	22
Şekil 3.4 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında yıllara göre yapılan yayın sayıları.	23
Şekil 3.5 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında tellürit esaslı cam sistemleri için yıllara göre yapılan yayın sayıları.....	24
Şekil 3.6 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında tellürit esaslı cam sistemleri içinde borotellürit cam sisteminde yıllara göre yapılan yayın sayıları.....	25
Şekil 4.1 Deney akım şeması.	47
Şekil 4.2 Deneysel sürece ilişkin yürütülen çalışmalara dair görsel.	50
Şekil 4.3 Sentezlenen BT20 cam serisinin görseli.	50
Şekil 4.4 Sentezlenen BT20- Bi cam serilerinin görseli.	52
Şekil 4.5 Sentezlenen BT20Bi10- 5HMO cam serilerinin görseli.	54
Şekil 4.6 Phy- X/ PSD programına dair örnek bir ekran alıntısı.	59
Şekil 4.7 Phy- X/ PSD tarafından Excel dosyasında sunulan ilgili cam sistemlerine dair hesaplanan radyasyon soğurma parametreleri.	60
Şekil 5.1 B ₂ O ₃ katkı oranına bağlı olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametrelerinde değişimler.	62

Şekil 5.2 Oksijen molar hacim ve oksijen paketleme yoğunluğu parametrelerinde B_2O_3 katkı oranına bağlı değişimler.	63
Şekil 5.3 B_2O_3 katkı oranı değişiminin ortalama bağ yoğunluğu ve birim hacim başına bağ sayısı parametreleri üzerine etkisi.	64
Şekil 5.4 Sentezlenen <i>BT</i> cam serilerine ait X-ışını kırınım desenleri.	65
Şekil 5.5 Sentezlenen BT5 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	67
Şekil 5.6 Sentezlenen BT10 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	67
Şekil 5.7 Sentezlenen BT15 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	68
Şekil 5.8 Sentezlenen BT20 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	68
Şekil 5.9 Sentezlenen BT25 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	69
Şekil 5.10 Sentezlenen BT30 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	69
Şekil 5.11 Sentezlenen BT5 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.	72
Şekil 5.12 Sentezlenen BT10 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.	72
Şekil 5.13 Sentezlenen BT15 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.	73
Şekil 5.14 Sentezlenen BT20 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.	73

Şekil 5.15 Sentezlenen BT20 numunesi için ısıtma işlem öncesi ve sonrası XRD ve SEM sonuçları.....	75
Şekil 5.16 Sentezlenen BT5 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.	78
Şekil 5.17 Sentezlenen BT10 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.	79
Şekil 5.18 Sentezlenen BT15 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.	80
Şekil 5.19 Sentezlenen BT20 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.	81
Şekil 5.20 Sentezlenen BT5 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.	83
Şekil 5.21 Sentezlenen BT10 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.	84
Şekil 5.22 Sentezlenen BT15 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.	85
Şekil 5.23 Sentezlenen BT20 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.	86
Şekil 5.24 BT serilerine ait dalgaboyuna karşılık soğurma eğrileri.	88
Şekil 5.25 Doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin B_2O_3 katkı oranına göre değişimi.	89
Şekil 5.26 Artan B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) değerleri.	90
Şekil 5.27 Urbach enerji değerlerinin B_2O_3 katkılanması ile değişimi.....	91
Şekil 5.28 Doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisi parametrelerinin B_2O_3 ilavesine karşılık değişimleri.	92

Şekil 5.29 Artan B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak farklı foton enerji seviyelerinde (0.15-15 MeV) doğrusal soğurma katsayısındaki (LAC) değişimler.	94
Şekil 5.30 Artan foton enerjisi ve B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak yarı-değer katmanı (HVL) parametresindeki değişimler.....	96
Şekil 5.31 Artan foton enerjisi ve B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak etkin atomik numarası (Z_{eff}) parametresindeki değişimler.	98
Şekil 5.32 Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametrelerinde değişimler.	99
Şekil 5.33 Oksijen molar hacim ve oksijen paketleme yoğunluğu parametrelerinde Bi_2O_3 katkı oranına bağlı değişimler.	100
Şekil 5.34 Bi_2O_3 katkı oranı değişiminin ortalama bağ yoğunluğu ve birim hacim başına bağ sayısı parametreleri üzerine etkisi.....	101
Şekil 5.35 Sentezlenen BT20- Bi cam serilerine ait X-ışını kırınım desenleri.	102
Şekil 5.36 Üretilen BT20- Bi0 numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	104
Şekil 5.37 Üretilen BT20- Bi5 numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.	104
Şekil 5.38 Üretilen BT20- Bi10 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	105
Şekil 5.39 Üretilen BT20- Bi12.5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	105
Şekil 5.40 Üretilen BT20- Bi15 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	106
Şekil 5.41 Üretilen BT20- Bi17.5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	106

Şekil 5.56 Artan foton enerjisi ve Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak etkin atom numarası (Z_{eff}) parametresindeki değişimler.	123
Şekil 5.57 Farklı <i>HMO</i> katkılarına bağlı olarak cam yoğunluğu parametresinde değişimler.	125
Şekil 5.58 Farklı <i>HMO</i> katkılarına bağlı olarak molar hacim parametresinde değişimler.	125
Şekil 5.59 Sentezlenen BT20Bi10- Gd5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri. ...	126
Şekil 5.60 Sentezlenen BT20Bi10- Sm5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri....	127
Şekil 5.61 Sentezlenen BT20Bi10- Ta5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri....	127
Şekil 5.62 Sentezlenen BT20Bi10- Er5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.	128
Şekil 5.63 Sentezlenen BT20Bi10- La5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri....	128
Şekil 5.64 Sentezlenen BT20Bi10-W5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.	129
Şekil 5.65 BT20- Bi10 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	131
Şekil 5.66 BT20Bi10- Gd5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	131
Şekil 5.67 BT20Bi10- Sm5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	132
Şekil 5.68 BT20Bi10- Ta5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	132
Şekil 5.69 BT20Bi10- Er5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	133
Şekil 5.70 BT20Bi10- La5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	133

Şekil 5.71 BT20Bi10- W5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.	134
Şekil 5.72 Sentezlenen BT20- Bi10 ve BT20Bi10- 5HMO numunelerine ilişkin FT- IR yöntemi ile elde edilen 4000- 400 cm ⁻¹ arası geçirim spektrumları.	134
Şekil 5.73 BT20Bi10- HMO serilerine ait soğurma eğrileri.	135
Şekil 5.74 Doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin farklı HMO katkılarına göre değişimi.	136
Şekil 5.75 Farklı HMO katkısına bağlı doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) değerleri.	137
Şekil 5.76 Urbach enerji değerlerinin farklı HMO katkılandırması ile değişimi.	138
Şekil 5.77 Doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisi parametrelerinin farklı HMO ilavesine karşılık değişimleri.	139
Şekil 6.1. Sentezlenen numuneler için deneysel LAC verileri ile hesaplanan RPE yüzdelерinin 662 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değişimi...	148
Şekil 6.2 Sentezlenen numuneler için deneysel LAC verileri ile hesaplanan RPE yüzdelерinin 1173 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değişimi.	149
Şekil 6.3 Sentezlenen numuneler için deneysel LAC verileri ile hesaplanan RPE yüzdelерinin 1332 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değişimi.	149
Şekil 6.4 Alternatif radyasyon soğurucu cam malzemeler ile mevcut tez çalışmasına söz konusu en iyi özellik gösteren 3 cam serisinin 662 keV gama enerjisinde HVL kalınlıkları açısından kıyaslanması.....	151
Şekil 6.5 RPE parametresi açısından alternatif radyasyon koruyucu camların, 662 keV gama enerjisinde ve 0.20 cm kalınlıkta vermiş olduğu değerlerin kıyaslanması.	153

Şekil 6.6 <i>RPE</i> parametresi açısından alternatif radyasyon koruyucu camların, 662 keV gama enerjisinde ve 1.00 cm kalınlıkta vermiş olduğu değerlerin kıyaslanması.	153
Şekil 7.1 Sentezlenen tüm camlara ait hesaplanan hızlı nötron kesit giderme (<i>FNRCs</i>) değerleri.	156
Şekil 7.2 <i>FNRCs</i> parametresi bakımından mevcut teze söz konusu en iyi özellik gösteren üç farklı cam sisteminin alternatif malzemeler ve ticari ürünler ile kıyaslanması.	157



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bir eriyikten hızlı soğutma ile elde edilebilecek bazı camların listesi.....	10
Çizelge 2.2 Bileşimlerin camdaki rolü ve bazı örnekleri.	10
Çizelge 2.3 Bazı ticari cam türleri ve kimyasal kompozisyonları.....	12
Çizelge 3.1 Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.	33
Çizelge 4.1 TeO_2 ve B_2O_3 bileşenleri için bazı bilgiler.	48
Çizelge 4.2 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan <i>BT</i> serisi numunelerin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdeler.	49
Çizelge 4.3 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan <i>BT20-Bi</i> serilerinin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdeler.	51
Çizelge 4.4 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan <i>BT20Bi10- HMO</i> serilerinin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdeler.	53
Çizelge 4.5 Bazı önemli fiziksel parametrelerin hesabı için bağıntılar.....	55
Çizelge 5.1 Üretilen <i>BT</i> cam serilerine ilişkin FT- IR tepe pozisyonları ve ilgili belirlemeler.	70
Çizelge 5.2 Sentezlenen cam serileri için farklı ısıtma hızına bağlı olarak karakteristik DTA pik sıcaklıkları.	74
Çizelge 5.3 Kristallanma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin sentezlenen <i>BT</i> serisi camlar için 3 farklı yöntem ile hesaplanması.	81
Çizelge 5.4 Kristallanma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin sentezlenen <i>BT</i> serisi camlar için 3 farklı yöntem ile hesaplanması.	86
Çizelge 5.5 Üretilen <i>BT20- Bi</i> cam serilerine ilişkin FT- IR tepe pozisyonları ve ilgili belirlemeler.	108

Çizelge 5.6 Bi ₂ O ₃ ilave oranı olarak molce % 5, 15 ve 25 sahip BT20- Bi serisi numuneler için camsı geçiş noktası (T_g), faz oluşum (T_{px}) ve ergime noktası (T_m) sıcaklık değerleri.....	114
Çizelge 5.7 Farklı HMO katkılarına bağlı olarak LAC parametresi için 0.015 ile 15 MeV foton enerji seviyesinde elde edilen değerler.....	141
Çizelge 5.8 Farklı HMO katkılarına bağlı olarak HVL parametresi için 0.015 ile 15 MeV foton enerji seviyesinde elde edilen değerler.....	143
Çizelge 6.1 En iyi özellik gösteren 3 farklı cam nunumesinin, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde deneysel ve teorik LAC değerleri.....	145
Çizelge 6.2 En iyi özellik gösteren 3 farklı cam nunumesinin, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde deneysel ve teorik HVL kalınlıkları.....	146

1. GİRİŞ

İnsanlığın ilk zamanlarından bu yana yaşamı kolaylaştırmak, daha iyi hale getirmek ve sürekli geliştirmek amacıyla hep bir atılım olmuştur. Bu anlamda, ateşin icadından matbaanın bulunmasına ya da buharlı makine teknolojisinden uzay seyahatlerine kadar sayısız gelişmeler meydana gelmiştir. Tüm bu gelişmeler dahilinde, insanlığın bilgi ve kabiliyetlerini kullanmada ne denli yol katettiği çok açıktır. Günümüzde, yazılım ve otomasyon, üstün özellikli malzemeler ve akıllı uygulama alanları yaygın olarak incelenmekte ve geleceği şekillendirmek için kullanılmaktadır. Yakın geleceğe bakıldığında ise yapay sinir ağları, yapay zeka, otonom sistemler, akıllı malzemeler ve nesnelerin interneti ile imalat teknolojileri gibi pek çok alanın hayatın değişilmez bir parçası olacağı bilinmektedir. Netice olarak, teknolojik bakımdan gelenen güncel noktanın aslında önümüzdeki çeyrek yüzyıl içinde geleneksel bir alan olacağı ve sürekli gelişmenin gündemde bulunacağı öngörülmektedir.

Bilimsel ve teknolojik birikim sayesinde pek çok yenilik ve gelişmeler hayatımızın merkezinde konumlanmıştır. Özellikle, 4. Sanayi Devrimi çerçevesinde tam otomasyon ve derin öğrenme konuları yazılım ve elektronik alanlarına itici güç olmaktadır. Bununla birlikte, yüksek enerji kullanımına dayalı bir çok uygulama da teknolojik gelişimin anahtarı halindedir. Üretim ve imalat süreçlerinde, enerji hasadında ya da test/analiz çalışmaları dahilinde yüksek enerjiye sahip ekipman/cihaz kullanımı oldukça yaygındır. Enerjinin aktarımında ise iletim (kondüksiyon), yayılım (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon) mekanizmaları karşımıza çıkar. Bunlar arasında, örneğin, radyasyon kaynaklı yüksek enerjili gama saçılımları ise çok önem taşır. Yine bu noktada, tüm bu teknolojik gelişmelerin bu denli hayatımızın bir parçası olması olumlu yönler sunsa da farklı risklerin ve olumsuzlukların üstesinden gelmek adına önleyici, düzeltici veya koruyucu tedbirlerin alınması şarttır.

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayını ya da aktarımıdır. Radyoaktif maddelerin alfa, beta, gama gibi ışınları yaymasına veya uzayda yayılan herhangi bir elektromanyetik ışını meydana getiren unsurların tamamına da radyasyon denir (Okafor vd. 2021). Radyasyon maruziyeti ise insan sağlığı üzerinde oldukça olumsuz etkilere sahiptir. Doz, şiddet ve süre değişkenlerine bağlı olarak geri

dönüşü olmayan pek çok rahatsızlığa sebebiyet verebilmektedir. Bunlar arasında, göz kuruluğu, cilt yanıkları, canlı hücrelerin ölümü, DNA mutasyonları ve hatta kanser hastalıkları en yaygın karşılaşılan sorunlardır (Kurtulus vd. 2021, Kurtulus vd. 2020, Lakshminarayana vd. 2020). Diğer taraftan, radyasyon ışımlarına neden olabilecek cihaz/ekipman bulunan uygulamalara bakıldığında tıbbi tanı ve teşhis merkezleri, araştırma enstitüleri, gıda sterilizasyon süreçleri, nükleer enerji üretim tesisleri ve endüstriyel uygulamalar, örneğin, tahribatsız muayene testleri, karşımıza çıkar (Kilic vd. 2020, Sayyed vd. 2020a, Aygün vd. 2020). Tüm bu alanlar düşünüldüğünde, insan faktörünün baş rol aldığı ve pek çok çalışmanın insan vasıtasıyla yürütülür olduğu görülür. Bu durumda, olumsuz sonuçları ortadan kaldırmak maksadıyla koruyucu tedbirlerin alınması bilimsel topluluğun ve kamunun birincil önceliği haline almıştır.

Radyasyon kaynaklı zararlı ışımların ortaya çıktığı uygulamaların başında tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezleri gelmektedir. Kemik dansitometresi, mamografi, diş röntgeni, X- ışını röntgeni, PET/CT ve tomografi cihazları hastalığın tanı ve teşhis aşamalarında sıklıkla kullanılan ve ilgili süreçlerin yürütülmesinde olmazsa olmaz konumu alan ekipman/cihaz olarak tanımlanır (Lakshminarayana vd. 2017a, Santos vd. 2009, Donya ve Sulami 2019). Gerek artan nüfus yoğunluğu gerekse ortaya çıkan sağlık sorunları bu alanın yoğun bir biçimde kullanılacağını bir kanıttır. Hem ekipman/cihaz operatörleri hem de gelen hastaların bir şekilde radyasyon kaynaklı yüksek enerjili saçılımların olumsuz etkilerinden korunması elzemdir. Bu noktada, bilimsel topluluğun yaptığı çalışmaları ışığında kamu yönetimi pek çok mevzuat ve/veya yönerge tanımlamış ve uygulanması noktasında katı kurallar ortaya koymuştur. Ulusal düzeyde, bu görevi, eski adıyla Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), yeni adıyla Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), aktif olarak yürütmektedir (İnt. Kyn. 1). Saçılan ışımların enerjisi ve kaybolma süreleri belirli hesaplar çerçevesinde yapılmakta ve ilgili ekipman/cihazın konumlandırılacağı odaların tasarımı hassasiyetle gerçekleştirilmektedir (ISO 2019-1, ISO 2019-2). Ancak, tüm bu tasarımsal aşamalar dahilinde ışımların azaltılması ve/veya ortadan kaldırılması maksadıyla malzeme teknolojilerine çok fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Zira, malzemenin sağlayacağı özellikler sayesinde bir nevi koruyucu kalkan görevi sağlanabilmekte ve zararlı etkiler en aza indirilebilmektedir.

Radyasyon soğurucu malzemelerin kullanımı çok önemli olduğundan bilimsel topluluk farklı malzeme türleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Araştırmaların tamamı, yüksek yoğunluğa sahip bileşimlerin radyasyon soğurucu malzeme olarak kullanılabilirliğinin irdelenmesine yönelmiştir (Kharita vd. 2011, Mirji ve Lobo 2017). Bunun nedeni, yüksek enerjili foton saçılımlarının malzeme ile etkileşime girdiğinde mümkün olan en az geçirim yüzdesi sağlaması, diğer taraftan yüksek kırınım ve soğurma kabiliyeti vermesinin istenmesidir. Böylelikle, kullanılan malzeme etkin ve güvenli bir şekilde uygulanabilecektir. Buradan hareketle, öncelikle kurşun metali üzerinde durulmuştur. Bilindiği üzere, kurşun elementi oldukça yüksek yoğunluğa (11.32 g.cm^{-3}) sahip olma, kolay şekillendirilebilme, düşük ısı işlem sıcaklıkları, ve kolay erişilebilirlik etmenleri nedeniyle oldukça yaygın hale gelmiştir (Hulbert ve Carlson 2009). Radyasyon saçılımlarına sahip cihazların bulunduğu odaların duvarları ve kapı açıklıkları kurşun metali ile kaplanabilmekte ve etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Farklı kalınlıklarda kolaylıkla üretilebiliyor olması ise, kullanımını yaygınlaştıran bir diğer faktör olmuştur. Öte yandan, kurşun elementine dair çevresel ve sağlık konularındaki kaygılar özellikle son çeyrek asırda sıklıkla telaffuz edilir olmuştur. Ağır metal olması nedeniyle, toprağa ve yer altı sularına karışarak tarımsal faaliyetlerde yer alabilmekte, ve dolayısıyla da insan ve doğaya zarar verme olasılığı oldukça mümkün olabilmektedir (Wani vd. 2015, Millstone ve Russell 1995). Özellikle, beyin ve sinir sağlığı üzerinde tahrip edici etkileri bulunduğu için küçük yaştaki çocukların maruziyet şiddetlerine dikkat edilmesi gerektiği pek çok araştırma tarafından ortaya konulmuştur. Bu noktada, bilimsel topluluk alternatif radyasyon soğurucu malzemeler üzerinde araştırmalarını yürütmüştür. Ağır agrega katkılı beton malzemeler, ilgili alanda yaygın olarak kullanım bulmuştur (Hlavač vd. 2021, Piotrowski 2021). Esasen, serpentin, hematit, çelik atıkları, ve barit katkılı beton malzemeler fiiliyatta da karşılık bulmuştur (Aygün vd. 2021, Khalaf vd. 2021, Akkurt ve El-Khayatt 2013, Akkurt vd. 2010). Sağlanan nispeten yüksek yoğunluklar (2.5 ila 4.5 g.cm^{-3}), istenilen kalınlıkların eldesi, ve yapısal olarak binalarda kullanılabilmesi birincil olumlu yönler olarak karşımıza çıkar (Oto vd. 2013). Ancak, beton malzemeler, çimento bileşimine ihtiyaç duyduğundan, ve çimento bileşiminin de üretimi esnasında yoğun miktarda birincil hammadde tüketimi, yüksek sera gazı salınımı, ve yüksek sıcaklığa gereksinim duyulması nedeniyle olumsuzluklar ile karşılaşmıştır (Naqi ve Jang 2019, Maddalena vd. 2018). Bununla beraber, kullanım süresince çatlama riski,

operasyonel güçlükler, ve istenmeyen fazların eldesi gibi etmenler ağır agregata katkılı beton malzemelerin tercihi noktasında bazı kısıtlayıcı faktörler olarak yer almıştır (Glinicki vd. 2016 , Lee vd. 2007). Diğer taraftan, yüksek enerjili cihazların uygulamaları için tasarlanan odalarda her ne kadar çevresel yapı, kurşun metali ve ağır betonlar ile koruma altına alınıyor olsa da mevzuat gereği bir gözetleme penceresi olmasının zorunluluğu nedeniyle bir şeffaf malzemeye de ihtiyaç duyulmuştur. Netice olarak ne kurşun metali ne de ağır agregata katkılı beton malzemeler şeffaf bir görünüm veremediklerinden, özellikle gözetleme penceresi gibi açıklıklarda kullanılmak üzere şeffaf bir malzeme türüne gereksinim olmuştur. Bu noktada da, cam malzemeler tek başına bir alternatif olarak bilimsel topluluğun merakını kazanmıştır. Dolayısıyla, mevcut tez çalışması dahilinde, bir radyasyon soğurucu cam malzeme geliştirilmesi ve anılan uygulama alanlarında kullanılabilirliğinin desteklenmesi üzerine odaklanılmıştır.

2. CAM MALZEMELER HAKKINDA

2.1 Camın Tanımı

Cam, antik çağlardan günümüze kadar sürekli hayatın içinde olan bir malzeme olarak karşımıza çıkmıştır. Gerek estetik arzular gerekse vazgeçilmez ihtiyaçlar nedeniyle insalığın gelişimine tanıklık etmiş ve yıllar boyunca süregelmiştir. Kavramsal açıdan ve bilimsel çerçeveden camın tanımına bakıldığında pek çok farklı tanımlama ile karşılaşılır. Tüm bu farklı tanımlamalar, gelişen teknoloji ile keşfedilen farklı özelliklerin ve uygulamaların meydana çıkması nedeniyle güncelleme gereksinimi hissedilmesinden yapılmıştır. Amerikan Malzeme Test Topluluğu (ASTM) olarak bilinen ve pek çok standartın genele yayılmasına öncülük eden kuruluşun yaptığı tanımlamada “Kristallenmeden ani soğutma ile elde edilmiş inorganik katı füzyon ürünü” açıklaması karşımıza çıkar (ASTM 2017, İnt. Kyn. 2). Daha sonraları pek çok bilim insanı tanımlamalara eklentiler sunmuşlardır. ASTM tanımlamasında yer verilmeyen amorf ifadesi, camsı geçiş sıcaklığı, ısı kapasitesi, genleşme katsayısı ve termodinamik değişkenlikler kavramları Frischat (1977) tarafından tanımlamanın içerisine aktararak yeni bir kazanım sağlanmıştır. Günümüze doğru gelindiğinde, cam malzemelere dair bilinen gerçeklerin yıkılmaya başlanması ve daha çığır açan yönlerinin keşfedilmesiyle tanımlama üzerinde değişiklikler gerekmiştir. ASTM tanımına atfen Wright (2010) cam malzemelerin füzyon ile değil ergitme süreçleri ile elde edilen bir malzeme olduğunu ve füzyon tanımlamasının çoklu içeriklere sahip olan bir sistemi tanımlamada yetersiz kalacağını belirterek ergitme tanımını desteklemiştir. Takip eden yıllar içerisinde Varshneya ve Mauro (2010) bilim insanları cam tanımlamasını toparlayarak “ısıtma ile sürekli sıvılaştan kristal yapıya sahip olmayan katı” şeklinde yapmışlardır. Bununla birlikte, aynı bilim insanları camı tanımlarken belirgin kompozisyonel ve üretimsel tanımlamalardan kaçınılması gerektiğini, her kompozisyonel farklılıkta ve üretimsel değişkenliklerde farklı camın eldesinin olacağını vurgulamışlardır. Öte yandan, endüstriyel manada camın tanımına bakıldığında ise daha çok prosese yönelik açıklamalar yer almıştır. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) tarafından yapılan tanımlamada “Özellikleri ve miktarları tanımlanmış farklı hammaddelerin karıştırılıp, belirli miktarda geri dönüşüm camı eklenerek yüksek sıcaklıklarda ergitilmesi ve şekillendirilmesi sonrasında ani olarak soğutulup ürünün elde edilmesi” şeklinde

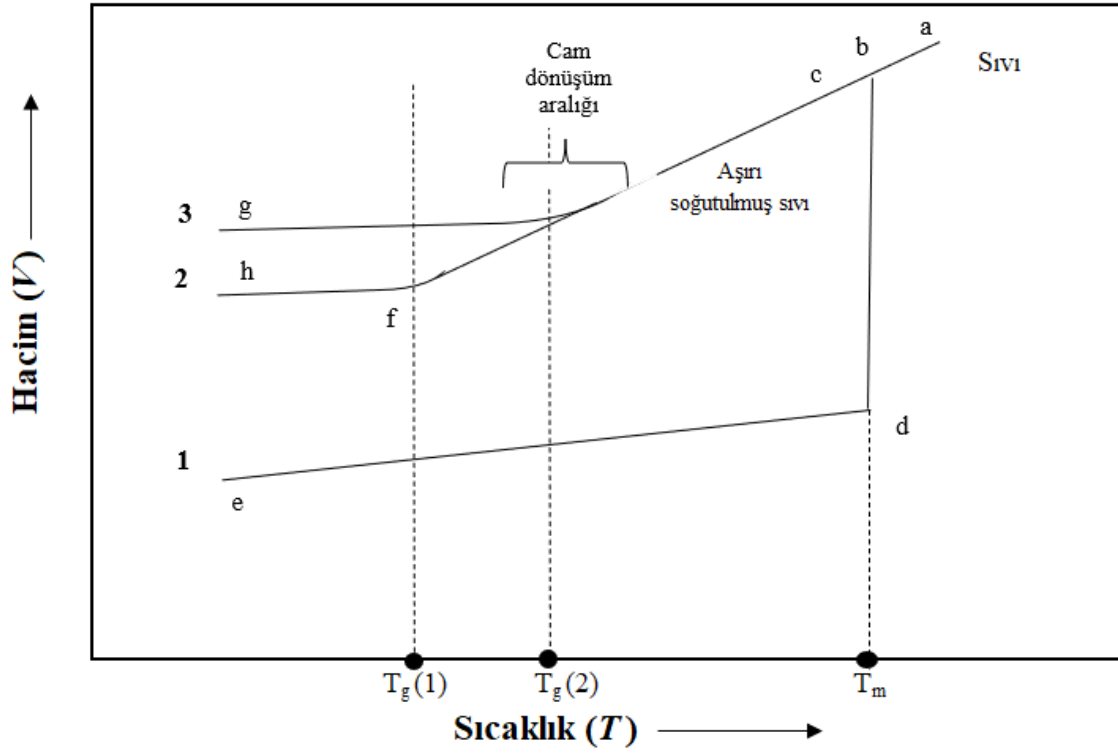
yapılmıştır (TOBB 2012). Bununla birlikte, bazı üretici firmalar tarafından farklı tanımlamalar, örneğin; modern paradoksal süreç, biçimsiz sıvı, gibi tanımlamalar yer almıştır. Netice olarak, kelime kökeni, sözlük anlamı, bilimsel değerlendirmesi ve endüstriyel açıklaması şeklinde cam hakkında verilen bilgiler ışığında derlenebilecek bir tanımlama karşımıza çıkmaktadır. *“Arzu edilen özelliklerin tayin edilmesi sonrası ihtiyaç olacak hammaddelerin miktarlarının tasarlanıp bir araya getirilmesi ve uygun sıcaklık şartları altında sıvı fazın elde edilip ani ve hızlı bir soğutma sayesinde kristallenmeye fırsat bulamayan bir yapının kısa ve süreksiz halde bir amorf yapı oluşturarak meydana getirdiği keşfedilmeye açık saydam bir malzeme”* olarak özgün tanımlamayı doktora tezi kapsamında ortaya çıkarabiliriz.

2.2 Camın Yapısı

Cam malzemelere dair getirilen tüm tanımlamalarda amorf bir yapının varlığından söz edilmektedir. Bilindiği üzere, malzemeler genel olarak kristal ve amorf yapı olmak üzere iki tip yapıya sahip olmaktadır. Kristal yapıda, uzun erimli ve tekrarlanabilir kafes yapıları görülürken, amorf yapıda kısa erimli ve düzensiz yapılar görülür. Öyle ki, cam malzemelerde düzensizliğin içinde kısa düzenlilikler bulunur, fakat hiç biri birbirini tekrar eder konumunda değildir. Bu noktada, şu ayrımı yapmakta oldukça fayda vardır: amorf ve cam kavram farkları. Cam malzeme, amorf yapıda bulunan ve bir camsı geçiş aralığına sahip olan şekilde tanımlanırken, amorf yapıya sahip diğer malzemeler, örneğin polimerler, herhangi bir camsı geçiş aralığına sahip olmaları gerekmez (J. E. Shelby 2005). Sıcaklık artışına maruz kalan bileşimlerin atomları arasındaki titreşimler artmaya başlar. Daha da artış ile birlikte atomlar birbirinden uzaklaşmaya devam eder. Neticede, atomlar arası bağların kopması ile birlikte sıvı halde bir eriyik eldesi gerçekleşir. Sıcaklık artışı esnasında sürekli bir hacimsel değişim mevcuttur. Bu noktada, hacim-sıcaklık ($V-T$) eğrileri üzerinde durup, hem kristal hem de amorf yapının sıcaklık artışı/ düşüşü sırasında gösterdiği davranışları irdelemek, camın yapısını anlamada oldukça etkin olacaktır.

Hacim ile sıcaklık arasındaki ilişkinin cam oluşturan bir sıvı için diyagramı Şekil 2.1’de verilmiştir. Sıvı hal “a” noktası ile belirtilmiştir. Soğutma ile birlikte, diyagram üzerinde “abc” doğrultusunda bir hareket ortaya çıkar ve hacim azalmaya başlar. Ergime noktası

olarak adlandırılan T_m , “b” noktası ile tanımlanır. T_m sıcaklığında kristal malzemenin ergime noktası bulunur ve bu noktada katı ve sıvı aynı buhar basıncına sahip olurken aynı zamanda aynı Gibbs serbest enerjisine sahiptirler. Tam bu noktada, sonsuz küçüklükte çekirdekçikler sıvı ile termodinamik dengede bulunur. Buradan hareketle “c” noktasına doğru geçildiğinde kristalizasyon başlangıcı görülür. Kristalizasyon için 2 temel parametreye ihtiyaç vardır: (1) yeterli miktarda ve büyüklükte katı çekirdekler ve (2) yeteri kadar kristal büyüme hızı. Soğutmanın kademeli olarak yürütülmesi akabinde “d” ve “e” noktaları takip edilir ve kristal yapı bir katı madde eldesi gerçekleşir. Özetle, “abcde”, (I), doğrultusunun takip edilmesi ve yavaş soğutmanın izlenmesi neticesinde kristal yapı eldesi mümkün olur. Öte yandan, T_m sıcaklığının altında, bir kristalizasyona rastlanılmazsa (burada çok hızlı soğutma söz konusudur) sıvı halde bulunan madde aşırı soğutulmuş sıvı bölgesine doğru hareket eder. Burada, “abcf” doğrultusu takip edilir. Hızlı soğutma ile birlikte, hacim ani olarak düşer ve yapı içinde büzülme meydana gelir. Soğutma devam ettikçe, yapı içindeki moleküller hareket edemez duruma gelir ve böylelikle de sistemin viskozitesi ani bir şekilde artar. Düşük sıcaklıklar ile beraber moleküler gruplar kendilerini düzene sokacak biçimde hareket kabiliyetlerini yitirirler. Yavaş soğutulan sıvı, “abcfh”, (II), doğrultusunu izlerken, hızlı soğutulan sıvı “abcg”, (III), eğrisini takip eder. Dikkat edilmesi gereken bir husus da, hem yavaş hem de hızlı soğutulan sıvıların camsı hali alırken gösterdikleri bir camsı geçiş noktası (T_g) olmasıdır. T_g noktası, bir aralığı temsil eder, kesin bir nokta olarak tanımlanmaz. Geçişini belirtmek üzere yapılan bir tanımlama olarak bilinir. Sonuç olarak, soğutma hızının maddenin yapısını belirleme noktasındaki etkisi çok açıktır. Ayrıca, çok hızlı soğutmaya tabi tutulan ve yeterince zaman bulamadığından kristal yapıyı oluşturamayan, ve aynı zamanda da bir camsı geçiş noktasına sahip olan madde, amorf yapıda ve cam olarak tanımlanır (Varshneya ve Mauro 2019).



Şekil 2.1 Cam oluşturan bir sıvı için hacim-sıcaklık diyagramı (1: kristal, 2: yavaş soğutulan, 3: hızlı soğutulan).

2.3 Cam Oluşum Teorileri

Camın yapısına dair hacim-sıcaklık eğrisi üzerinden yapılan yaklaşımlardan sonra cam oluşum teorilerine bakmakta oldukça yarar vardır. Zira, zaman içinde geliştirilen bu teoremler ile camın oluşma durumuna ait tanımlayıcı neticeler oluşmuştur. Her ne kadar pek çok teori ortaya atılmışsa da bunlardan bazıları daha dikkat çekici olmuştur. Goldschmidt tarafından yarıçap oranı kriteri, Zachariasen tarafından rastgele ağ yapı teorisi, Smekal tarafından karışık bağ kuralı, Stanworth tarafından elektronegativite kuralı, Sun tarafından tekli-bağ kuvveti kriterleri, ve Phillips tarafından topolojik kısıtlama modeli ortaya atılmıştır. Daha sıklıkla, bilimsel topluluk Zachariasen tarafından ortaya konulan rastgele ağ yapı teorisi üzerinde durarak çalışmalarını sürdürmüştür (Varshneya ve Mauro 2019).

Zachariasen rastgele ağ yapı teorisinde cam malzemelerin mekanik özelliklerinin kristal yapı malzemelere benzer olduğu ve her ikisinin de atomik kuvvetler bakımından aynı

olduğu vurgulanmıştır. Cam yapı içinde, X-ışını kırınım (XRD) sonuçlarına istinaden kısa erimli ve düzensiz yapıların bulunduğu tespit edilebilirken, bunun neticesi olarak ise üç boyutlu rastgele ağ yapı düzeninden bahsedilmiştir. Bu rastgele dağılımlı düzen nedeniyle de camın içsel enerjisinin kristal yapılara göre daha yüksek olduğu çıkarımı yapılmıştır. Fakat, bu içsel enerji farkının çok yüksek olmaması gerektiği, aksi durumda kristalizasyona meyil göstereceği belirtilmiştir. Bu nedenle, Zachariasen bu ufak içsel enerji farkının bir açık ve esnek yapıya ihtiyaç duyacağını önermiştir. Özetle, Zachariasen tarafından 4 kural ortaya konularak cam oluşum teorisi açığa çıkarılmıştır.

- i. *Oksijen atomları ikiden fazla atom ile bağ yapmamalıdır.*
- ii. *Koordinasyon numarası 3 veya 4 olmalıdır.*
- iii. *En az 3 köşe paylaşımında olmalıdır.*
- iv. *Katyon çokluyüzlüleri köşeleri paylaşmalı, kenar ya da yüzeyleri paylaşmamalıdır.*

Zachariasen tarafından ortaya konulan 4 kural ışığında elementlerin ve bileşiklerin cam yapıcı nitelikleri Çizelge 2.1’de verildiği üzere özetlenmektedir (Varshneya ve Mauro 2019).

Çizelge 2.1 Bir eriyikten hızlı soğutma ile elde edilebilecek bazı camların listesi.

Cam Yapıcı Türün Adı	Örnekleri
Elementler	S, Se, Te, P
Oksitler	SiO ₂ , B ₂ O ₃ , GeO ₂ , P ₂ O ₅ , Sb ₂ O ₃
Sülfürler	As ₂ S ₃ , Sb ₂ S ₃
Selenitler	Tl, Sn, As, vb. bileşimlerin bileşikleri
Tellüritler	Tl, Sn, As, vb. bileşimlerin bileşikleri
Halojenler	BeF ₂ , AlF ₃ , ZnCl ₂
Nitratlar	KNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂
Sülfatlar	KHSO ₄
Karbonatlar	MgCO ₃ , K ₂ CO ₃
Basit organikler	Gliserol, glikoz
Polimerik organikler	Polietilen
Sulu çözeltiler	Asitler, bazlar
Metalik alaşımlar	Au ₄ Si, Pd ₄ Si

Bununla birlikte, Zachariasen tarafından ortaya konulan 4 kuralın uygulanması ile bileşimler 3 gruba ayrılmıştır: cam yapıcı, aradakiler ve düzenleyiciler. Çizelge 2.2 dahilinde her 3 gruba ait örnekler listelenmiştir.

Çizelge 2.2 Bileşimlerin camdaki rolü ve bazı örnekleri.

Rol	Örnek
Cam yapıcı	SiO ₂ , B ₂ O ₃ , GeO ₂ , P ₂ O ₅ , Sb ₂ O ₃ , PbO, As ₂ O ₃
Aradakiler	TeO ₂ , SeO ₂ , MoO ₃ , Bi ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , V ₂ O ₅
Düzenleyiciler	Na ₂ O, K ₂ O, Rb ₂ O, MgO, CaO, BaO

2.4 Camın Kimyasal Niteliği ve Cam Türleri

Pek çok oksit ya da oksit olmayan bileşimin tek başına ve/veya başka oksitler ile birlikte istenilen cam oluşturma şartlarını sağlamaları halinde cam yapabildikleri bilinir. Kompozisyonel açıdan bu denli esnekliğe sahip olmak farklı uygulama alanları için farklı özellikte cam bileşimlerinin oluşturulmasına olanak tanımıştır. Günümüz dünyasında,

ticari açıdan sıklıkla kullanım alanı bulmuş önde gelen cam türlerine dair derleme Çizelge 2.3 dahilinde verilmiştir (Varshneya ve Mauro 2019). Temelde, silikat esaslı cam bileşimlerinin oldukça yaygın olduğu açıkça görülmektedir. Bununla beraber, Al_2O_3 ve B_2O_3 katkıları ile fonksiyonellenen cam bileşimlerinin yapılabildiği görülür. Öte yandan, düzenleyiciler ve değiştiricilerin katkısı sayesinde gerek ergime noktalarının düşürülmesi gerekse kimyasal ataklara karşı direncin artırılması gibi faydalar elde edilebilmektedir. Alt başlıklar halinde, yaygın olarak kullanım bulan cam türlerine dair bilgiler kısaca aktarılmıştır (Musgraves vd. 2019).

2.4.1 Vitrikiye Silika

Ticari açıdan en dayanıklı cam olarak bilinen vitrikiye silika cam, yüksek sıcaklıklara dayanım, kimyasal korozyona direnç, düşük elektrik iletkenliği, çok düşük ısıl genleşme katsayısı, ve görünür ışık altında oldukça şeffaf görünüm sağlayan özellikleri barındırır. Yüksek üretim maliyetlerine sahip olması nedeniyle, kısıtlı alanlarda kullanılsa da, özellikle optik fiberler, yüksek saflıkta ergitme için krezeler, ve yüksek verimli lamba muhafazası uygulamalarında kullanım bulur.

Çizelge 2.3 Bazı ticari cam türleri ve kimyasal kompozisyonları.

	Silika	Pencere	Ambalaj	Aydınlatma camı	Sofra eşyası	Taş yünü	Tıbbi	Borosilikat	Kristal	Sızdırmazlık	Halojen lamba	LCD ekranı	Cam-seramik	E-Camı	Optik beyaz
SiO ₂	100	73	74	73.6	74	59	72	69.6	59.6	3	60	59.2	69.7	53.2	49.8
Al ₂ O ₃	-	0.1	2	1	0.5	4.5	5	-	-	11	14.3	16.7	17.8	14.5	0.1
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	3.5	11	10.9	-	12	-	7.3	-	9.2	-
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	-	-
Na ₂ O	-	13.7	14.3	15.5	17.5	11	8	8.4	3.3	-	-	-	0.4	-	1.2
K ₂ O	-	0.1	0.6	0.6	-	0.5	1	8.4	10.9	-	-	-	0.2	1	8.2
MgO	-	3.8	3.7	3.6	-	5.5	-	-	-	-	-	1	2.6	4.4	-
CaO	-	8.8	5.4	5.2	7.5	16	1	-	1.3	-	7	4	-	17.4	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	2	2.5	-	-	18.3	9.6	-	-	13.4
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	8
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	24.4	74	-	-	-	-	18.7
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	0.3	0.5	-	-	-	0.6	-	0.5
SO ₃	-	0.5	-	0.5	0.5	-	-	-	-	-	0.3	0.3	-	-	-

2.4.2 Soda-Kireç-Kum Camı

Ticari camlar arasında en yaygın kullanıma sahip olan soda-kireç-kum (SLS) camı, günlük gereçlerden pencere camlarına, ambalajlardan otomobil camlarına kadar sıklıkla kullanılır. Düşük maliyet ile üretim, iyi kimyasal dayanıklılık, ve görünür ışıktaki iyi optik geçirirlik sunması başlıca olumlu yönleridir. Soda külü, kireç taşı ve kum hammaddelerinin belirlenen oranlarda karışımı ve yaklaşık 1400-1500 °C arasında ergitilmesi neticesinde SLS camları üretilir.

2.4.3 Borosilikat Camı

Özellikle ısı şok dayanımının ve ısı genleşme katsayısının önemli olduğu uygulamalarda yaygın olarak borosilikat camı tercih edilir. Bununla birlikte, kimyasal saldırılara karşı yüksek direnç sağlaması nedeniyle laboratuvar gereçleri olarak kullanım imkanı bulur. Ayrıca, tıbbi cam olarak da kullanılabilen borosilikat kompozisyonu, çözünmeye ve aşınmaya karşı direnç göstererek kullanılan ilaçların etkinliğini koruma rolünü üstlenir. SLS camlarına kıyasla, nispeten daha yüksek ergime noktalarına (1550-1650 °C) sahip olan borosilikat cam kompozisyonları bor oksit hammaddesinin üstün özellikleri nedeniyle pek çok alanda kullanılır.

2.4.4 Kurşunsilikat Camı

Yüksek oranda kurşun oksit (PbO) barındıran kurşun-silikat camları, özellikle estetik arzuları karşılama noktasında kullanım alanı bulur. Şöyle ki, sağladığı kristal parlaklığı ve berraklığı sayesinde kadehlerde tercih edilir. Ayrıca, geniş çalışma aralığı sunarak camın şekillendirilmesi esnasında avantajlar sağlar. Mikroelektronik uygulamalarında kurşun-borosilikat cam sistemi kullanılarak iletici, direnç ve dielektrik malzeme olarak kullanılır. Ancak, kurşun bileşimlerinin neden olduğu zehirli etkiler sebebiyle kullanımına dair kaygılar varolduğundan alternatif reçete çalışmaları yürütülerek kurşun oksit içeriğinin saf dışı bırakılması hedeflenmektedir.

2.4.5 Alüminosilikat Camı

Vitrifiye silika ile soda-kireç-kum camı kompozisyonları aralığının ortalarında yer alan alkali-serbest alüminosilikat cam kompozisyonları özellikle son çeyrekte tercih edilir hale gelmiştir. Bunun nedeni, kimyasal saldırılara karşı oldukça iyi direnç ve nispeten düşük ısı genleşme katsayısı özellikleri verilebilir. Yüksek mekanik dayanım ve yüksek sertlik özellikleri ise bir başka olumlu yanları olarak karşımıza çıkar. Yüksek verimli lambalar, LCD ekranlar, akıllı cihaz ekranları, uçak pencereleri ve elektronik cihazlar başlıca uygulama alanları olarak bilinir. Bu noktada, görüntü teknolojilerinde yapılan elektronik atılımların bir sonucu olarak görüntü cam teknolojisi de dinamik olarak gelişim

katettiğinden, alüminosilikat camları üzerinde daha sıklıkla durulacağı çok açıktır.

2.4.6 Biyoaktif Cam

1960'lı yıllarda ilk kez keşfedilen biyoaktif camlar, insan vücuduna sağladığı üstün uyum nedeniyle kritik öneme sahip olmuştur. Çeşitli silika ve borat kompozisyonlarına sahip olabilen biyoaktif camlar, özellikle fosfat (P_2O_5) esaslı olarak son zamanlarda üretilerek yapay kemik ve yaraların iyileşmesi uygulamalarında kullanım bulmaya başlamıştır.

2.4.7 Silikat Esaslı Olmayan Diğer Camlar

Her ne kadar silika esaslı cam sistemleri yaygın olarak tercih edilmekte ve bu doğrultuda cam ağ yapısının anlaşılmasına çalışılması sürdürülmekte olsa da, esasen borat ve fosfat içeren camların araştırılması cam ağ yapı hakkında tamamlayıcı bilgiler sunma potansiyeline sahiptir. Buradan hareketle de, lazer uygulamalarda toprak alkali-alüminofosfatlar, yüksek elektrik direnci uygulamalarında boroalüminatlar, yüksek sıcaklık sızdırmazlık uygulamalarında toprak alkali-alüminatlar, düşük ergime sıcaklığına sahip V_2O_5 esaslı camlar ve yumuşak doku onarım uygulamalarında borat esaslı biyoaktif camların tercih edilmesi bu alandaki kompozisyonlara ilgiyi uyandırmıştır. Öte yandan, son zamanlarda sıklıkla telaffuz edilen üstün optik özellikler kavramı tellürit esaslı camlar sayesinde elde edilebilir olmuştur.

2.4.8 Halid Camları

Çok yağın olmamakla birlikte optik fiber cam olarak kullanım alanı bulan halid camlar, 1980'li yıllardan günümüze üzerinde durulmuştur. Düşük iletim kayıpları sayesinde yer altı telekomünikasyon uygulamalarında kullanılan bu camlar, düşük su direnci nedeniyle özel şartlar altında kullanım imkanı bulur. En bilinen kompozisyonu ZBLA, esasen $57ZrF_4-36BaF_2-4LaF_3-3AlF_3$ (mol%) oranlarına sahiptir. Kristallenme eğilimi çok yüksek olan bu kompozisyon yaklaşık 800 ila 1000 °C arasında ergime noktasına sahiptir.

2.4.9 Kalkojenler ve Kalkojen Camlar

Periyodik tablo grup 16 elementlerinin (S, Se ve Te), grup 15 ve 14 elementleri ile birlikte yaptıkları cam bileşimlerinin genel tanımlaması kalkojenler olarak bilinir. Yarı-iletken davranışları, foto-iletkenlik ve IR-geçirim özellikleri nedeniyle ilgiyi üzerine çekmiştir. Sensör uygulamaları ve lazer-destekli mikrocerrahi uygulamalarda sıklıkla kullanım bulur.

2.4.10 Metalik Camlar

Son zamanlarda çoğunlukla dile getirilir olan metalik camlar, geleneksel oksit camlarına kıyasla üstün özellikler sunmaktadır. Başta elektriksel, manyetik ve optik özellikleri olmak üzere pek çok avantaj sunar. Güç transformatörlerinde özellikle çekirdek kısımlarında kullanılarak kayıpların önüne geçilmesini sağlar. Bununla beraber, düşük manyetik histerisis, yüksek elektriksel direnç ve yüksek mekanik dayanımları sayesinde uzay araçları ve yüksek hızlı hava taşıtlarında kullanım imkanı bulur. Demir, nikel, bor, karbon, vb. elementlerin sitokiyometrik olarak karıştırılması ve vakum altında ergitilmesi akabinde çok hızlı şekilde soğutularak elde edildiği sistemlerdir. Halihazırda, çalışmalar sürdürülmekte olup yakın gelecekte boyut kısıtlamasının aşarak üretimsel süreçlere kazandırılması hedeflenmektedir.

2.5 Tellürit Cam Sistemleri

Geleneksel manada kullanılagelen silikat ve borat esaslı cam sistemleri, bazı teknik yetersizlikleri nedeniyle (örneğin, düşük nadir toprak element çözünürlüğü, yüksek optik kayıplar, vb.) çeşitli optik ve elektronik uygulamalarda tercih edilememiştir. Bu noktada, ihtiyaç duyulan cam sistemlerinin üretilebilmesi adına çeşitli oksit bileşenler (Sb_2O_3 , GeO_2 , TeO_2 , vb.) üzerine yoğunlaşmış ve cam yapma kabiliyetleri irdelenmiştir. Buradan hareketle, TeO_2 esaslı cam sistemlerinin yüksek yoğunluk, yüksek kırınım indis, düşük kızılötesi geçirim kayıpları, nadir toprak element çözünürlüğüne elverişlilik, düşük proses sıcaklıkları ve yüksek ısı, mekanik, korozyon davranışları nedeniyle bir hayli olumlu özellikler sunduğu bulunmuştur (Çelikbilek Ersundu 2017b). Dolayısıyla, özellikle optik ve optoelektronik uygulamalarda (fiber, lazer, prizmalar, vb.) yaygın halde

kullanım alanı bulmuştur. Son zamanlarda ise, sağladığı avantajların bir başka alanda kullanımına yönelik çabalar ortaya çıkmıştır. Öyle ki, radyasyon soğurma uygulamalarında, özellikle sağlamış olduğu yüksek yoğunluk değerleri nedeniyle, araştırmacıların ilgisini çekmektedir (El-Mallawany 2018).

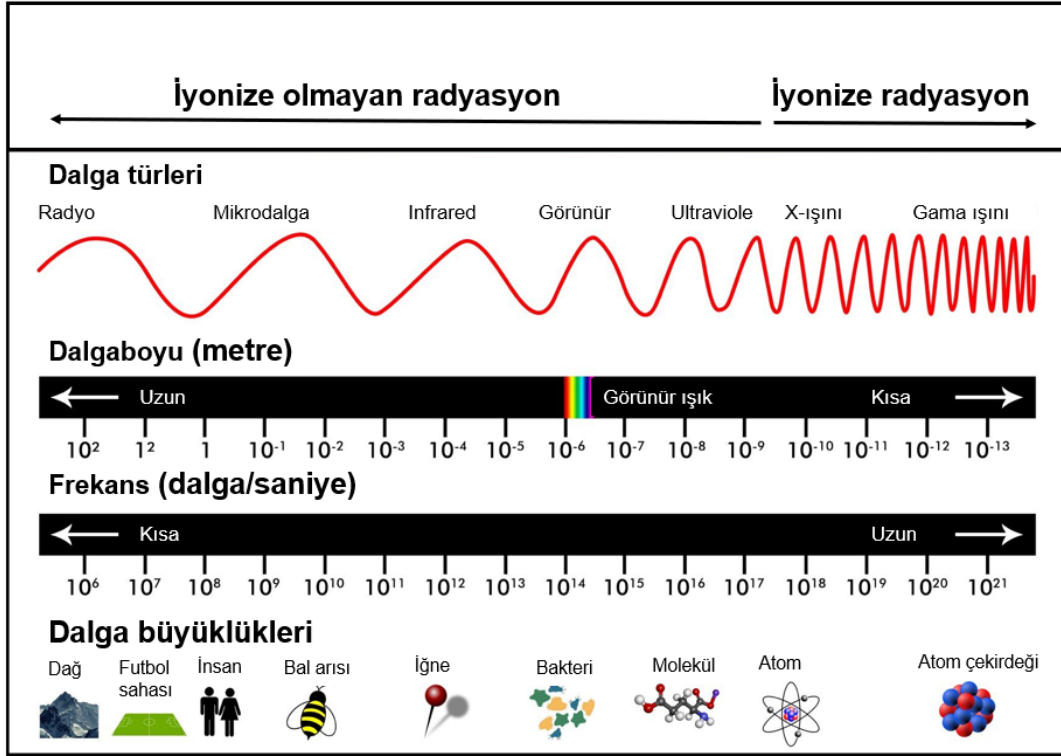
TeO₂ bileşeni, tek başına cam yapma kabiliyetine sahip olmamakla birlikte içerisine katılan bazı ağ yapıcı, aradakiler ve düzenleyicilerin ilavesi ile cam sistemi oluşturabilmektedir. Esasen, TeO₂, beyaz renkte olan, kristal formu bulunan ve ergime sıcaklığı 733 °C olan bir bileşimdir. Böylelikle, düşük sıcaklık prosesine uygun olup farklı bileşen katkıları ile sentezlenebilir hale gelmektedir.



3. LİTERATÜR BİLGİLERİ

3.1 Radyasyon ve Radyasyon Soğurma

Radyasyon kavramı evrenin ilk zamanlarından günümüze kadar hayatımızın bir parçası olarak süregelmiştir. Radyasyon, parçacıklar ve ya elektromanyetik dalgalar şeklinde taşınan enerji olarak tanımlanabilir. Doğal radyasyon evrenin başlangıcından günümüze hayatın içinde yer alırken, özellikle X-ışını keşfinden bu yana da yapay radyasyonun varlığı üstel nitelikte artarak günümüze kadar ulaşmıştır. Radyasyon varlığının doğal ve yapay olarak 2 şekilde hayatımızda bulunduğu ek olarak, radyasyon, iyonize olmayan ve iyonize olan şeklinde temelde 2 tipe ayrılmaktadır. İyonize olmayan radyasyon olayında ışın-madde etkileşimi neticesinde herhangi bir yüklü parçacık oluşumu gözlemlenmezken, iyonize olan radyasyon dahilinde ise etkileşim sonrasında bir iyon oluşumu görülür. Esasen, iyonize olmayan radyasyon süreçlerinde insan sağlığı üzerinde geri dönüşü olmayan tahribatlar görülmezken, iyonize olan radyasyona maruziyet durumunda doz, şiddet ve mesafe parametreleri göz önüne alınarak, geri dönüşü olmayan sağlık sorunları meydana çıkabilmektedir. İyonize olmayan ve iyonize olan radyasyon kapsamında farklı dalga türleri, dalgaboyu, dalga frekansı ve dalga büyüklüklerine dair çeşitli bilgiler ise Şekil 3.1 kapsamındaki elektromanyetik spektrumda sunulmuştur. Görüleceği üzere, iyonize olmayan radyasyonda dalga boyu uzun, frekans kısa, dolayısıyla enerji düşük olurken; iyonize olan radyasyonda dalga boyu kısa, frekans uzun, dolayısıyla da enerji yüksek olmaktadır.



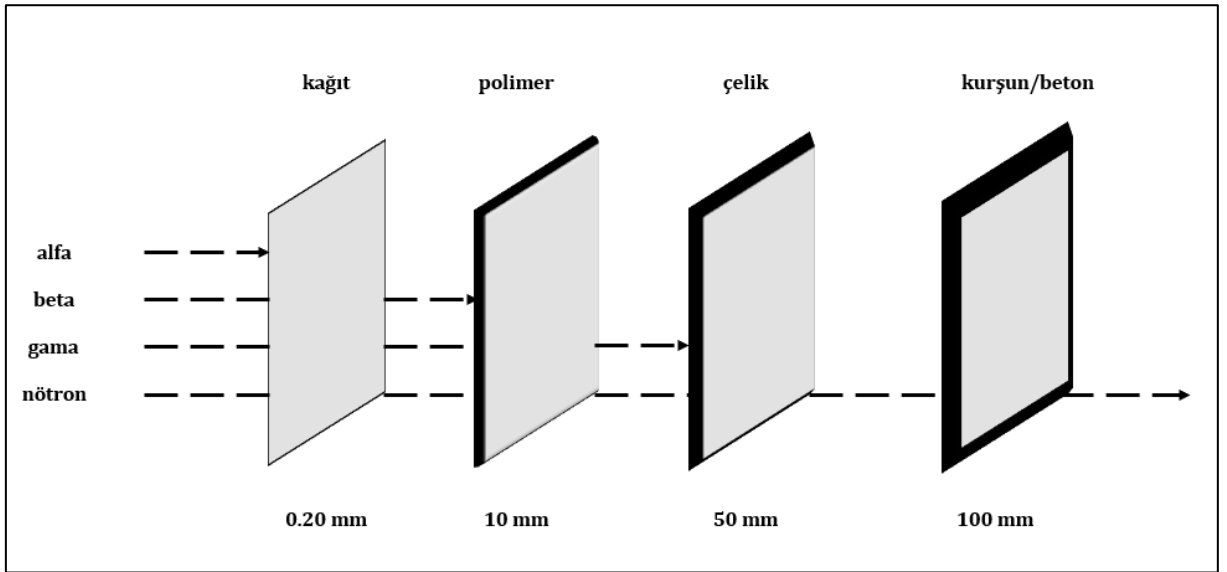
Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum (Tiger Moon'dan adapte edilmiştir) (İnt. Kyn. 3).

İyonize olan radyasyon, atomların ve moleküllerin içinden geçerek parçalayabilen ve iyonlara ve serbest radikallere yola açan bir radyasyon türüdür. Işınlanmış ortamdaki atomlardan ya da moleküllerden bir veya daha fazla elektronu fırlatmak için yeterli enerjiye sahiptirler. Dolayısıyla, kararsız atomlar iyonize olan radyasyon üretir. Her iyonlaşma yaklaşık 33 elektron volt (eV) açığa çıkarır, atomu çevreleyen malzeme enerjiyi emer. Emilebilen diğer radyasyon türleri ile karşılaştırıldığında, iyonize olan radyasyon büyük miktarda enerjiyi küçük bir alana yayar. Tüm iyonize olan radyasyon, doğrudan veya dolaylı olarak çoğu molekülden elektronları uzaklaştırabilir.

İyonize olan radyasyon kaynaklarına bakıldığında, alfa tanecikleri, beta tanecikleri, gama ışını, X-ışını, nötronlar ve kozmik ışınlar bilinir. Alfa tanecikleri, radyum, uranyum ve plütonyum gibi ağır elementlerin radyoaktivitesinden kaynaklanan hızlı hareket eden helyum çekirdeklerinden oluşurlar. Kısa mesafeler kat ederler ve geniş etkilere sahiptirler. Sadece bulunduğu tehlike göstermektedirler. Beta parçacıkları, herhangi bir radyoaktif çekirdeğin parçalanmasından kaynaklanan yüksek hızlı elektron akışlarıdır. Düşük beta tanecikleri bir tehlike meydana getirmezken, yüksek beta tanecikleri bir

yüzeye çarptığında X-ışını formunu alabildiklerinden tehlike arz etmektedir. Bu durum, aynı zamanda kırıcı radyasyon olarak da tanımlanır. Gama ışınları, bir radyonüklidin parçalanması sırasında çekirdeği tarafından yayılan ve nüfuz etme özelliğine sahip olan ışıma türüdür. Yüksek enerjiye ve hıza sahip olan bu nüfuz edici fotonlar, canlı hücreler üzerinde oldukça ciddi hasar bırakma özelliğine sahiptir. Bu sebepten, korunmak mutlak suretle şarttır. X-ışınları, bir iç kabuk orbitalinin uyarılması ve neticesinde bir elektron koparılması suretiyle yeniden düzenlenme aşamasında ortaya çıkan karakteristik bir ışımadır. İlk olarak 1895 yılında Roentgen tarafından keşfedilen X-ışınları, oldukça güçlü nüfuz etme özelliği nedeniyle canlı hücrelerde geri dönüşü olmayan hasarlar bırakabilir.

İyonize olan radyasyon kaynakları irdelendiğinde, farklı enerji seviyelerinde ışımalara neden olabildikleri açıkça görülmektedir. Bazıları belirli bir zararlılık seviyesine sahip olsa da bazılarının neden olduğu zararlar geri dönüşü olmayan noktadadır. Şekil 3.2 kapsamında farklı radyasyon kaynakları ve alternatif malzemeler verilerek, bu radyasyon kaynaklarının hangi malzemeler ile durdurulabileceği gösterilmiştir. Görüleceği üzere, bir alfa taneciğini durdurmak için bir kağıt yeterli olurken, bir nötronu durdurmak için kalın bir kurşun metal levhası etkinlik gösterememektedir. Netice olarak, radyasyon kaynağı ile onu soğuracak malzeme tipi arasında mutlak suretle bir denge kurulması gerektiği çok açıktır.



Şekil 3.2 Farklı malzeme tiplerinin, farklı ışımalara karşı gösterdikleri radyasyon koruması.

Yüksek enerjiye sahip ekipman ve cihazların ileri teknolojiyi elde etme açısından sağladığı üstünlükler düşünüldüğünde, radyasyon yayılımlarının (alfa- α , beta- β , gama- γ , vd.) hayatımızdan hiç çıkamayacağı çok açıktır. Buradan hareketle, yüksek enerjiye sahip ve iyonize olan ışımalara sebep olan ekipman ve cihazlara bağımlılık konusu bu alanda karşılaşılmaması muhtemel zararlı etkileri ortadan kaldırmayı zorunlu kılmıştır (Kaur vd. 2020). Bilindiği üzere, radyasyon kaynaklı zararlı ışımlar, örneğin α , β , veya γ , insan sağlığı açısından oldukça tehlikelidir (Al-Hadeethi ve Tijani 2019). Maruz kalınan dozun şiddeti, süresi ve mesafesi karşılaşılabilecek sağlık sorunlarının temelini teşkil eder (Altunsoy vd. 2020). Örneğin, tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde bulunan yüksek ışıma özelliğine sahip Röntgen ve/veya PET/ CT gibi cihazların çalışan operatörlere ve etrafındaki hastalara olumsuz etkileri bulunur. Sıklıkla deri yanıkları, göz kurumaları, gen mutasyonları ve hatta cilt kanseri gibi sağlık problemleri ile karşılaşılır (Gaikwad vd. 2019, Kavaz vd. 2020, Uosif vd. 2020). Netice olarak, radyasyon yayılımlarına sahip ekipman ve cihazların sağladığı teknolojik üstünlükler ve kolaylıklar hayatımızın bir parçası olmakta, bu nedenle de zararlı ışımların etkilerinden kurtulmak için ise koruyucu tedbirler alınması gerektiği bilinmektedir. Bu noktada, radyasyon soğurucu malzemelerin kullanımı zorunlu hale gelerek zararlı ışımların etkileri ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır.

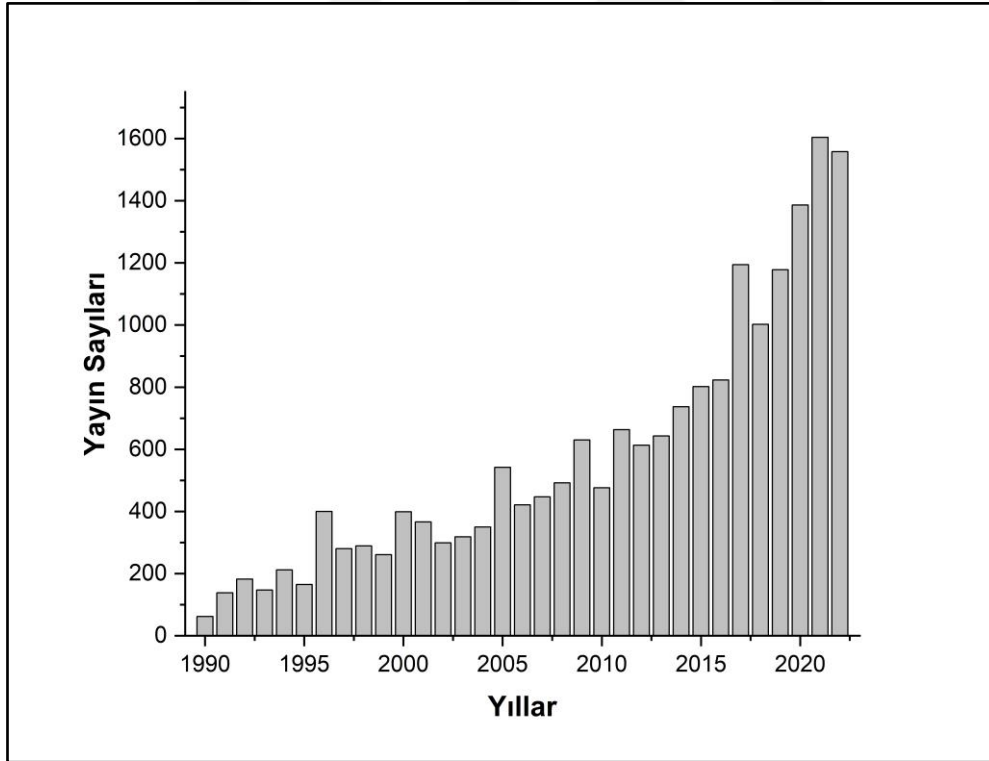
Radyasyon soğurucu malzemeler alanında 19 yy'den bu zamana kurşun metali kullanılagelmiştir. Kurşun metalinin sağladığı yüksek yoğunluk (11.32 g.cm^{-3}), iri atom çapı ($2.02 \text{ \AA}$), iyi soğurma kabiliyeti ve kolay şekillendirilebilme özelliği nedeniyle geleneksel olarak tercih edilmiştir. Özellikle, iyonize olan ışımalara sahip ekipman ve cihazların bulunacağı alanların yapısal duvarları, taban ve tavan kısımları ile varsa giriş/çıkış kapılarının kurşun metali ile kaplanması yapılmaktadır. Böylelikle de α , β veya γ gibi iyonize olan ışımların soğurulması ve zamanla enerjilerinin soğurulması gerçekleştirilir. Her ne kadar kurşun metali hala daha yaygın etkide kullanım alanı bulsa da kurşun metalinin hem insan sağlığına hem de çevreye oldukça fazla zararlı etkisi bulunur (Issa vd. 2019b, D'Souza vd. 2020). Bu etkiler, yapılan pek çok çalışma ile ortaya konulmuş ve bulgular ışığında zehirli bir etkisinin bulunduğu görülmüştür. İnsan vücuduna girdiğinde ağır metal olarak birikme yaptığı ve vücuttan atılamadığı görülürken, çevresel açıdan toprağa veya suya karıştığında zehirli etkisini gösterdiği

bulunmuştur. Bu nedenle, kurşun metalinin yerine alternatif malzemelerin arayışı tüm araştırmacıların gündemi olarak yer almıştır. İkame olarak beton malzemelerin üzerinde durulmuştur. Özellikle ağır agrega katkılı (örneğin, barit, atık çelik, vd.) betonların radyasyon soğurma özellikleri detaylıca incelenerek gerçek zamanlı kullanımlarının önü açılmıştır (Almeida Junior vd. 2017, Ouda 2015). Bina yapısal kısımlarının ve duvarlarının ağır agrega katkılı betonlar ile üretilmesi ve hatta kalınlık değerlerinin artırılarak etkinlik faktörünün iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Halihazırda, iyonize olan ışımalara sahip ekipman ve cihazların bulunduğu binalarda ağır agrega katkılı betonların kullanımı mevcuttur. Ancak, beton malzemelerin operasyonel güçlükleri (pompalama, vb.), kuruma-büzülme çatlakları, üretimsel süreçteki çevresel zararları ve kullanım esnasında su kaybetme eğilimleri gibi olumsuz teknik yönleri bulunur. Sonuç olarak, α , β veya γ gibi iyonize olan yüksek enerjili ışımaların zararlı etkilerini azaltmak ve ortadan kaldırmak maksadıyla hem kurşun metali hem de ağır agrega katkılı betonların birlikte kullanımı vardır. Fakat, bilindiği üzere anılan her iki malzeme tipi de mat bir görünüme sahiptir (Mann 2017). Yani, şeffaflığın zorunlu olduğu bir yerde kullanımları imkansızdır. Esasen, tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde bulunan Röntgen, mamografi, diş röntgeni, kemik dansimetresi, PET/ CT, vb. cihazların bulunduğu alanlarda mevzuat gereğince bir gözlem penceresinin bulunması gerektiği bildirilir. Bu noktada da şeffaf bir malzeme ihtiyacı bulunduğundan doğrudan cam malzemelerin kullanımı ön plana çıkar. Radyasyon kaynaklı zararlı ışımaların gözlem penceresi açıklığından ilgili oda dışına çıkmasının engellenmesi amacıyla fonksiyonel bir radyasyon soğurucu cam malzemeler üzerinde durulması elzem hale gelmiştir.

Cam, yüksek sıcaklıktan hızlı soğutma ile amorf yapıda elde edilen malzemedir (Zanotto ve Mauro 2017). Sağladığı şeffaf görünümün yanı sıra kompozisyonel esneklik, iyi mekanik direnç, kolay şekillendirilebilme, yüksek sıcaklıklara dayanım ve asit- baz direnci avantajları ile oldukça yaygın kullanım alanları bulur. Günlük kullanımlar olan bardak, şişe veya düz camdan ileri teknoloji uygulamalar olan lazer, ekran veya biyocamlara kadar oldukça geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Kullanım bulduğu ileri teknoloji alanlardan biri olan radyasyon soğurma, özellikle tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde önem kazanır (Almatari vd. 2019).

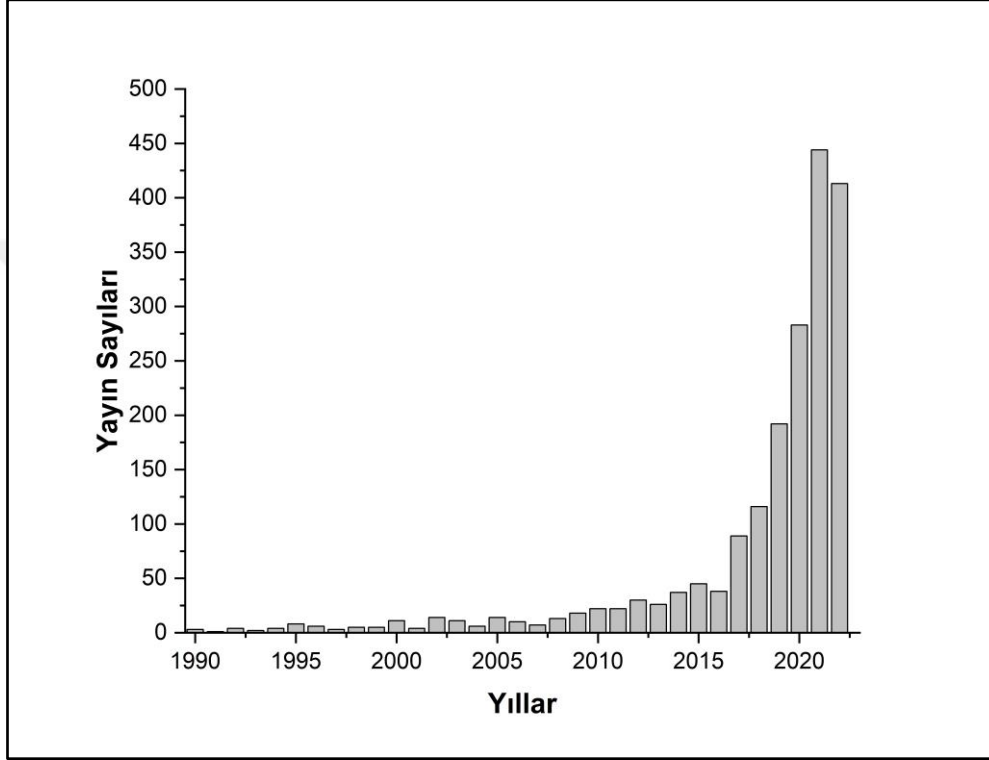
3.2 Web of Science Üzerinde Yapılan Analizler

Radyasyon soğurucu malzemeler üzerine yapılan çalışmalar yeni olmakla birlikte yaklaşık yarım asırlık bir geçmişe sahiptir. Özellikle de son yirmi yıllık dilimde çalışmalar bir hayli hızlanmıştır. Bunun sebebi olarak ise, ileri teknoloji uygulamaların hayata geçmesi ve yüksek enerjiye sahip cihaz ve ekipman kullanımının ön plana çıkmasıdır. Literatüre bakıldığında, tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezleri, araştırma enstitüleri, tahribatsız muayene merkezleri, nükleer güç üretim tesisleri gibi yerlerin bünyesinde kullanılacak radyasyon soğurucu malzemelerin üzerinde yoğunlukla durulduğu görülmektedir. Web of Science (İnt. Kyn. 4) veri tabanına 1990 ile 2022 yılları arasındaki zaman diliminde bakıldığında toplamda 19.079 adet radyasyon soğurucu malzeme çalışmasının yapıldığı görülmektedir. Çalışmaların yıllara göre dağılımı ise Şekil 3.3'te sunulmuştur. Yıldan yıla artan bir ilgi olduğu yapılan yayın çalışmalarından görülmektedir.



Şekil 3.3 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu malzeme alanında yıllara göre yapılan yayın sayıları

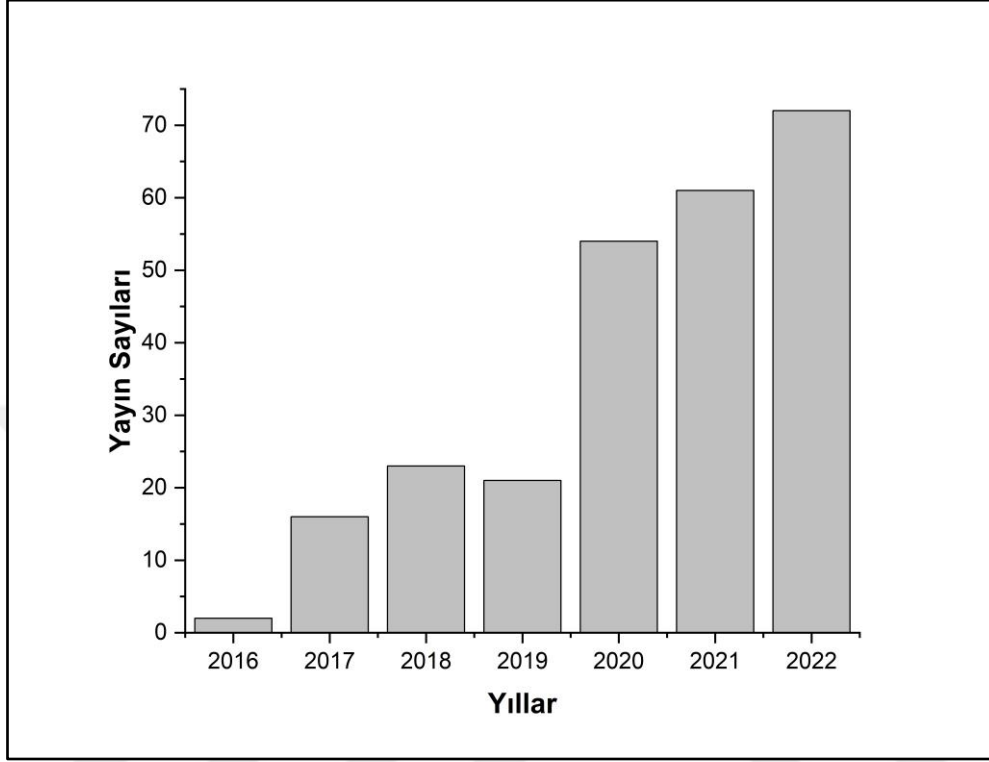
Öte yandan, radyasyon soğurucu malzeme alanında cam malzemelerin irdelenmesine dair yine Web of Science veri tabanında 1990 ile 2022 yılları arasında bir analiz yapılmıştır. Yapılan analize göre, toplamda 1.906 adet radyasyon soğurucu cam malzeme yayını olduğu tespit edilmiştir. Bu yayınların, yıllara göre dağılımı ise Şekil 3.4’te verilmiştir. Çok açıkça görülmektedir ki son 5 yılda yayın sayılarında üstel bir artış bulunur.



Şekil 3.4 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında yıllara göre yapılan yayın sayıları.

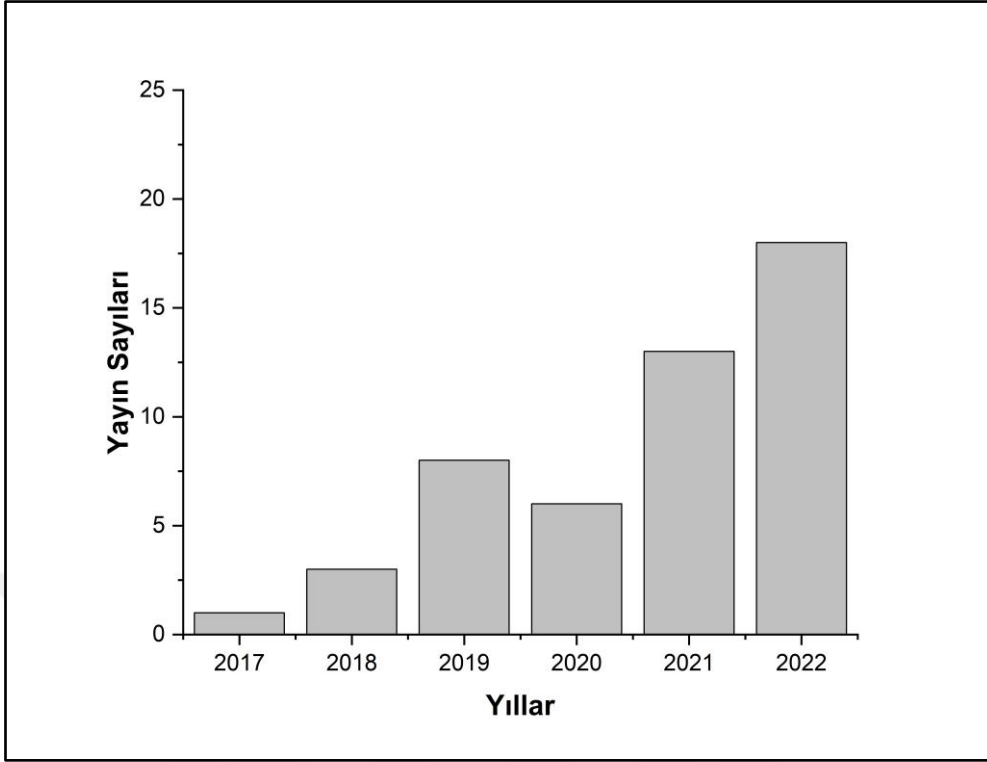
Web of Science veri tabanı dahilinde analizleri daha detaylandırmak maksadıyla radyasyon soğurucu cam malzemeler içinde tellürit esaslı cam sistemlerinin ne ölçüde irdelendiği, yürütülen doktora tezinin özgünlüğünü ve yenilikçi yönünü destekler nitelik sunacaktır. Yapılan çalışmalara bakıldığında, tellürit esaslı cam sistemlerinin radyasyon soğurucu cam malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması oldukça yeni bir durumdur. Öyle ki, ilk çalışmalar 2016 yılında başlatılmış ve halihazırda sürdürülmektedir. 2016 ile 2022 yılları arasında toplamda 249 adet yayın bulunduğu tespit edilmiş olup, bu yayınların yıllara göre değişimi Şekil 3.5 ile gösterilmiştir. Sürekli artan bir eğilimde olan tellürit esaslı cam sistem araştırmaları, özellikle 2020 yılında bir

tepe yapmıştır. Tellürit esaslı cam sistemlerinin sunduğu avantajlar düşünüldüğünde önümüzdeki yıllarda özgün kompozisyon çalışmalarının varolacağı açıktır.



Şekil 3.5 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında tellürit esaslı cam sistemleri için yıllara göre yapılan yayın sayıları.

Son olarak, yürütülen doktora çalışması dahilinde incelenen borotellürit cam sistemlerine dair Web of Science veritabanı içinde bir analiz yapılmıştır. Tellürit esaslı cam sistemlerinin irdelenmeye başlandığı 2017 yılı itibarıyla da borotellürit cam sistemleri merak konusu olmuştur. Toplamda 49 adet yayın yapıldığı görülürken, bu yayınların yıllara göre dağılımı Şekil 3.6'da verilmiştir. Gerek bor oksit içeriğinin nötron yakalamadaki üstün kabiliyeti gerekse tellür oksit bileşiminin sağladığı yüksek yoğunluk ve üçüncü-dördüncü-beşinci bileşen çözünürlüğü avantajları, borotellürit cam sistemini radyasyon soğurucu cam malzemeler alanında üstün kılan yönlerdir.



Şekil 3.6 Web of Science veri tabanında radyasyon soğurucu cam malzeme alanında tellürit esaslı cam sistemleri içinde borotellürit cam sisteminde yıllara göre yapılan yayın sayıları.

Web of Science veritabanı, yıllara göre radyasyon soğurucu malzemeler, cam malzemeler, tellürit cam sistemleri, ve borotellürit cam sistemleri açısından detaylı olarak incelenerek konunun önemi, özgünlüğü ve yenilikçi yönleri vurgulanabilmiştir. Bunlara ek olarak, radyasyon soğurucu cam malzemelerin, genel cam malzeme uygulamaları arasında bulunduğu yeri tayin etmek, konunun önemini destekler nitelikte olacaktır. Web of Science veritabanına göre 1975 ile 2022 yılları arasında cam malzemeler alanında toplamda 649.887 adet yayın ortaya çıkmıştır. Radyasyon soğurucu cam malzemeler üzerine 1.906 adet yayın olduğu göz önüne alınırsa yaklaşık olarak %0.29'luk kısmın bulunduğu görülür. Böylece, ilgili çalışma alanının nispeten bakir bir bölge olduğu ve aynı zamanda gelişen teknoloji ile birlikte öneminin günden güne arttığı düşünülürse bu alan kapsamında yapılacak çok gelişim olduğu ortaya çıkar.

Radyasyon soğurucu cam malzemelerin hem diğer soğurucu malzemeler hem de genel cam malzemeler arasında bulunduğu yere ilişkin nicel bilgiler açıkça sunulmuştur. Diğer

yandan, radyasyon soğurucu cam malzemeler üzerine yapılan bilimsel araştırmaların ne yönde gelişim gösterdiği yıllara ve yayın sayılarına göre detaylıca aktarılmıştır. İlgili konunun üzerinde durulması bilimsel açısından oldukça fazla yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı şekilde, ilgili alandaki eksikliği gidereceği ve radyasyon kaynaklı zararlı ışımaları önleme noktasında sorunları çözebileceğine inanılmaktadır. Bu noktada, konunun önemi ve sunacağı faydaların belirtilmesi akabinde, literatür kapsamında radyasyon soğurucu cam malzemeler alanında yapılan çalışmaların irdelenmesi alt başlıkta gerçekleştirilecektir.

3.3 Tellürit Cam Sistemleri Üzerine Literatür Değerlendirmeleri

Hem kurşun metali hem de ağır agrega katkılı beton malzemelerde olduğu gibi cam malzemelerin de radyasyon soğurucu nitelikte kullanılabilmeleri için yüksek yoğunluk değerine sahip olması istenir (Sayyed vd. 2019a). Böylelikle, gelen ışımanın enerjisinin soğurulması amaçlanır. Öte yandan, iri atom çapına sahip elementlerin varlığı da ışınamadde etkileşimi bakımından avantaj getirir (Kaewjaeng vd. 2019). Buradan hareketle, çeşitli cam sistemleri üzerinde durularak çalışmalar yürütülmüştür. Bu cam sistemleri incelendiğinde, ilk zamanlarda kurşun oksit (PbO) esaslı camların kullanıldığı görülür (Singh vd. 2008, Kirdsiri vd. 2011, Singh vd. 2014). Bunun nedeni, PbO içeriğinin sağladığı yüksek yoğunluk değeri (9.53 g.cm^{-3}) ve düşük sıcaklıklarda ($1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$) cam üretiminin sağlanması şeklinde verilebilir. PbO cam sistemine farklı oksit katkıları yapılarak (SiO_2 , Na_2O , BaO , CeO_2 , vb.) hem cam özelliklerinin iyileştirilmesi hem de radyasyon soğurma kabiliyetinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Literatür çalışmalarının sonucu olarak ticari ürünler (İnt. Kyn. 5) üretilmiş (Corning Med-X, Schott RS, vb.) ve fiili olarak tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde kullanımının önü açılmıştır. Fakat, kurşun oksit içeriğinin de kurşun metaline benzer şekilde zehirli etkisinin bulunması nedeniyle literatür çalışmaları son zamanlarda daha çok kurşun oksit içermeyen cam sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır.

Kurşun oksit içermeyen ancak nispeten yüksek yoğunluk değerlerine ulaşılabilen cam sistemleri olarak fosfat (P_2O_5), tellürit (TeO_2), vanadya (V_2O_5) ve germanyana (GeO_2) üzerinde çalışmalar yürütülmüştür (Issa vd. 2019a, El-Mallawany vd. 2017, Sayyed vd. 2020d, Al-Hadeethi vd. 2020g). Bu cam sistemleri arasında ise özellikle TeO_2 esaslı

camlar bir hayli dikkat çekmiştir. Fiziksel, kimyasal, ısı, optik, mekanik ve radyasyon soğurma özellikleri açısından değerlendirildiğinde TeO_2 esaslı camlar ön plana çıkmaktadır. Şöyle ki, yüksek yoğunluk değeri sağlama (5.67 g.cm^{-3}), geniş bant aralığı ($0.4\text{-}6.0 \mu\text{m}$), yüksek kırınım indisi (> 2.25), düşük sıcaklıklarda ergime ($700\text{-}800 \text{ }^\circ\text{C}$), yüksek iyon çözünürlüğüne olanak tanıma ve iyi mekanik direnç sağlama başlıca özellikleridir (Rammah vd. 2020d, Elmahroug vd 2018, Al-Hadeethi ve Sayyed 2020a). Kompozisyonel esnekliğe olanak tanınması nedeniyle de farklı oksit katkılarının yapılarak radyasyon soğurma kabiliyetlerinin iyileştirilebileceği bilinmektedir. Bu çerçevede, özellikle nötron soğurma kabiliyeti açısından oldukça iyi olan bor oksit (B_2O_3) katkısı oldukça önem taşır. Bilindiği üzere, düşük ergime sıcaklıkları ($400 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$), düşük ısı genleşme katsayısı ($2.5 - 3.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), iyi optik şeffaflık ve ülkemiz açısından ucuz ve kolay tedarik edilebilme durumları başlıca B_2O_3 avantajlarıdır (Singh vd. 2020, Prabhu vd. 2019, Kurtulus ve Kavas 2021). Bahsedilen TeO_2 ve B_2O_3 avantajları sonrası borotellürit (*BT*) cam sistemlerinin radyasyon soğurma kabiliyeti açısından durumu çeşitli araştırmacılar tarafından irdelenmiştir. *BT* cam sisteminde, esasen TeO_2 içeriği gama ışını gibi enerjileri soğurma maksadıyla kullanılırken B_2O_3 katkısı özellikle nötron gibi yüksek enerjilerin soğurulması amacını taşır. Buradan hareketle, Çizelge 3.1 dahilinde şu ana dek radyasyon soğurucu cam malzeme olarak tellürit cam sistemleri üzerine çalışmalarını yürüten bazı araştırmacıların, yaptığı çalışmalarda kullandıkları kompozisyonel tasarımlar özetlenmiştir.

Tellürit cam sistemleri bakımından sunulan literatür çalışmalarına yakından bakıldığında toplamda 90 adet olduğu saptanır. Bunlardan 38 tanesinin cam sentezlemeye sahip olduğu, 52 tanesinin ise teorik ve/veya simülasyon çalışmaları olduğu görülür. Özellikle, teorik ve/veya simülasyon çalışmaları kapsamında her bir oksit ve karşılık gelen yüzdelik değerleri esasen bir yaklaşım üzerinden ilerlemektedir. Şöyle ki, her ne kadar cam yapıcı, aradıkları ve akışkanlaştırıcılar göz önüne alınarak cam kompozisyonları oluşturulsa da, ilgili cam kompozisyonlarının gerçekte cam yapıp yapmayacağı ispat edilmemiştir. Böyle olunca da, radyasyon soğurucu cam malzemeler arasında hem cam sentezlemesi yapılan, hem spektroskopik ölçümleri gerçekleştirilen, hem de teorik ve/veya simülasyon çalışmalarına yer verilen araştırmalar kıymet taşımaktadır. Bu bağlamda, cam sentezlemesine sahip literatür çalışmaları üzerinden ilerleyiş sağlamak daha yararlı

olacaktır.

Tellürit esaslı cam sistemleri dahilinde yapılan cam sentezleme kapsamlı çalışmalarda, TeO_2 bileşim aralığının oldukça geniş yelpazede değişiyor olduğu görülür. Genel çerçevede ise, TeO_2 oranı molce % 50 ila 80 aralığında değişiklik gösterir. Bu noktada, araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmaların kapsamı ve bulunan sonuçların ne yönde olduğuna dair detay açıklamalar şu şekilde sunulabilir.

Sayyed vd. (2018a) tarafından $x\text{MeO}_{a/b} - (25 - x/2)\text{PbCl}_2 - (75 - x/2)\text{TeO}_2$, burada, ($\text{MeO}_{a/b} = \text{BiO}_{3/2}, \text{MoO}_3, \text{SbO}_{3/2}, \text{WO}_3, \text{ZnO}$ ve $x = 0$ ve $10 \text{ mol\%}$) cam sistemi yaklaşık 800°C civarında sentezlenmiştir. Her ne kadar kurşun türevi bir bileşime sahip olarak üretimsel süreç yürütülse de ilavesi yapılan ağır metal oksitlerin etkileri literatür bakımından kıymetli olmuştur. En yüksek yoğunluk değeri (5.98 g.cm^{-3}) WO_3 katkısı ile sağlanırken en düşük yoğunluk değeri (5.43 g.cm^{-3}) ZnO ilavesi ile elde edilmiştir. WO_3 bileşimi (7.16 g.cm^{-3}), PbCl_2 (5.85 g.cm^{-3}) bileşimine göre daha yüksek yoğunluk değerine sahip olduğundan toplam yoğunluğu arttırır yönde hareket ederken, ZnO bileşimi (5.61 g.cm^{-3}) daha düşük yoğunluk değerine sahip olduğundan genel cam yoğunluğu azalmıştır. Tüm bunların yanı sıra, radyasyon soğurma parametrelerinin teorik olarak gerçekleştirildiği bu çalışmada WO_3 katkılı cam sisteminin üstün özellikler gösterdiği bulunmuştur.

Lakshminarayana vd. (2018) tarafından $(60 - x - y)\text{TeO}_2 - 10\text{B}_2\text{O}_3 - 10\text{BaO} - 10\text{ZnO} - 10\text{Na}_2\text{O} - x\text{Er}_2\text{O}_3 - y\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ cam sisteminde, burada, molce % (i) ($x = 0.5, 1.0; y = 0$); (ii) ($x = 0; y = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$); ve (iii) ($x = 0.5, 1.0; y = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) olmak üzere araştırma yürütülmüştür. Sentezlenen cam serilerine FTIR, Raman spektroskopisi ve DSC karakterizasyon analizleri uygulanmakla birlikte teorik olarak XCOM ve simülasyon olarak MCNP-5 yöntemleri uygulanmıştır. Nadir toprak elementlerinin az oranda ilavesi ile özelliklerin olumlu yönde gelişebildiğini aktaran bu çalışmada, yoğunluk değerleri katkı oranlarına bağlı olarak 5.106 ila 5.402 g.cm^{-3} arasında değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte, üretilen cam serilerinin görünür ışık altında şeffaf görünüm sağlaması ve düşük yarı-değer katman (HVL) değeri sayesinde radyasyon soğurma kabiliyetinin iyileştirildiği rapor edilmiştir.

Gaikwad vd. (2019) tarafından $20\text{WO}_3\text{-}x\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}(80-x)\text{TeO}_2$, burada, ($x = 10, 15, 20$ ve $25 \text{ mol\%}$) cam sistemi incelenerek, Bi_2O_3 ilavesinin fiziksel, yapısal ve optik özellikler açısından etkileri incelenmiştir. Ağır metal oksitler arasında Bi_2O_3 bileşiminin oldukça önemli olduğu bilinmekle beraber, bunun ardında yüksek yoğunluk değeri (8.90 g.cm^{-3}) ve düşük erime sıcaklığı (817°C) bulunur. XRD yöntemi ile amorf yapının varlığı ortaya konmuş, fakat molce %25 Bi_2O_3 içeren cam sisteminde $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazı $2\theta = 27^\circ, 32^\circ, 46^\circ$ ve 54° dolaylarında saptanmıştır. Bununla birlikte, FTIR analizleri ana yapısal birimlerin TeO_4 , BiO_6 ve WO_4 olduğunu ortaya koymuştur. Gama-ışını enerjilerine karşı radyasyon soğurma kabiliyetinin araştırıldığı bu çalışmada, 356, 662, 1173 ve 1330 keV enerjileri kullanılmıştır. Nihayetinde, artan Bi_2O_3 oranının yarı-değer katmanı (HVL), kütle soğurma katsayısı (MAC) ve ortalama alınan yol (MFP) parametrelerini iyileştirdiği bulunmuştur.

Kaky vd. (2019) tarafından $[(60-x)\text{B}_2\text{O}_3\text{-}(10+x)\text{TeO}_2\text{-}10\text{ZnO}\text{-}10\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}5\text{Li}_2\text{O}\text{-}5\text{MgO}]$, burada, ($x: 0, 10, 20, 30, 40$, ve $50 \text{ mol\%}$), cam sistemi incelenerek borotellürit cam sistemleri hakkında faydalı veriler sunulmuştur. Özellikle B_2O_3 esaslı bir cam sisteminden TeO_2 esaslı bir cam sistemine geçiş bakımından yapısal değişimler X-ışını kırınımı (XRD) analizi tarafından sağlanmıştır. Diğer yandan, UV-Vis analizi ile soğurma eğrileri 200 - 800 nm dalgaboyu aralığında saptanmıştır. Netice olarak, artan TeO_2 oranı ile yapının amorf varlığını koruduğu tespit edilirken, soğurma özelliklerinin iyileştiği bulunmuştur. Ayrıca, yapılan teorik ve simülasyon radyasyon soğurma kabiliyetleri değerlendirildiğinde en iyi sonucu yüksek TeO_2 oranına sahip cam sisteminin sağladığı rapor edilmiştir.

Issa vd. (2017b) tarafından bir başka çalışmada $x\text{ZnO}\text{-}(100-x)\text{TeO}_2$ cam sistemi irdelenmiştir. Molce %10 ila 40 arasında değişen ZnO oranlarının ilave edilmesiyle elde edilen cam sistemleri 0.663, 1.173, ve 1.332 MeV gama-ışını enerjilerinde radyasyon soğurma açısından değerlendirilmiştir. $5.048\text{-}5.181 \text{ g.cm}^{-3}$ arasında değişen yoğunluk değerlerinin eldesi sayesinde gama-ışını enerjilerine karşı doğrusal soğurma katsayısı (LAC) iyileştirilmiştir.

Çelikkilek Ersundu vd. (2017a) tarafından $\text{K}_2\text{O}\text{-}\text{WO}_3\text{-}\text{TeO}_2$ üçlü cam sistemi

çalışılmıştır. Cam özellikleri bakımından yoğunluk, molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu, ortalama bağ yoğunluğu, Poisson oranı ve birim hacim başına düşen oksijen sayısı hesaplanmıştır. 4.50 ila 5.55 g.cm⁻³ arasında değişen yoğunluk değerleri bulunurken, K₂O ilavesi ile yapısal gevşemenin olduğu, TeO₂ ilavesiyle ise yapısal sıkılaşma olduğu tespit edilmiştir.

Sayyed vd. (2020a) tarafından bir borotellürit cam sistemi olan (80- x)TeO₂- xB₂O₃- 5ZnO- 5Li₂O₃- 10Bi₂O₃, burada, $30 \leq x \leq 80$ mol%) kompozisyonu geleneksel eriyikten cam elde etmek yöntemi ile üretilmiştir. B₂O₃ yerine TeO₂ bileşiminin eklenmesi ile birlikte genel cam yoğunluğu 4.40 g.cm⁻³ değerinden 6.15 g.cm⁻³ değerine yükseltilmiştir. Yapılan XRD analizi sonuçlarına göre tüm cam sistemlerinin kristal olmayan bir yapı gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, UV- Vis analizi ile 200- 500 nm dalgaboyu arasında soğurma eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen eğrilerin türetilmesi ile kırınım indisi ve doğrudan ve doğrudan olmayan enerji bant aralığı parametreleri hesaplanmıştır. Buna göre, artan TeO₂ oranının optik özellikleri iyileştirdiği ve kırınım indisi değerini arttırdığı bulunmuştur. Teorik olarak radyasyon soğurma özellikleri son zamanlarda ortaya çıkan ve oldukça kullanıcı dostu Phy-X/PSD yazılımı ile 0.015- 15 MeV foton enerji aralığında hesaplanmıştır. Doğrusal soğurma katsayısının (LAC) artan foton enerjileri karşısında azalan bir eğilim gösterdiği bulunurken artan TeO₂ oranının bu düşüşü azaltma yönünde etkide bulunduğu rapor edilmiştir.

Lakshminarayana vd. (2017b) tarafından 10B₂O₃- 60TeO₂- 10MoO₃- 10ZnO- 10MO, burada, (MO: Li₂O, Na₂O, K₂O, MgO, CaO, ve PbO), sistemi üzerinde durulmuştur. XPS analiz yöntemi ile datay olarak bağ tipleri ve bağ enerjilerine dair hesaplamalar yürütülmüştür. Özellikle, bağlı oksijen atomları, bağlı olmayan oksijen atomları, ve TeO₄ ile TeO₃/ TeO₃₊₁ yapısal birimlerinin tespiti bakımından yapılan çalışma önem taşımaktadır.

Issa ve Mostafa (2017a) tarafından 15SiO - (80- x)B₂O₃- 5TeO₂- xBi₂O₃ sistemi irdelenerek gama-ışını soğurucu cam malzeme olarak kullanımı araştırılmıştır. Tüm amorf yapıda elde edilen cam sistemlerinin yoğunluk değerleri 4.977- 5.775 g.cm⁻³ aralığında değişkenlik göstermiştir. Artan Bi₂O₃ oranı ile yoğunluk değerlerinin artması

sayesinde gama-ışını spektrometresi vasıtasıyla önde gelen radyasyon soğurma parametrelerinin geliştirildiği rapor edilmiştir.

Ersundu vd. (2018) tarafından $10\text{WO}_3\text{-}x\text{MoO}_3\text{-}(90-x)\text{TeO}_2$, burada, ($x=10\text{--}40\text{ mol\%}$), cam sistemi incelenmiştir. Bilindiği üzere A. E. Ersundu tarafından çok farklı tellürit esaslı cam sistemleri irdelenmiş ve oldukça kıymetli öncül bilgiler literatüre kazandırılmıştır. Yapılan bu çalışma kapsamında ise, cam sistemleri yine $800\text{ }^\circ\text{C}$ civarında 15 dakika ergitilmiş, ve sonrasında da tavlama süreci yürütülmüştür. Artan MoO_3 oranı ile birlikte genel cam yoğunluğunun 5.627 'den 5.111 g.cm^{-3} değerine düştüğü saptanmıştır. Öte yandan, üretilen cam sistemleri 81, 276, 303, 356 ve 384 keV foton enerjilerinde deneysel olarak radyasyon soğurma kabiliyetleri bakımından değerlendirilmiştir. Artan foton enerjileri karşısında en iyi kütle soğurma katsayısı değerini (MAC) $10\text{WO}_3\text{-}10\text{MoO}_3\text{-}80\text{TeO}_2$ cam sistemi sağlarken, en düşük değeri $10\text{WO}_3\text{-}40\text{MoO}_3\text{-}50\text{TeO}_2$ cam sistemi vermiştir.

Halimah vd. (2019) tarafından $[(\text{TeO}_2)_{0.7}(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.3}]_{1-x}(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x$, burada, ($x=0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ ve $0.30\text{ mol\%}$), cam sistemi, borotellürit cam sisteminin anlaşılması bakımından önemli olmuştur. Özellikle, değişen Bi_2O_3 oranının özellikleri ne yönde etkilediği belirlenmiştir. $900\text{ }^\circ\text{C}$ civarında ergitilen cam karışımı paslanmaz çelik kalıba dökülerek $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tavlانmıştır. Sentezlenen tüm cam serileri amorf bir yapı varlığı gösterirken, artan Bi_2O_3 ilavesinin genel cam yoğunluğunu 3.172 'den 6.243 g.cm^{-3} değerine çıkardığı bulunmuştur. Ayrıca, ^{137}Cs radyoaktivite kaynağı kullanılarak, üretilen cam serilerinin 0.662 MeV foton enerjisinde gösterdiği özellikler tayin edilmiştir. Netice olarak, yüksek Bi_2O_3 varlığının radyasyon soğurma karakteristiklerini oldukça iyi bir şekilde iyileştirdiği, bu sayede de bazı ticari cam ürünler ve yaygın kullanılan ağır beton malzemeler ile kıyaslandığında fazlasıyla potansiyel sunduğu çıkarımı yapılmıştır.

Naseer vd. (2021) tarafından baryum-borotellürit cam sistemi dahilinde Bi_2O_3 ilavesinin etkileri $20\text{TeO}_2 + (50-x)\text{B}_2\text{O}_3 + 29.5\text{BaO} + x\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0.5\text{Er}_2\text{O}_3$, burada, ($x=0, 5, 10, 15$ ve $20\text{ ağırlık\%}$), cam sistemi kullanılarak tayin edilmiştir. Her bir cam karışımının 15 gram olarak alındığı çalışmada ergitme sıcaklığı olarak bir elektrik rezistanslı fırın ile $950\text{ }^\circ\text{C}$ kullanılmıştır. Yapılan çalışma dahilinde, XRD analizi ile amorf yapının varlığı tespit

edilirken, FTIR analizi ile bağlar hakkında bilgileri sağlanmıştır. Te-O-Te, Bi-O, ve B-O-B bağlarının farklı dalgaboyu değerlerinde bulunduğu gösterilmiştir. Ayrıca, yapısal özellikler bakımından molar hacim, oksijen molar hacim, oksijen paketlenme yoğunluğu ve bor-bor ayrışma mesafesi gibi özellikler hesaplanmıştır. Yoğunluk değeri bakımından, 4.55 ila 6.92 g.cm⁻³ arasında değişen değerler bulunmuştur. Bununla birlikte, teorik olarak WinXCom ve simülasyon olarak MCNP-5 kodlarının kullanılması ile radyasyon soğurma kabiliyetleri irdelenmiştir. Bunun neticesinde, teorik ve simülasyon bulgularının paralellik gösterdiği ortaya konulurken, en iyi sonuçları yüksek Bi₂O₃ oranına sahip cam sisteminin sağladığı rapor edilmiştir.



Çizelge 3.1 Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Referans	Sayed (2016)	Sayed vd. (2017b)	Sayed (2017)	Sayed (2017a)	Issa vd. (2017a)	Dong vd. (2017)	Lakshminar vd. (2017a)	Issa vd. (2017b)	Çelikbilek vd. (2017a)	Lakshminar vd. 2(018)
SiO ₂	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	30-x	x	-	-	80-x	-	10	-	-	10
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	x:20	-	x	x:10	-	-	-
Bi ₂ O ₃	x	x	1	-	x	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	60	100-x	69	80-x	5	60	60	100-x	90-x-y	60-x-y
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	x: 10	-	-	-
Na ₂ O	-	-	5	-	-	-	x: 10	-	-	10
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	x: 10	-	5+x	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	x:20	-	-	x: 10	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	x: 10	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	x:20	-	-	-	-	-	10
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	x:20	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	x:20	-	-	10	x	x	10
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	10	-	-	40-x	-	-	5+y	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Nb ₂ O ₅	-	-	-	x:20	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Referans	Sayed (2018a)	Ersundu vd. (2018)	Tijani vd. (2018)	Tekin vd. (2018)	Gaikwad vd. (2018)	Sayed (2018b)	Sayed vd. 2018d)	Elmahrou vd. (2018)	Al-Buriah vd. (2019)	Rammah (2019)
SiO ₂	-	-	-	30-x	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	15	-	25	-	-	-	x
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	x: 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	5+x	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	47-x-y	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	25-x	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Bi ₂ O ₃	x: 10	-	-	50+x	-	20	-	y	-	5
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	75-x	90-x	80-x	5	80-x	55	75	53+x	86,4-x-y	85-x
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	x: 10	-	20	-	-	-	-	-	9,6+x	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	x: 10	10	-	-	20	-	20-x	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	x: 10	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Referans	Tijani vd. (2019)	AlHadeeth (2019)	Kaky vd. (2019)	Gaikwad vd. (2019)	Lakshmina vd. (2019)	Vani vd. (2019)	Halimah vd. (2019)	Sayyed vd. (2019b)	Agar vd. (2019)	Aşkın vd. (2019)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	30	-	60-x	-	50-x-y	-	30-x	-	-	10-x
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	10	-	40-x
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	x	-	-	10	-	-	-	-	-
Bi ₂ O ₃	40+x	-	-	x	-	-	x	x	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	30-x	100-x	10+x	80-x	10	80-x-y	70	70-x	75	x
Li ₂ O	-	-	5	-	10	-	-	10	5	-
Na ₂ O	-	-	-	-	10	-	-	-	-	50-x
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	10	-	10	-	-	10	10	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	y	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	10-x	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Referans	Kamisliog vd. (2020)	AlHadeeth (2020b)	Laariedh vd. (2020)	Sayyed vd.	Lakshmin vd.(2020c)	AlHadeeth vd.(2020c)	AlHadeeth vd.(2020b)	Lakshmin vd.(2020d)	Al-Buriahi vd. (2020)	Altowyan vd. (2020)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	25	-	-	30-x	-	x	-	-	60-x
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	x	x	-	-	x	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	-	18-x	y	-
Bi ₂ O ₃	-	20	-	-	x	22-x	5	4+x	-	5
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	x	55-x	100-x-y	60	70-x	60	85-x	68	100-x-y	25+x
Li ₂ O	100-x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	y	35-x	-	-	-	10	x	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Referans	AlHadeeth vd.(2020d)	AlHadeeth vd.(2020f)	Al-Buriah vd. (2020b)	Al-Buriah vd.(2020a)	AlHadeeth vd.(2020h)	Al-Buriah vd.(2020b)	Divina vd.(2020a)	Stalin vd. (2020)	Alalawi vd. (2020)	Mallawan vd. (2020)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	-	60-0.6x	10	-	-	30	10	-	-
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	42-x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	y	-	-	-
Bi ₂ O ₃	-	-	-	40+x	-	-	-	40+x	x	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	28+x	75	x	50-x	65	96-x	30	40-x	100-x	80-x
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
Na ₂ O	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	30-0.4x	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	y	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	y	-	-	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	15	-	-	-	x	y	-	-	x
CdO	-	-	-	-	-	-	y	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	10-x	-	-	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Referans	Eshghi (2020)	Rammah vd (2020c)	Kavaz vd (2020)	Issa vd (2020)	Sayed vd(2020d)	Rammah vd.(2020a)	Rammah vd(2020b)	Kaky vd(2020b)	Mallawan vd. (2020)	Boukhris vd. (2020b)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	65	-	-	30-x	-	-	-	-	-	-
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	41,7-x	x	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	60-y	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi ₂ O ₃	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	13	85-x	75-x	70	40	70-x	41,7+x	75-x	30-x	75
Li ₂ O	-	15	-	-	-	-	-	-	70+x	5
Na ₂ O	10-x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	y	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	x	25-x	-	-	30-x	-	13	-	10
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-
WO ₃	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10-x
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Referans	Al-Buriah vd.(2020c)	Kaky vd.(2020a)	Rammah vd.(2020d)	Rammah vd.(2020e)	Sayed vd.(2020c)	Boonin vd. (2020)	Hendi vd. (2020)	Somaily vd. (2020)	Sayed vd.(2020a)	Boukhris vd. (2021)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
GeO ₂	-	x	-	-	10	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	50-x	-	-	45-x	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
Bi ₂ O ₃	-	-	-	x	x	-	5+x	-	10	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	75	70-x	80	50	60-x	90-x	50	90-x	80-x	80-x
Li ₂ O	-	10	-	-	-	-	-	-	5	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	10	x	-	-	-	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	15	20	16-x	-	20	10	-	x	5	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	10-x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Referans	Somaily vd. (2021)	Naseer vd. (2021)	An vd. (2021)	Tekin vd. (2021)	Kaur vd. (2021)	Kilic vd.(2021c)	Vedavyas vd. (2021)	Rammah vd. (2021)	Naseer vd. (2021)	Mallawan vd. (2022)
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B ₂ O ₃	-	50-x	56-x	49-x	20-x	25-x	69-x	24	50-x	20+x
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	50-x	-	-	-	-	0	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	15	-	-	20	-	-	-
Bi ₂ O ₃	-	x	-	-	-	-	-	-	x	10
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	50	20	11+x	35	70	75	10	51	20	60-x
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	x	-	19	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	30	-	-	-	-	-	-	30	-
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	8	-	10	-	-	25-x	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	1	-	-	x	-	-	x	1	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.1 (Devam) Tellürit cam sistemleri üzerine yapılan çalışmaların detay bilgileri.

Sıra No	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Referans	Mhareb vd. (2022a)	AlHadeeth vd. (2022)	Alzahrani vd.(2022a)	Nazrin vd. (2022)	Abdelgha vd. (2022)	Geidam vd. (2022)	Mhareb vd(2022b)	Tekin vd.(2022a)	Ilık vd. (2022)	Tekin vd(2022b)
SiO ₂	-	20-x	-	-	-	20-x	-	-	-	-
B ₂ O ₃	70-x	24-x	21-x	15-x	60	24-x	35	15	30	60-x
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sb ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Bi ₂ O ₃	-	x	-	-	-	x	-	-	-	5
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	x	56-x	70-x	85-x	20	56-x	35	75	50	x
Li ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	20-x	5
Na ₂ O	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	10-x	-	-	-	-	-
SrO	10	-	x	-	-	-	10	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	x	-	-	5
Sc ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
Ag ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	9-x	-	-	-	x	-	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sm ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Er ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	10-x	-	-
MoO ₃	10	-	-	-	-	-	x	-	-	-
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-

3.4 Literatür Sonrası Değerlendirmeler

Görüldüğü üzere, literatür bakımından az sayıdaki çalışmanın literatüre sağladığı katkıların niteliği belirli çalışmaların irdelenmesi ile ortaya konulmuştur. Farklı B_2O_3 ve TeO_2 oranlarının fiziksel, yapısal, optik ve radyasyon soğurma özellikleri bakımından etkileri sunulmuştur. Bununla beraber, farklı ağır metal oksit ilavelerin genel cam özelliklerini ne yönde etkilediği açıklanmıştır. Tüm bu literatür değerlendirmelerinin neticesinde aşağıda maddeler halinde sunulan çıkarımlar yapılmış, ve buradan hareketle de ilgili doktora çalışmasının özgünlüğü, yenilikçi yönü ve literatüre faydası değerlendirilerek çalışmanın kapsamı vurgulanmıştır.

- i. Borotellürit cam sistemi sayesinde yüksek yoğunluk eldesinin ($> 5.00 \text{ g.cm}^{-3}$) oldukça mümkün olduğu, bu sayede de radyasyon soğurma yetkinliklerinin iyi bir düzeyde iyileştirildiği açıktır.
- ii. Borotellürit cam sistemi dahilinde her ne kadar farklı kompozisyonel bileşimler elde edilebiliyor olsa da, genel manada B_2O_3 için molce %0 ila 40 arasında değişen oranlar bulunmuştur. TeO_2 açısından ise molce %50 ila 90 arasında değerlerin izlendiği görülmüştür. Bu durumda, ikili borotellürit cam sistemi bakımından daha yüksek yoğunluk değerlerinin korunabilmesi adına TeO_2 oranının molce %60'tan büyük olarak kullanılması makul görülmüştür.
- iii. Ticari cam kompozisyonları ve/ veya yaygın kullanılan camların ergitme sıcaklıklarının aksine ($> 1400 \text{ }^\circ\text{C}$) borotellürit cam sisteminin, katkılara bağlı olarak, yaklaşık 650 ila 850 $^\circ\text{C}$ aralığında ergitme sıcaklıklarına sahip olduğu görülmüştür. Bu durum sayesinde, daha düşük enerjilere ihtiyaç duyulacağı ve seragazı salınımı bakımından düşük değerlerin olacağı açıktır.
- iv. Yapısal bakımdan amorf yapının elde edilebilirliği farklı oranlarda oldukça mümkün olmakla birlikte, B_2O_3 ve TeO_2 için bazı limitler olduğu görülmektedir. Ayrıca, farklı ağır metal oksit ilavelerin cam ağ yapısı içinde çözünebilir olduğu ve üçlü ve/ veya dörtlü cam sistemleri elde etmenin mümkün olduğu bulunmuştur.

- v. Optik özellikler açısından borotellürit cam sistemi dahilinde yüksek TeO_2 oranı olması olumlu etkiler sunmaktadır. Özellikle, yüksek kırınım indisi ve geniş enerji bant aralığı elde edilmesi bakımından TeO_2 oranı molce %60'tan büyük olarak tutulmalıdır.
- vi. Bağ yapıların tespiti bakımından FT- IR analiz yönteminin kullanılması mevcut bağlar hakkında bilgiler sunar. BO_3/ BO_4 ve TeO_4 yapısal birimlerinin saptanması bakımından oldukça önemli olduğu görülmüştür. Özellikle artan TeO_2 oranı ile cam yapıcı bileşimsel değişiklik nedeniyle yapı içerisinde düzensizlik seviyesinin arttığı görülmüştür.
- vii. Radyasyon soğurma yetkinliklerinin tayin edilmesi için deneysel, teorik ve simülasyon çalışmalarının yapıldığı görülür. Özellikle, yüksek enerjili gama ışınlar karşısında borotellürit cam sisteminin üstün özellikler gösterdiği gerek ticari ürünler gerekse mevcut ağır beton malzemeler ile kıyaslandığında ortaya çıkmaktadır. Deneysel ölçümler esnasında, ^{130}Ba , ^{137}Cs ve ^{60}Co gibi radyoaktivite kaynaklarının kullanılabildiği, bunlar sayesinde de 81, 276, 303, 356, 384, 662, 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerindeki radyasyon soğurma kabiliyetindeki değişimler saptanabilmektedir. Teorik hesaplamalarda ise XCOM, WinXCom ve Phy-X/PSD gibi yazılımların kullanıldığı görülür. Bu hesaplamalar dahilinde ihtiyaç olunan bilgiler camın kimyasal kompozisyonu ile yoğunluk değerlerinin bilinmesidir. Geniş foton enerjisi aralığında, örneğin 1 keV- 1 GeV, özelliklerin değişimi anlaşılabilmektedir. Simülasyon çalışmaları kapsamında ise yaygın olarak Monte Carlo kodu (MCNP-5 ve/ veya MCNP-X) kullanılırken son zamanlarda FLUKA ve Geant4 isimli kodlamaların da kullanıldığı görülür. Simülasyon çalışmaları kapsamında deneysel kurulum dahilinde olan radyoaktif kaynak, dedektör, kurşun soğurucular, vb. parametrelere yer verilerek kimyasal bileşimi ve yoğunluk değerleri bilinen cam sistemlerinin radyasyon soğurma özellikleri ortaya konulur.

Literatür çalışmaları sonrasında elde edilen bilgi birikimi ışığında borotellürit cam sisteminin diğer cam sistemlerine kıyasla oldukça önemli bir yere sahip olduğu açıkça görülür. Yürütülecek doktora tezi çalışmaları kapsamında elde edilecek özgünlük, yenilikçi yönler ve literatüre katkısı ise şu şekilde özetlenebilir:

- i. *Özgünlüğü:* Borotellürit (BT) cam sistemine katılan Bi_2O_3 , Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , ve Sm_2O_3 ilavelerinin radyasyon soğurma kabiliyeti açısından kısmen araştırılması nedeniyle, literatürde bulunan boşluğun kapatılması,
- ii. *Bilimsel niteliği:* Kısıtlı sayıda borotellürit cam sistemi çalışmalarının bulunması nedeniyle her bir çıktının bilgi birikimine sağlayacağı katkı,
- iii. *Farklılığı ve yeniliği:* Özgün ve yenilikçi bir cam kompozisyonu ile kurşun oksit içermeyen borotellürit cam sisteminin literatür çalışmalarından ayrışması,
- iv. *Alandaki eksikliği giderme:* Kurşun oksit katkısız radyasyon soğurucu cam malzemelerin üretilmesi ve tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde, araştırma enstitülerinde, endüstriyel uygulamalarda ve nükleer enerji tesislerinde kullanımının önünün açılması,
- v. *Kavramsal, kuramsal ve metodolojik katkı:* Borotellürit cam sisteminin Bi_2O_3 , Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , ve Sm_2O_3 ilaveleri ile radyasyon soğurma yeterliliklerinin deneysel ve teorik olarak tespiti ve tasarlanan özgün cam reçetesi ile patentlenebilir ticari nitelikte radyasyon soğurucu cam malzemenin üretilmesi.

3.5 Tezin Amaç ve Hedefleri

Yürütülecek olan doktora tezi kapsamında borotellürit ikili cam sisteminin oranlarının belirlenmesi sonrası üçlü ve dörtlü cam sistemlerinin oluşturulması üzerine bir çalışma izlenecektir. Bu çalışma ile, sentezlenen cam serilerinin fiziksel, yapısal, ısı, optik ve radyasyon soğurma özellikleri bakımından durumu irdelenecektir. Buradan hareketle,

anılan doktora tezinin temelde 3 amacı bulunmaktadır:

- i. Literatüre dahilinde kısıtlı bulunan borotellürit cam sistemi çalışmalarının sistematik olarak ilgili doktora tezinde çalışılması ve üçlü ve dörtlü sistemlerin irdelenerek farklı cam kompozisyonlarının sentezlenmesi,
- ii. Ulusal düzeyde üretimi yapılmayan ve direk ithalat yolu ile tedarik edilen radyasyon soğurucu cam malzemelerin, yürütülecek doktora tezi doğrultusunda özgün ve yenilikçi cam kompozisyonu ile tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde, araştırma enstitülerinde, endüstriyel uygulamalarda ve nükleer enerji tesislerinde kullanılmak üzere üretiminin sağlanması,
- iii. Sentezlenen cam serilerinin sistematik olarak fiziksel, yapısal, ısıl, optik ve radyasyon soğurma kabiliyetleri bakımından (gama ve nötron) irdelenerek optimum reçetelerin ortaya çıkarılması.

Verilen 3 temel amaca ulaşmak maksadıyla aşağıda listelenen 5 temel hedef ortaya konulmuştur:

- i. $x\text{B}_2\text{O}_3$ - $(100-x)\text{TeO}_2$ ikili cam sisteminde optimum x oranının saptanması, sonrasında, $y\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $[(100-y)(x\text{B}_2\text{O}_3-(100-x)\text{TeO}_2)]$ sisteminde optimum y oranının saptanması, son olarak ise, $(100-z)[y\text{Bi}_2\text{O}_3-((100-y)(x\text{B}_2\text{O}_3-(100-x)\text{TeO}_2))]-z\text{HMO}$, sisteminde z : molce %5, oranının farklı HMO'lara göre (HMO : Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , Sm_2O_3) cam sistemlerinin sentezlenmesi,
- ii. Amorf yapıya sahip olacak nitelikte borotellürit esaslı cam sistemlerini üretmek,
- iii. En az 5.00 g.cm^{-3} yoğunluk değerine sahip olan borotellürit esaslı cam sistemlerini elde etmek, artan katkı oranları ile bu değeri en az 5.50 g.cm^{-3} değerine taşımak,

- iv. 662, 1173 ve 1332 keV gama ışını enerji seviyelerinde en az, sırasıyla, 0.45, 0.30 ve 0.25 cm⁻¹ değerlerinde doğrusal soğurma katsayısı (*LAC*) elde etmek, böylelikle ticari ürün spesifikasyonlarını sağlamak,
- v. Düşük ergime noktasına sahip (650- 850 °C), yüksek kırınım indisli (> 2.25), düşük enerji bant aralığı olan (< 3.5 eV) ve görünür ışıktaki yüksek şeffaflık sunan (geçirim > 85%) borotellürit esaslı cam sistemlerini elde etmek.



4. MATERİYAL ve METOT

4.1 Deney Akım Şeması

Çalışılması planlanan borotellürit (BT) cam sistemlerinin formülasyonları, literatür araştırmaları ışığında belirlenerek, detayları bir önceki başlıklarda verildi. Belirlenen amaç ve hedeflere erişim kapsamında Şekil 4.1’de verilen akım şemasının takibi sağlandı. Akım şeması temelde 5 adımdan oluşmaktadır: *harman hazırlama, ergitme süreçleri, şekillendirme, tavlama ve karakterizasyon çalışmaları*. İlerleyiş dahilinde literatür takibi her aşamada yapılmış olup güncel çalışmalar ise sürekli incelendi.



Şekil 4.1 Deney akım şeması.

4.2 Cam Serilerinin Hazırlanması

Doktora tezine konu cam sistemlerinin hazırlanması aşamalarında temelde 3 farklı adım takip edildi. Öncelikle, borotellürit (BT) ikili cam sistemi sentezlenerek ideal bileşime karar verildi. Sonrasında, BT cam sistemi içerisine farklı oranlarda bizmut oksit (Bi_2O_3) ilavesi yapılarak ideal bir bizmut-borotellürit (BBT) cam sistemine karar kılındı. Son olarak ise, farklı ağır oksit (HMO) ilaveleri BBT cam sistemine ilave edilerek, dörtlü BBT-HMO cam sistemleri sentezlendi ve en iyi özellik gösteren cam sistemi seçildi. İlgili aşamalara dair süreçler her bir cam sistemi için ayrı başlıklar halinde aşağıda verildiği üzere sunuldu.

4.2.1 Borotellürit (BT) İkili Cam Sistemlerinin Hazırlanması

Yürütülen doktora tezi kapsamında öncelikle ikili borotellürit sistemi (B_2O_3 - TeO_2) üzerine bir inceleme yapılması düşünüldü. Böylelikle, her 2 bileşen için cam oluşturma kabiliyeti, amorf yapının varlığı ve yüksek yoğunluk değeri kriterleri ışığında neticeler ortaya konulabilecekti. Çizelge 4.1, bor oksit (B_2O_3) ve tellür oksit (TeO_2) bileşenleri için moleküler ağırlık, ergime sıcaklığı, kristal yapıları ve yoğunluk hakkında bilgileri özetlemektedir.

Çizelge 4.1 TeO_2 ve B_2O_3 bileşenleri için bazı bilgiler.

Oksit adı	Moleküler ağırlığı ($g.mol^{-1}$)	Ergime sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Kristal yapısı	Yoğunluk ($g.cm^{-3}$)
Tellür oksit (TeO_2)	159.60	733	α -tetragonal	5.67
			β -ortorombik	6.04
Bor oksit (B_2O_3)	69.63	450	Amorf	2.46
			Trigonal	2.55
			Monoklinik	3.11

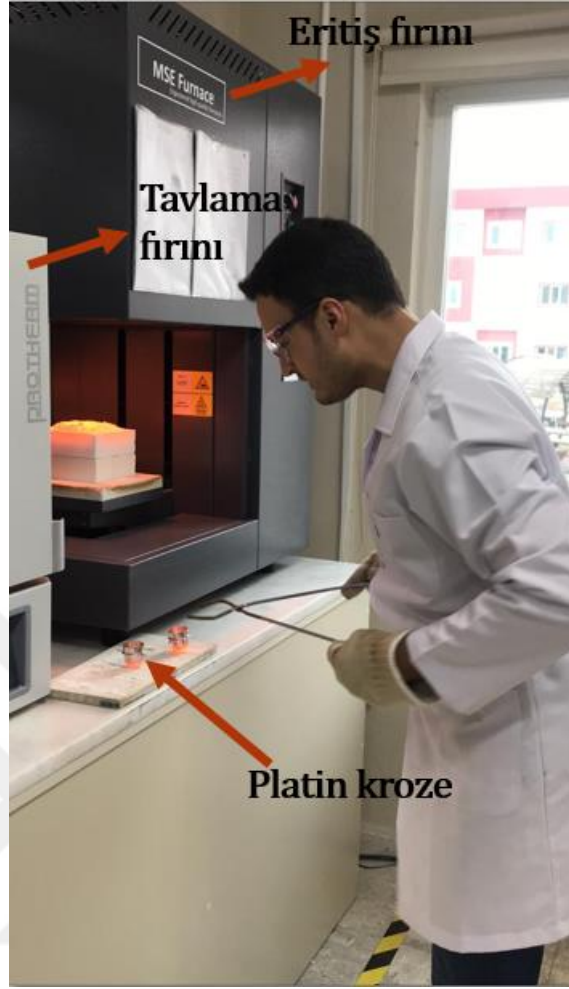
Her 2 bileşene ait bazı özelliklerin belirtilmesi sonrası, cam serilerinin hazırlanması için takip edilen reçete oranlarına değinmek gerekir. Reçete oranlarının belirlenmesi noktasında, literatür çalışmaları göz önüne alınmakla beraber mümkün olan en yüksek yoğunluk değerini yakalayabilmek amaçlandı. Bunun bir neticesi olarak, $x B_2O_3 - (100-x) TeO_2$, burada x : *molce* % 0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30, şeklinde bir cam reçete serisi oluşturuldu. Çizelge 4.2, deneysel sürecin yürütülmesinde kullanılan reçete oranlarını % ağırlık cinsinden gösterir. Numune kodları ise borotellürit cam sisteminin bir kısaltması olarak *BT* şeklinde başlatılırken, sayılar ilave edilen B_2O_3 oranını temsil eder.

Çizelge 4.2 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan *BT* serisi numunelerin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdelere.

Numune Kodu	B ₂ O ₃ (% ağı.)	TeO ₂ (% ağı.)
BT5	2.25	97.75
BT10	4.62	95.38
BT15	7.15	92.85
BT20	9.83	90.17
BT25	12.70	87.30
BT30	15.75	84.25

Reçete tasarımlarının oluşturulması sonrası kullanılacak olan oksit bileşenlerin tedariki gerçekleştirildi. Tellür oksit (TeO₂) yüksek saflıkta (% 99+) olarak Acros Organics ve bor oksit (B₂O₃) yüksek saflıkta (% 99.98) olarak Alfa Aesar firmalarından tedarik edildi. Deneysel süreçte, bir numunenin ağırlığı 10 gram olarak belirlendi ve bu doğrultuda karışım hazırlama aşamasına geçildi.

Öncelikle, her bir numune serisini sentezlemek için tayin edilen oksit bileşen miktarlarına göre analitik hassas terazi (Precisa, XB 220A, ± 0.0001 g) ile tartımlar yapıldı. Sonrasında, tartılan oksit bileşenler agat havan içinde belirli bir süre karıştırıldıktan sonra platin kroze (Au5- Pt95 alaşımlı) içine konuldu. Platin krozede bulunan harman karışımları ayrı ayrı olarak ergitme sürecine tabi tutuldu. Bu noktada, ergitme faaliyetlerini yürütmek için MSE marka, 1600 °C'ye çıkış kabiliyetli ve 5L hacimli bir elektrik rezistanslı asansörlü fırın kullanıldı. Ergitme sıcaklığı olarak 725 ila 775 °C arasındaki sıcaklıklar kullanıldı. Ortalama 8 ila 10 dakika fırın içerisinde bekletilen harman karışımı, daha sonra maşa yardımıyla tutularak dışarıya alındı kroze içinde soğumaya bırakıldı. Nihayetinde, elde edilen ürünler 250 ila 300 °C arasındaki sıcaklıklarda ayarlanan fırında (Protherm), kademeli soğutmaya bırakılarak gerilim giderme maksatlı tavlama sürecine tabi tutuldu. Verilen deneysel süreçle ilişkin görsel ise Şekil 4.2'de verildi. Buna ek olarak, Şekil 4.3'te sentezlenen camlara örnek olması bakımından BT20 kodlu cam serisinin görseli verildi.



Şekil 4.2 DeneySEL sürece ilişkin yürütölen çalışmalara dair görsel.



Şekil 4.3 Sentezlenen BT20 cam serisinin görseli.

4.2.2 Bismut-borotellürit (BBT) Üçlü Cam Sistemlerinin Hazırlanması

Yürütülen doktora tezi kapsamında bismut-borotellürit (BBT) üçlü cam sisteminin sentezlenebilmesi maksadıyla bir reçete tasarım aşaması yapıldı. Sonuç olarak, $y\text{Bi}_2\text{O}_3 - [(100-y)(20\text{B}_2\text{O}_3 - 80\text{TeO}_2)]$, burada y : molce % 0, 5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, ve 25, şeklinde bir cam reçetesi tasarlandı. Çizelge 4.3, kullanılan reçete oranlarını % ağırlık cinsinden gösterir. Numune kodları ise BT20 cam sisteminde Bi_2O_3 ilave oranları göstermek maksadıyla BT20- Bi şeklinde seçildi.

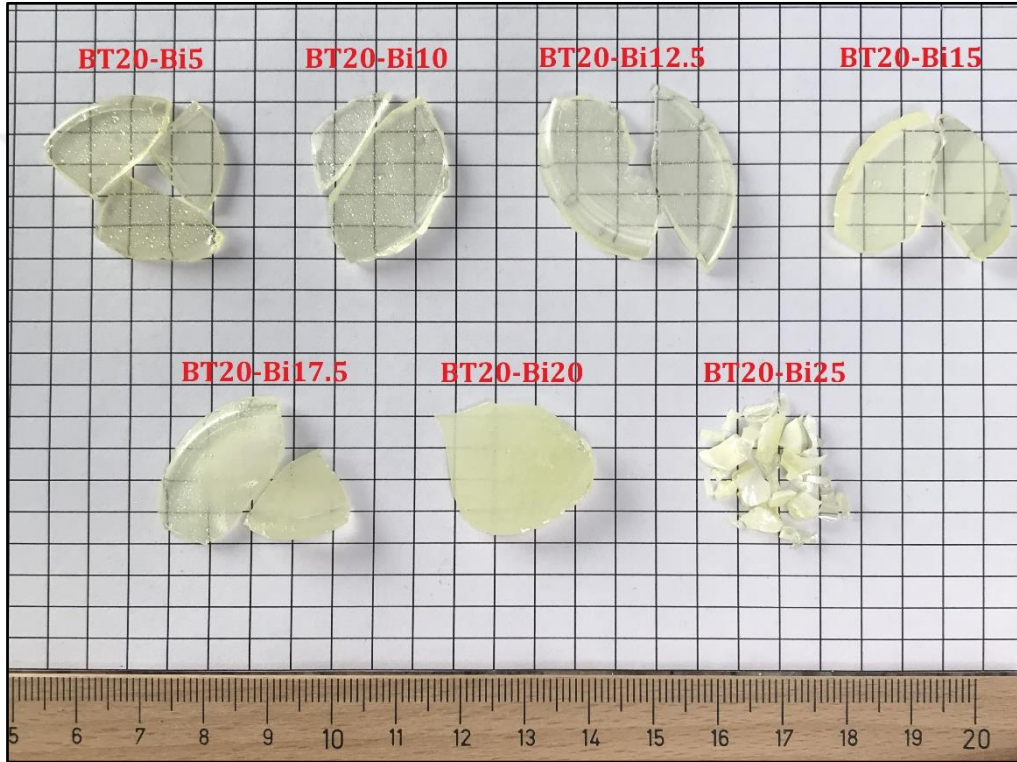
Çizelge 4.3 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan BT20-Bi serilerinin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdeler.

Numune Kodu	B_2O_3 (ağırlık%)	TeO_2 (ağırlık%)	Bi_2O_3 (ağırlık%)
BT20- Bi0	9.8343	90.1657	0.0000
BT20- Bi5	8.3826	76.8554	14.7620
BT20- Bi10	7.2014	66.0257	26.7729
BT20- Bi12.5	6.6897	61.3340	31.9763
BT20- Bi15	6.2216	57.0422	36.7362
BT20- Bi17.5	5.7917	53.1014	41.1069
BT20- Bi20	5.3957	49.4700	45.1343
BT20- Bi25	4.6901	43.0006	52.3093

Tedarigi gerçekleştirilen bileşimler, B_2O_3 ve TeO_2 bileşenleri verilen tedarikçi firmalardan kullanılırken, bismut oksit (Bi_2O_3) yüksek saflıkta (% 99.5) Sigma Aldrich firmasından satın alındı. Deneysel süreçte, bir numunenin ağırlığı yine 10 gram olacak şekilde tartımlar gerçekleştirilerek karışım hazırlandı.

Karışımların hazırlanması noktasında ilk olarak, her bir numune serisini sentezlemek için belirlenen oksit bileşen miktarlarına göre analitik hassas terazi (Precisa, XB 220A, ± 0.0001 g) ile tartımlar yapıldı. Daha sonra, tartılan oksit bileşenler agat havan içinde bir süre karıştırıldıktan sonra platin kroze (Au5- Pt95 alaşımı) içine döküldü. Platin krozedeki

bulunan harman karışımları ayrı ayrı ergitme sürecine tabi tutuldu. Bu noktada, ergitme faaliyetlerini yürütmek için MSE marka, 1600 °C'ye çıkış kabiliyetli ve 5L hacimli bir elektrik rezistanslı asansörlü fırın kullanıldı. Ergitme sıcaklığı olarak 675 ila 725 °C arasındaki sıcaklıklar kullanıldı. Ortalama 3 ila 5 dakika fırın içerisinde bekletilen harman karışımı, daha sonra maşa yardımıyla tutularak dışarıya alındı ve kroze içinde soğumaya bırakıldı. Tavlama süreci, BT serilerine benzer olarak sürdürüldü. Nihayetinde, sentezlenen cam serilerine ait fotoğraflar Şekil 4.4'te gösterildi.



Şekil 4.4 Sentezlenen BT20- Bi cam serilerinin görseli.

4.2.3 Bismut- borotellürit- HMO (BBT- HMO) Dörtlü Cam Sistemlerinin Hazırlanması

Son olarak, bizmut-borotellürit esaslı ve farklı HMO katkılı dörtlü cam sisteminin sentezlenebilmesi amacıyla bir reçete tasarım aşaması yapıldı. Böylelikle, $(100-z)(0.18B_2O_3- 0.72TeO_2- 0.1Bi_2O_3)- zHMO$, burada, z: molce % 5 ve HMO: Gd_2O_3 , Sm_2O_3 , Ta_2O_5 , Er_2O_3 , La_2O_3 , ve WO_3 , şeklinde bir cam reçetesi dizayn edildi. Çizelge 4.4, deneysel sürecin yürütülmesinde kullanılan reçete oranlarını % ağırlık cinsinden verir. Numune kodları ise BT20- Bi10 cam sisteminde HMO ilave oranları göstermek

maksadıyla *BT20Bi10- HMO5* şeklinde tercih edildi.

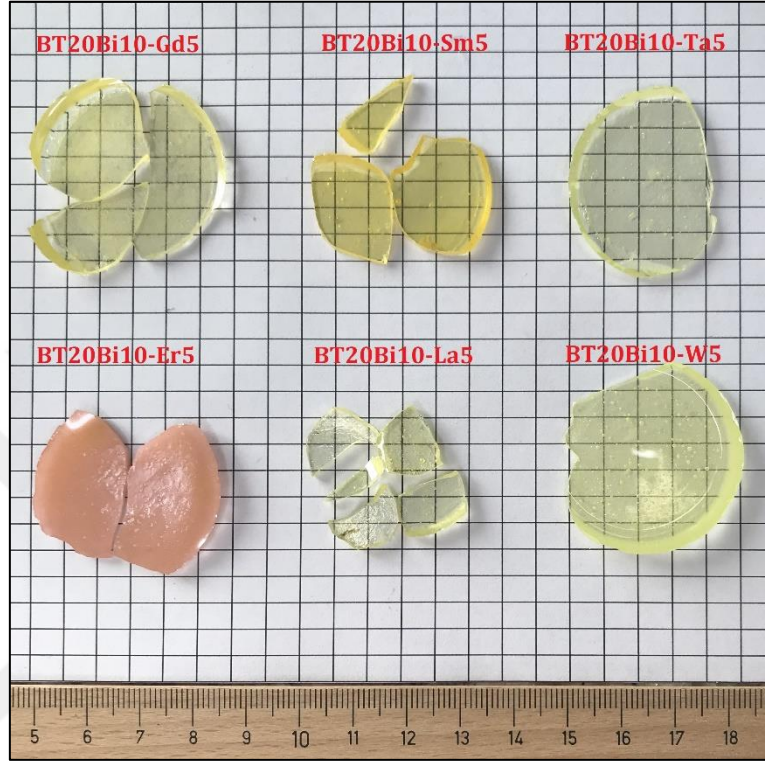
Çizelge 4.4 Reçete tasarımlarına göre oluşturulan *BT20Bi10- HMO* serilerinin her bir oksit bileşeni için ağırlıkça yüzdeler.

Numune Kodu	B ₂ O ₃ (% ağı.)	TeO ₂ (% ağı.)	Bi ₂ O ₃ (% ağı.)	HMO (% ağı.)
BT20Bi10- Gd5	6.4899	59.5028	24.1280	9.8793
BT20Bi10- Sm5	6.5144	59.7271	24.2189	9.5396
BT20Bi10- Ta5	6.3525	58.2426	23.6170	11.7880
BT20Bi10- Er5	6.4547	59.1793	23.9968	10.3693
BT20Bi10- La5	6.5555	60.1038	24.3717	8.9691
BT20Bi10- W5	6.7296	61.6997	25.0188	6.5520

Tedarigi gerçekleştirilen bileşimler, B₂O₃, TeO₂ ve Bi₂O₃, diğer ergitme süreçlerinde satın alınan haliyle kullanıldı. Diğer yandan, *HMO* olarak kullanılan içerikler gadolinyum oksit (Gd₂O₃) yüksek saflıkta (% 99.9) olarak Abcr, samaryum oksit (Sm₂O₃) yüksek saflıkta (% 99.9) olarak Abcr, tantal oksit (Ta₂O₅) yüksek saflıkta (% 99) olarak Alfa Aesar, erbiyum oksit (Er₂O₃) yüksek saflıkta (% 99.9) olarak Alfa Aesar, lantan oksit (La₂O₃) yüksek saflıkta (% 99.9) olarak Alfa Aesar, ve son olarak tungsten oksit (WO₃) yüksek saflıkta (% 99) Sigma Aldrich firmalarından satın alındı. Deneysel süreçte, bir numunenin ağırlığı 10 gram olarak tayin edildi ve bu yönde karışım hazırlama aşaması gerçekleştirildi.

Bir önceki süreçlere benzer şekilde, her bir numune serisini sentezlemek için tayin edilen oksit bileşen miktarları analitik hassas terazi (Precisa, XB 220A, ± 0.0001 g) ile tartıldı. Sonrasında, tartılan oksit bileşenler agat havan içinde bir süre karıştırıldıktan sonra platin kroze (Au5- Pt95 alaşımı) içine konuldu. Platin krozede bulunan harman karışımları ayrı ayrı olarak ergitme sürecine tabi tutuldu. Bu noktada, yine ergitme faaliyetlerini yürütmek için MSE marka, 1600 °C'ye çıkış kabiliyetli ve 5L hacimli bir elektrik rezistanslı asansörlü fırın kullanıldı. Ergitme sıcaklığı olarak 625 ila 750 °C arasındaki sıcaklıklar kullanıldı. Ortalama 5 ila 10 dakika fırın içerisinde bekletilen harman karışımı, daha sonra

maşa yardımıyla tutularak dışarıya alındı kroze içinde soğumaya bırakıldı. Sonrasında numuneler gerilim giderme maksatlı tavlama sürecine tabi tutuldu. Nihayetinde, sentezlenen cam serilerine ait fotoğraflar Şekil 4.5’te gösterildi.



Şekil 4.5 Sentezlenen *BT20Bi10- 5HMO* cam serilerinin görseli.

Her bir cam serisinin üretilmesi sonrası karakterizasyon testleri geniş yelpazede uygulandı. Böylelikle, en iyi olduğu düşünülen cam serisi seçilerek, bir sonraki kompozisyonel tasarıma yön verildi.

4.3 Karakterizasyon Testleri

Üretilen cam serilerinin özelliklerini belirlemek maksadıyla birtakım karakterizasyon teknikleri uygulandı.

Fiziksel özelliklerin ne yönde değişkenlik gösterdiğinin tespiti bakımından öncelikle Arşimet prensibi uygulanarak cam yoğunlukları bulundu. Oda sıcaklığı şartlarında yürütülen analizde (AXIS ACN220, ± 0.0001 g) sıvı ortam olarak saf su (ρ : 0.997 g.cm^{-3})

3) seçilerek Eşitlik 4.1 ile verilen bağıntı vasıtasıyla 3 tekrar sonucu ortalama alınarak yoğunluk değerleri hesaplandı. Burada, ρ_{cam} , ρ_{su} , m_{hava} ve m_{su} değişkenleri sırasıyla cam yoğunluğunu, saf su yoğunluğunu, cam numunenin havadaki ağırlığını ve sudaki ağırlığını temsil eder.

$$\rho_{cam} = \frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \cdot \rho_{su} \quad (4.1)$$

Cam numunelere dair yoğunluk değerlerinin hesaplanması sonrası, Çizelge 4.5'te bulunan diğer önemli fiziksel özellik parametrelerinin hesabı, ilgili bağıntıların (Eşitlikler 4.2 – 4.7) kullanılması ile yapıldı.

Çizelge 4.5 Bazı önemli fiziksel parametrelerin hesabı için bağıntılar.

Eş. No.	Parametre	Simge	Birim	Eşitlik	Değişken
4.2	Ortalama moleküler ağırlık	AMW	$g \cdot mol^{-1}$	$\sum M_i \cdot x_i$	M_i : i bileşenin moleküler ağırlığı x_i : i bileşenin molar yüzdesi
4.3	Molar hacim	V_m	$cm^3 \cdot mol^{-1}$	$V_m = \frac{AMW}{\rho_{cam}}$	
4.4	Oksijen molar hacim	V_0	$cm^3 \cdot mol^{-1}$	$V_0 = \frac{(\sum M_i \cdot x_i)}{\rho_{cam}} \cdot \frac{1}{(\sum n_i \cdot x_i)}$	n_i : i bileşeni içinde bulunan oksijen atom sayısı
4.5	Oksijen paketleme yoğunluğu	OPD	$cm^{-3} \cdot mol^{-1}$	$OPD = 1000 \cdot y \cdot \frac{\rho_{cam}}{AMW_{cam}}$	y : cam kompozisyonu dahilinde bulunan oksijen atomu sayısı
4.6	Ortalama bağ yoğunluğu	n_c	birimsiz	$n_c = \frac{\sum n_{ci} \cdot x_i}{\sum N_{ci} \cdot x_i} \cdot N_c$	n_c : kation başına bağ N_c : i bileşenli cam formülü başına düşen kation sayısı
4.7	Birim hacim başına bağ sayısı	n_b	cm^{-3}	$n_b = \frac{N_A}{V_m} \cdot \sum n_f \cdot x_i$	N_A : Avogadro sayısı n_f : i bileşenin koordinasyon sayısı

Mineralojik bilgi edinme amacıyla X-ışını kırınım (XRD) tekniği, Cu- K_α kullanılarak 40 kV voltaj ve 30 mA amper değerinde 10 - 80 derece arasında 0.02 adımlama izlenerek Bruker D8 Advance (*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar*) cihazı ile gerçekleştirildi.

Isıl özelliklerin belirlenmesi için dilatometrik termal analiz (DTA) analiz yöntemleri uygulandı. NETZSCH STA 449 F3 Jüpiter (*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar*) marka cihaz analizler için kullanıldı. Kullanım esnasında, toz haline getirilen cam numuneler, oda sıcaklığından 900 °C sıcaklığa kadar 5, 10 ve 20 °C/ dakika ısıtma hızları ayrı ayrı olarak ilgili ölçümler için takip edilerek, normal atmosfer şartlarında cam serileri için ısıl özellikler tayin edildi. Ayrıca, bu veriler, kristalizasyon kinetiği çalışmaları için de kullanıldı.

Yapısal özelliklerin ortaya çıkarılması amacıyla Fourier Geçirimli Infrared (FT-IR) analizi 4000 – 400 cm⁻¹ aralığında katı halde elmas kristalli ATR ünitesi vasıtasıyla, BRUKER VERTEX 70v (*Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum*) cihazı ile yapıldı.

Optik özelliklerin tayin edilmesi için ise Ultraviyole-Görünür (UV- Vis) yöntemine başvurularak soğurma spektrumları 190 – 1100 nm aralığında Shimadzu UV- 3600 Plus (*Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Erzurum*) marka cihaz ile elde edildi. Soğurma eğrilerinden hareketle, Tauc eğrileri kullanılarak doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d), doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}), Urbach enerjisi (E_U) ve doğrusal (n_d) ve doğrusal olmayan (n_{ind}) kırınım indisi, sırasıyla, Eşitlikler 4.8 – 4.12 kullanılarak hesaplandı.

$$(\alpha h\nu)^{0.5} = A(h\nu - E_g^d) \quad (4.8)$$

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g^{ind}) \quad (4.9)$$

burada A , α , h , and ν sırasıyla soğurma sabiti, soğurma katsayısı, Planck sabiti ve ışığın frekansını temsil eder.

$$\ln(\alpha) = \ln(\alpha_0) + \frac{h\nu}{E_U} \quad (4.10)$$

$$\frac{n_d^2 - 1}{n_d^2 + 2} = 1 - \sqrt{\frac{E_g^d}{20}} \quad (4.11)$$

$$\frac{n_{ind}^2 - 1}{n_{ind}^2 + 2} = 1 - \sqrt{\frac{E_g^{ind}}{20}} \quad (4.12)$$

Malzeme karakterizasyon çalışmalarına ek olarak, radyasyon soğurma özelliklerinin ne yönde değişiklik gösterdiğinin tespiti bakımından gama-ışını spektroskopi analizi (*Süleyman Demirel Üniversitesi Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Uygulama Araştırma Merkezi, Isparta*) uygulandı. Gama ışını spektroskopisi analizinde, radyoaktif kaynak olarak ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1173 ve 1332 keV) seçilmiştir. Prensip, radyoaktif kaynaktan çıkan fotonları bir demet inceltici boyunca malzeme üzerine gönderilmesi ve sonrasında Na (I) dedektör tarafından gama ışımlarının kayıt edilmesi ve sinyalizasyonlar vasıtasıyla anlamlandırılması bulunmaktadır. Bu analiz dahilinde, kaynaktan çıkan ışının şiddeti (I_0) bilinirken, malzemeye ait kalınlık (x) da bilinmektedir. Na(I) dedektör tarafından algılanan ışının şiddeti (I) de hesaplanması sonrasında Beer-Lambert olarak bilinen eşitliğin uygulanması neticesinde doğrusal soğurma katsayısı (μ veya LAC) olarak bilinen en temel parametrenin hesaplanması mümkün olmaktadır.

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\mu x) \quad (4.13)$$

Analizin uygulandığı malzeme için LAC değerinin hesaplanması sonrasında, radyasyon soğurma uygulamaları için geçerli olan bazı önemli parametrelerin de türetilmesi mümkün olmaktadır. Denklem 4.14 vasıtasıyla yarı-değer katmanı (HVL) hesaplanırken,

Denklem 4.15 ile etkin atom numarası (Z_{eff}) hesaplanmaktadır.

$$HVL = \frac{\ln(2)}{LAC} \quad (4.14)$$

$$Z_{eff} = \frac{\sum_i f_i A_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i}{\sum_i f_i \left(\frac{A_i}{Z_i}\right) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i} \quad (4.15)$$

Burada, A_i , f_i , and Z_i değişkenleri sırasıyla atomik ağırlık, cam bileşimindeki her bir içeriğin molar yüzdesi ve atom numarasını temsil etmektedir.

LAC değerlerinden hareketle, kalınlık, x , değerinin bir fonksiyonu olarak, radyasyon koruma verimliliği (RPE) parametresi yüzdece Eşitlik 4.16 vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

$$RPE = (1 - \exp(-\mu x)) * 100 \quad (4.16)$$

Nötron soğurma kabiliyetlerinin ortaya çıkarılabilmesi maksadıyla, hızlı nötron kesit giderme ($FNRC$) parametresi, Eşitlik 4.17 ile hesaplanmaktadır. Burada, içerik i için, ρ_i ve $(FNRC/\rho)_i$ değişkenleri, sırasıyla, kısmi yoğunluk değerini ve kütlese kesit giderme değerini temsil etmektedir.

$$FNRC = \sum_i \rho_i (FNRC/\rho)_i \quad (4.17)$$

Deneysel manada radyasyon soğurma özelliklerinin tespit edilmesine ek olarak, elde edilen sonuçların daha ileri anlamlandırılabilmesi amacıyla teorik hesaplamalar yapılmaktadır. Radyasyon soğurma hesaplarının teorik manada yapılabilmesi amacıyla birden fazla program mevcuttur. Bunlardan en temeli XCOM olarak bilinirken, özellikle son zamanlarda, radyasyon soğurucu malzemeler üzerine artan ilgiye bağlı olarak EpiXs, EPICS2017 ve Phy- X/ PSD isimli programlar da kullanılır hale geldi. Bunların arasında, Phy-X/ PSD programı kullanıcı dostu ve kolay ara yüzü sayesinde popüler şekilde tercih edilir durumdadır. Buradan hareketle de, mevcut teorik hesaplamaların yürütülmesi için

Phy- X/ PSD programı uygulandı (Şakar vd. 2020). Şekil 4.6’da ilgili programın bilgisayar üzerine indirilen versiyonuna ait bir görsel sunuldu. Burada, ilgilenilen cam sisteminin molce % ya da ağırlıkça % cinsinden oksit bileşenleri ile tanımlanması ve ilgili yoğunluk değerlerinin girilmesi akabinde analiz et butonu vasıtasıyla farklı radyasyon soğurma parametrelerine dair hesaplar program tarafından yapılır. Neticesinde, hesaplanan parametre değerlerini kapsayan bir Excel dosyası kullanıcıya sunulur, verilerin anlamlandırılmasına olanak tanır. Şekil 4.7’de, elde edilen Excel hesaplama dosyasına dair bir görsel verildi. Gerek ilgili cam sistemi dahilinde gerekse ilgili radyasyon soğurma parametreleri açısından veriler başarıyla elde edildi.



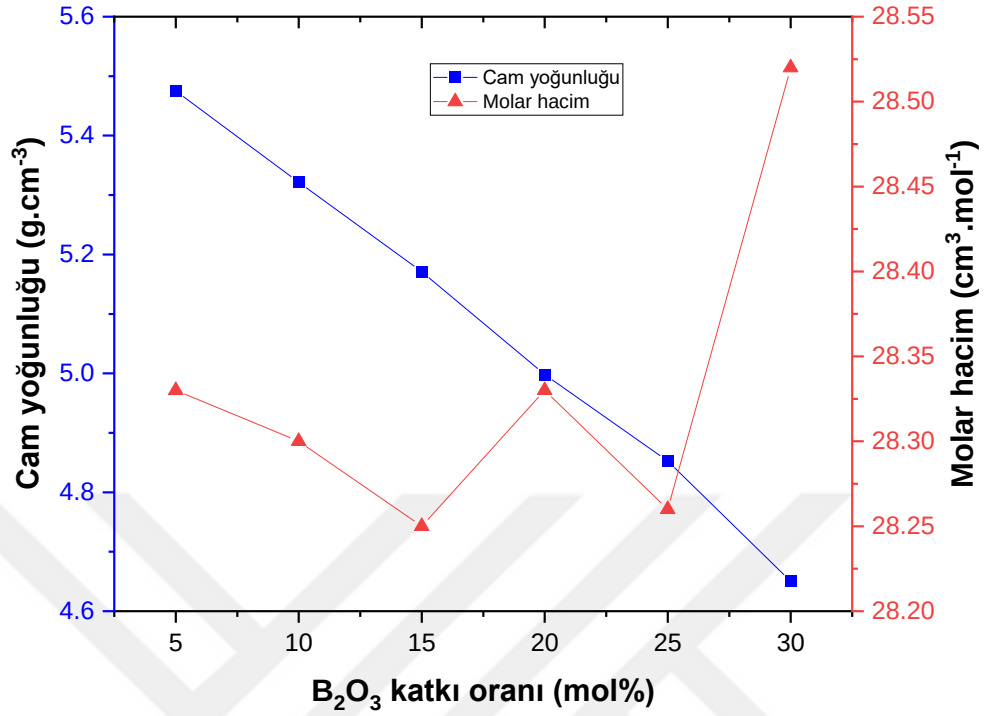
Şekil 4.6 Phy- X/ PSD programına dair örnek bir ekran alıntısı.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Borotellürit (BT) İkili Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi

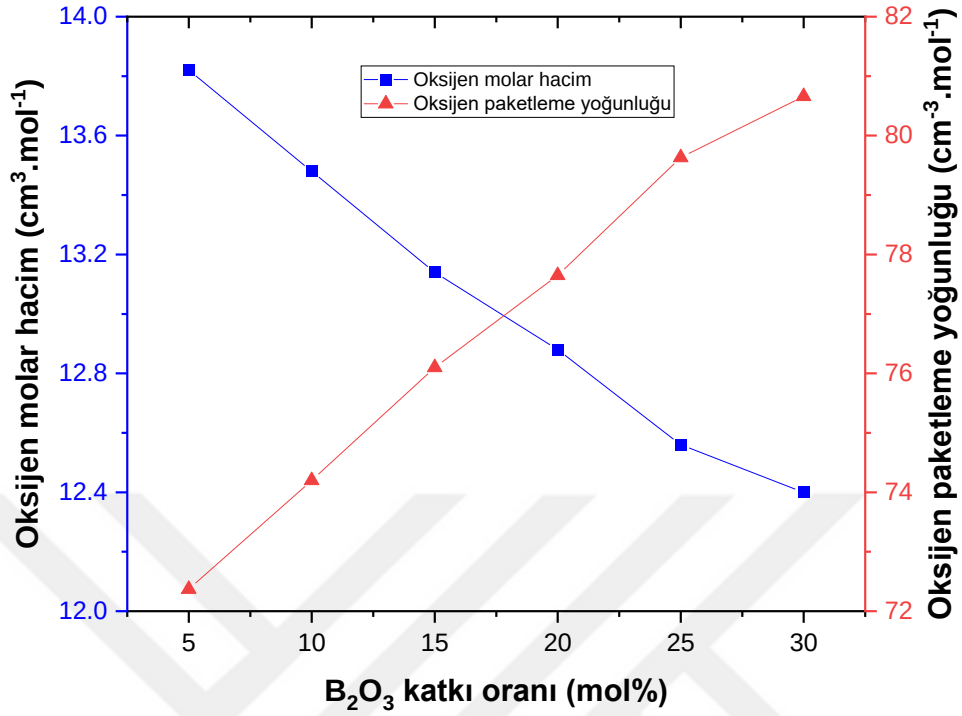
5.1.1 Fiziksel Özellikler

Sentezlenen cam serileri için öncelikle fiziksel özellik belirlenmesi maksadıyla bazı önemli parametrelerin üzerinde duruldu. Böylelikle, üretilen camlar için temel bilgiler elde edilmiş oldu. Şekil 5.1’de B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak ρ_{cam} ve V_m parametrelerinde meydana gelen değişimler verildi. Genel itibarıyla, B_2O_3 arttıkça ρ_{cam} azaldığı, bunun aksine V_m arttığı tespit edildi. Cam yoğunluk değerlerine detay olarak bakıldığında molce % 5 katkılı BT5 numunesinin 5.4751 g.cm^{-3} yoğunluk değeri elde ederken, sırasıyla molce % 10’dan % 30’a doğru katkılı BT10- BT30 cam numunelerin ise 5.3214 , 5.1711 , 4.9982 , 4.8524 ve 4.6504 g.cm^{-3} elde ettiği görüldü. Yoğunluk değerlerinde yaşanan bu düşüş, daha düşük yoğunluklu B_2O_3 içeriğinin (2.46 g.cm^{-3}) daha yüksek yoğunluklu TeO_2 içeriği (5.67 g.cm^{-3}) ile yer değiştirmesine atfedilebilir. Öte yandan, B_2O_3 ilave oranı artışı ile V_m değerlerinde kademeli nispi bir artış olduğu görüldü. Nispeten az oranda artış olduğu görülse de BT5 - BT30 numuneleri sırasıyla 28.33 , 28.30 , 28.25 , 28.33 , 28.26 ve $28.52 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ değerleri verdiği hesaplandı. Bulunan değerlerden hareketle cam ağ yapısında hafif genleşme eğilimi olduğu şeklinde yorum getirilebilir. Bununla beraber, ρ_{cam} ve V_m arasında ters ilişki görülmesi beklenen bir durumdur. Artan cam ağ yapı hacmi, genel cam yoğunluğunun düşmesine sebep olmaktadır. Zira, literatürde yapılan benzer çalışmalarda da bu ters ilişkinin varlığı rapor edilmektedir (Al-Buriahi vd. 2020a). Özet olarak, artan B_2O_3 katkı oranının ρ_{cam} parametresini düşürür yönde etkilemesine ek olarak V_m değerlerini arttırır şekilde davrandığı rapor edilebilir. Gama soğurma uygulamalarında yüksek yoğunluk değeri şart olurken nötron soğurma maksadıyla B_2O_3 oranının yüksek olması gerekliliği bir araya getirildiğinde, sentezlenen numuneler arasında BT20 serisi camın seçilerek, ikili sistemin $20B_2O_3$ - $80TeO_2$ şeklinde olmasının optimum olduğuna böylelikle karar verildi.



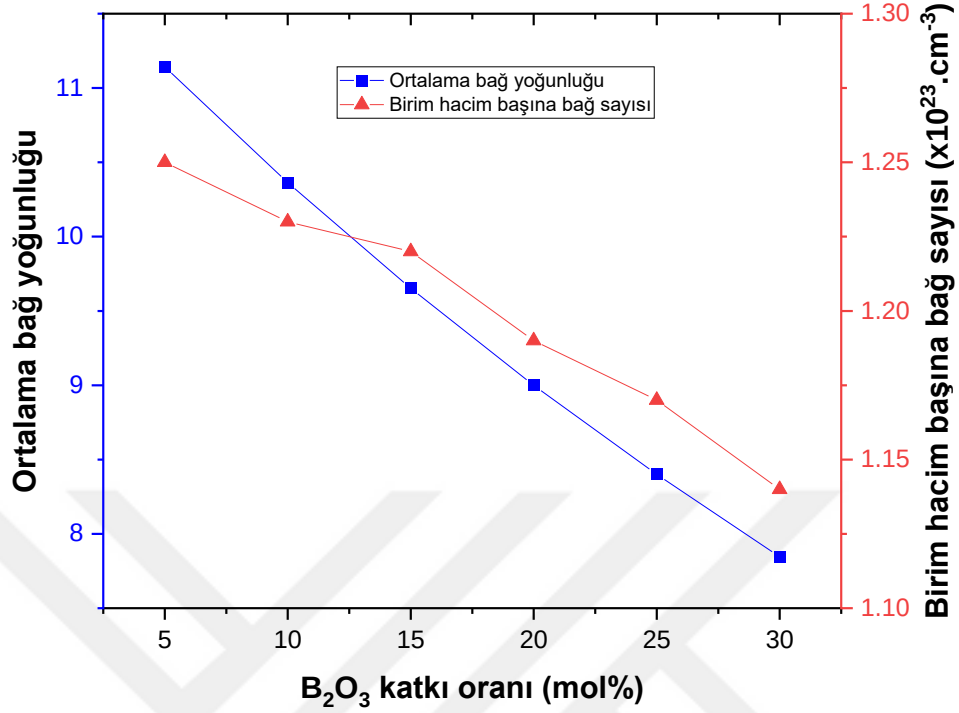
Şekil 5.1 B₂O₃ katkı oranına bağlı olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametrelerinde değişimler.

Temel olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametreleri değerlendirildikten sonra Şekil 5.2’de oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketleme yoğunluğu (OPD) parametrelerinde B₂O₃ ilave oranı ile ortaya çıkan değişiklikler verildi. Genel olarak, her iki parametre arasında ters ilişki olduğu görülürken, artan B₂O₃ oranı ile V_O değerlerinin azaldığı ve OPD değerlerinin arttığı açıktır. Öyle ki, V_O değerleri BT5- BT30 numunelerine kadar 13.82, 13.48, 13.14, 12.88, 12.56 ve 12.40 cm³.mol⁻¹ değerlerine sahipken, OPD değerleri sırasıyla 72.37, 74.20, 76.10, 77.65, 79.63 ve 80.66 cm³.mol⁻¹ şeklindedir. Elde edilen bu değerler ışığında cam ağ yapısının sıkı paketlenmeye geçtiği ve bağlanmamış oksijen sayısında ($NBOs$) düşüş olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 5.2 Oksijen molar hacim ve oksijen paketleme yoğunluğu parametrelerinde B₂O₃ katkı oranına bağlı değişimler.

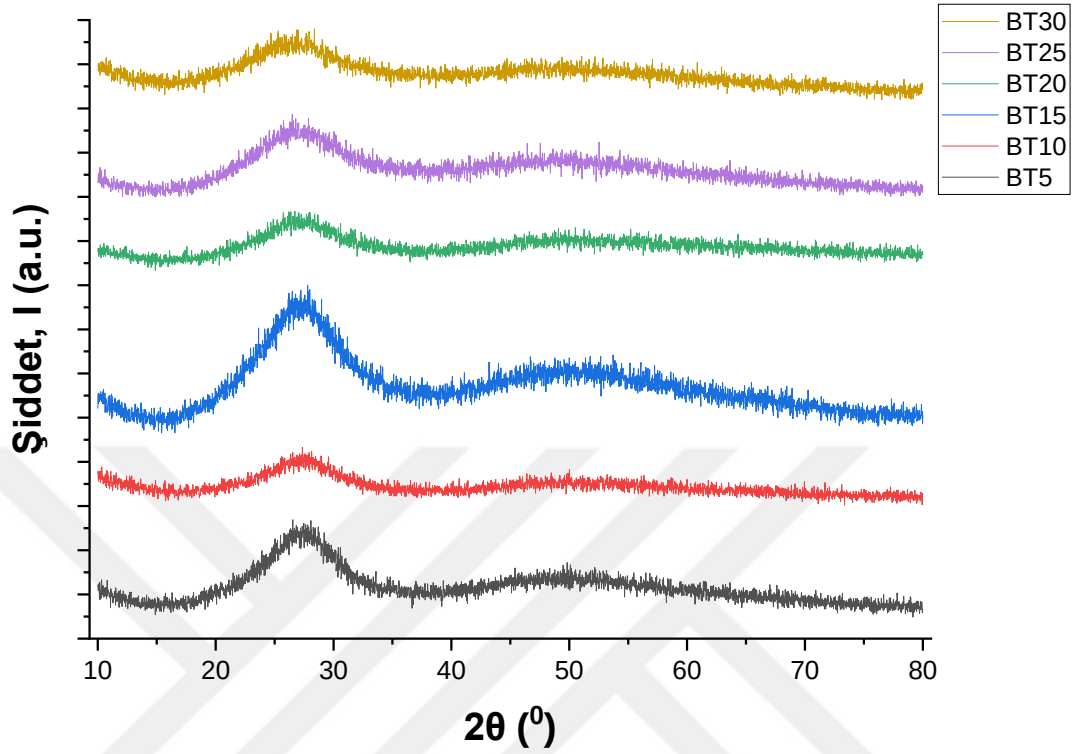
Son olarak, fiziksel özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla Şekil 5.3'te artan B₂O₃ katkı oranı değişiminin n_c ve n_b parametreleri üzerine etkisi irdelendi. Görüldüğü üzere, her iki parametre arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Yaşanılan bu düşüş, tıpkı V_o ve OPD parametreleri irdelenirken verilen açıklamalar ışığında yorumlanabilir. Öyle ki, artan B₂O₃ oranı cam ağ yapısı içinde ağ yapıcı rolü üstlendiğinden hem bağ yoğunluğu azalmakta hem de azalan NBOs nedeniyle birim hacim başına düşen bağ sayısı azalım göstermektedir.



Şekil 5.3 B₂O₃ katkı oranı değişiminin ortalama bağ yoğunluğu ve birim hacim başına bağ sayısı parametreleri üzerine etkisi.

5.1.2 Yapısal Özellikler

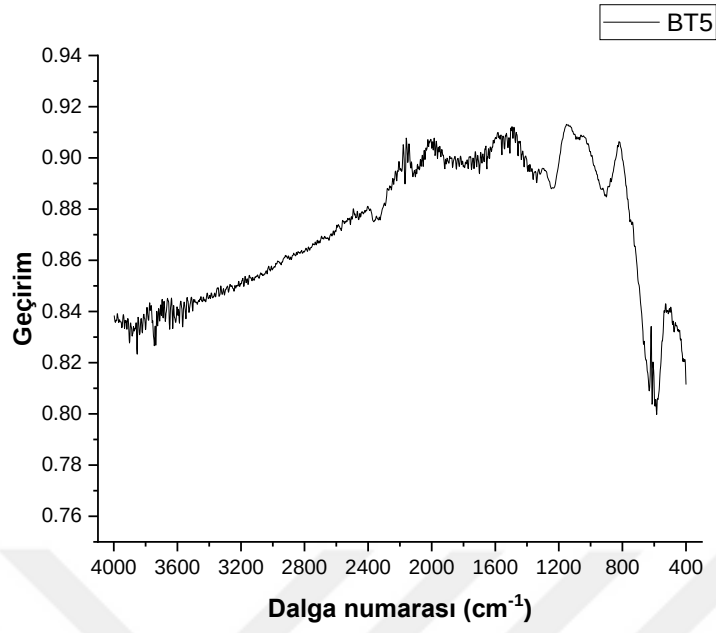
Fiziksel özelliklerin yanı sıra yapısal özellikler bakımından irdeleme yapılması oldukça önemlidir. Zira, kristalografik açıdan malzeme yapısına dair saptamaların yapılması cam malzemeler için oldukça kritiktir. Buradan hareketle, cam malzeme yapısının amorf halde olup olmadığının tespiti bakımından X-ışını kırınım (XRD) tekniği uygulandı ve neticeleri Şekil 5.4'te sunuldu. BT5- BT30 numunelerine kadar, her bir cam serisinde amorf yapının varlığı tespit edildi. Bu tespitin ardında yatan gerçeklikler ise keskin tepe noktalarının bulunmayışı ve aynı zamanda $2\theta = 15-35$ derece arasında yayvan bir hareket bulunması olarak düşünüldü. Cam serilerine XRD desenleri açısından detaylı bakıldığında ise BT5 ve BT15 numunelerinde yayvanlığın hafif artarak keskinliğe benzer şekilde davranış gösterdiği görüldü. Bunun nedeni olarak, kristallenme eğiliminin diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğu çıkarımı yapılabilir. Netice olarak, sentezlenen tüm cam serilerinde amorf yapının varlığı ortaya çıkarıldı.



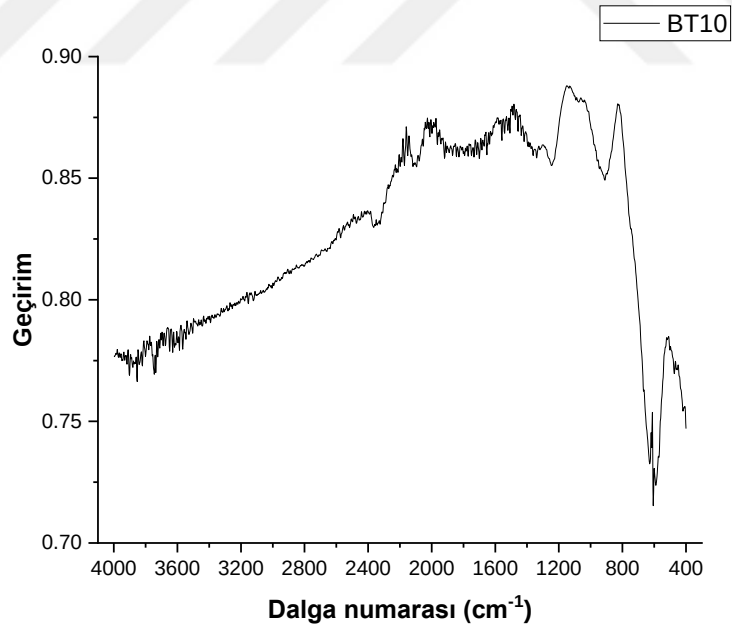
Şekil 5.4 Sentezlenen BT cam serilerine ait X-ışını kırınım desenleri.

İlk etapta üretimi gerçekleştirilen ikili boro-tellürit cam sistemi dahilindeki BT serisi cam numunelere Fourier geçirimli kızılötesi (FT- IR) analiz yöntemi uygulandı ve elde edilen dalga numarasına karşılık geçirim spektrumları Şekil 5.5 ile Şekil 5.10 arasında gösterildi. Elde edilen geçirim spektrumlarından hareketle her bir cam numunesine ait tepe noktalarının saptaması gerçekleştirildi. Bulunan tepe noktalarını gösteren dalga numaraları ve bunlara karşılık gelen belirlemeler ise Çizelge 5.1 dahilinde derlendi. 4000 ile 1600 cm^{-1} dalga numaraları arasında çarpıcı bir tepe noktası gözlemlenmezken bulunan pozisyonların O-H gruplarına ait germeler, H-H bağlanmaları, CO_2 kızılötesi soğurumu gibi bağ tiplerine bağlanabileceği düşünüldü. Zira, literatürde yer alan bir çok çalışmada bu yönde bir bağdaştırma bulunduğu görüldü. Düşük dalga numaralarına doğru gidildikçe daha belirgin tepe pozisyonlarına rastlandı. Şöyle ki, 1245 ve 1226 cm^{-1} aralığında her bir cam numunesine karşılık gelen tepe noktalarının boroksol halkasının BO_3 biriminde B-O'nun germe titreşimleri olabileceği düşünüldü. 1153 ile 1131 cm^{-1}

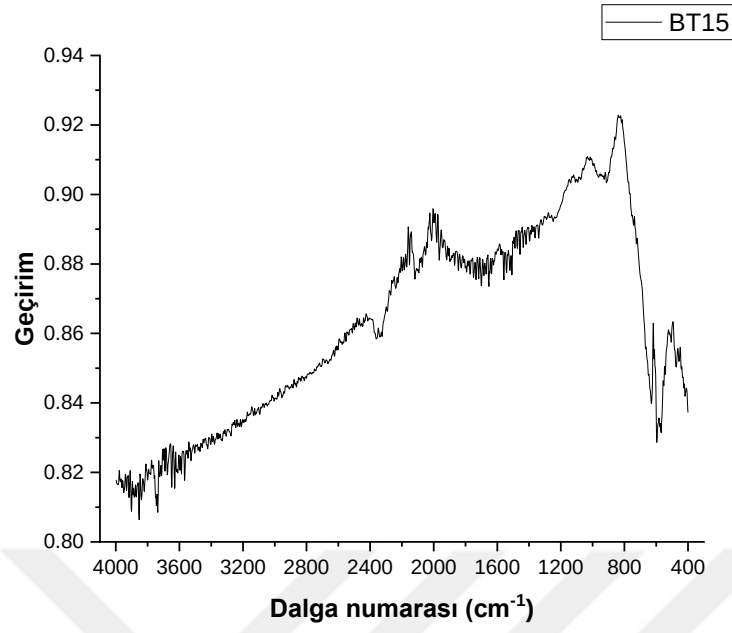
dalga numaraları arasında beliren tepe noktalarının ise, bu kez, piroborat gruplarındaki BO_3 birimlerinin B-O bağları germe titreşimi şeklinde olabileceği tahmin edildi. Bu noktada, artan B_2O_3 katkı oranı ile birlikte, her ne kadar doğru orantılı olmasa da, B-O bağ tiplerinin borotellürit cam sistemi dahilinde artış gösterdiği şeklinde bir yorum getirildi. Keza, bu durumun görülmesi beklenen bir olgu olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, 1096 ve 1074 cm^{-1} aralığında açığa çıkan tepe noktalarının bor anomalisini gösterir nitelikte olduğu çıkarımı, literatür tarafından ortaya konulan BO_4 ünitelerinin tri-, tetra- ve penta-borat gruplarından B-O gerilme titreşimleri veya B-O-B eğilme titreşimleri bulguları ile görüldü. Bağlanmamış oksijen varlığı ile trigonal B-O yapısının tetragonal B-O yapısına döndüğü çıkarımı yapılabilir. Bununla birlikte, 1064 ile 1030 cm^{-1} ve 910 ile 900 cm^{-1} aralıklarında görülen tepe noktalarının ise BO_4 tetrahedrada B-O bağlantılarının germe titreşimleri olabileceği düşünüldü. 631 ile 626 cm^{-1} dalga numarası aralığında ise Te-O bağlarının varlığını işaret eden TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) biriminde Te-O germe titreşimleri yorumu getirildi. Ayrıca, bu aralıkta görülen tepe pozisyonları, B-O-pentaborat gruplarında esneme şeklinde de yorumlanabilir. Diğer taraftan, 616 ile 592 cm^{-1} arasındaki tepe noktaları TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) birimlerinin esneme titreşimleri olarak değerlendirildi. 589 ile 582 cm^{-1} arasında açığa çıkan tepe konumları TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) birimlerinde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri şeklinde yorumlanabilirken, 527 ile 520 cm^{-1} arasında rastlanılan tepeler de bu doğrultuda düşünüldü. 496 ile 494 cm^{-1} dalga numaralarında dar aralıkta bulunan tepe noktaları ise BO_4 birimlerinin bükülmesi olarak değerlendirildi. Son olarak, 475 ile 417 cm^{-1} aralığında açığa çıkan çeşitli tepe noktalarının ise Te-O-Te ve O-Te-O bağlarının eğilme ve germe titreşimleri olabileceği düşünüldü. Sonuç olarak, BT serisi cam numunelerde bulunan bağ tipleri geniş yelpazede açığa çıkarıldı. Bunun bir neticesi olarak, artan B_2O_3 katkı oranı ile bağ tiplerinde çok farklılaşma görülmezken, bor anomali olayının meydana geldiği rapor edildi.



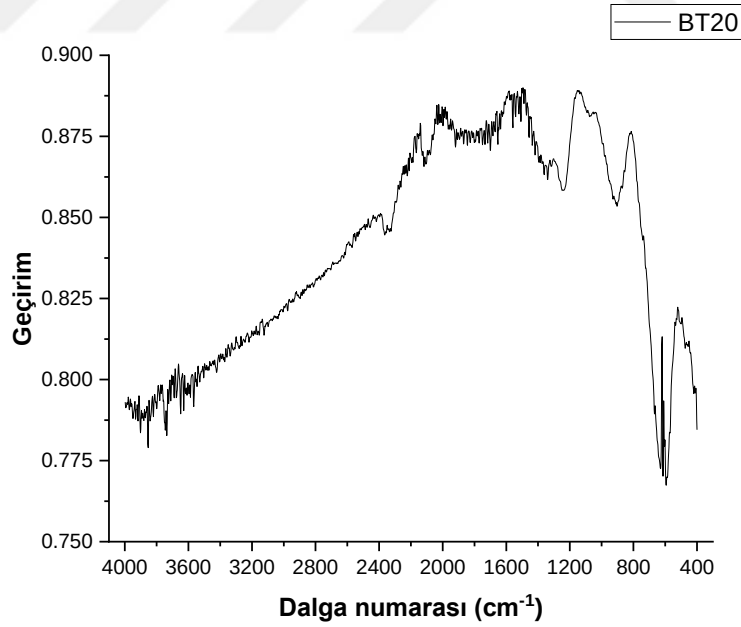
Şekil 5.5 Sentezlenen BT5 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



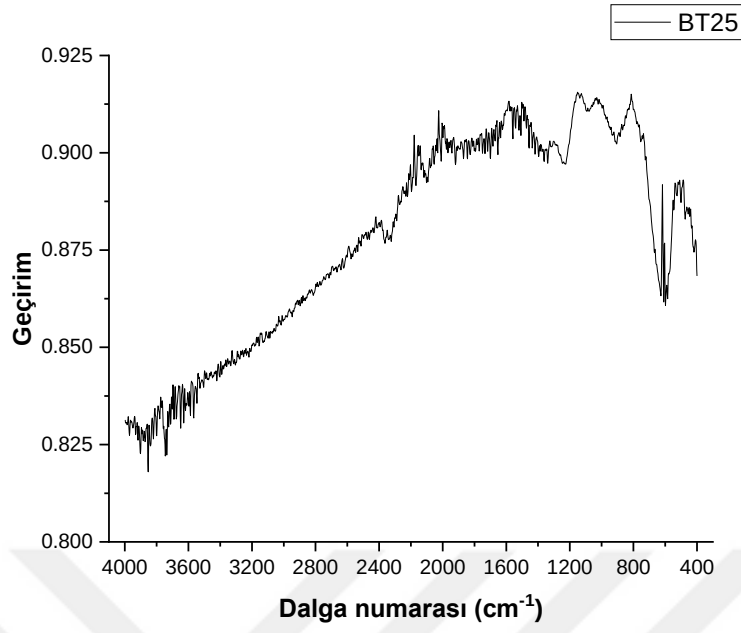
Şekil 5.6 Sentezlenen BT10 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



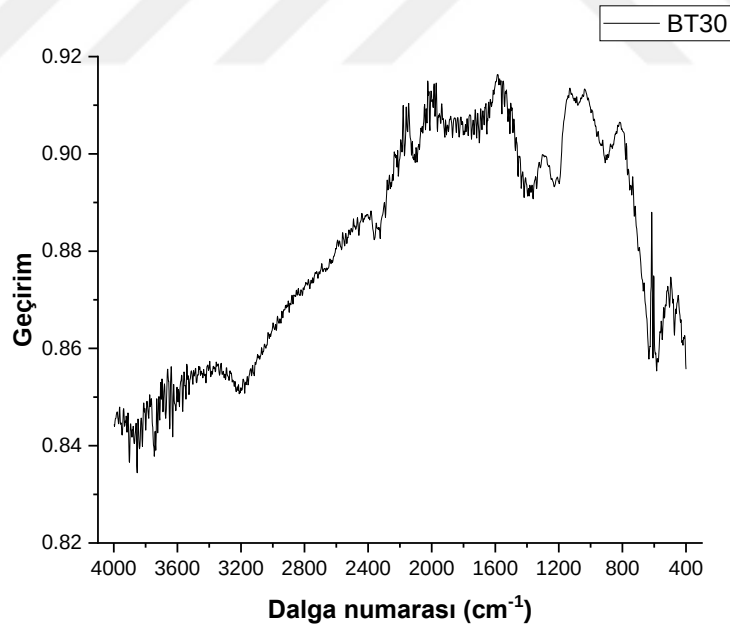
Şekil 5.7 Sentezlenen BT15 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.8 Sentezlenen BT20 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.9 Sentezlenen BT25 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.10 Sentezlenen BT30 cam numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.

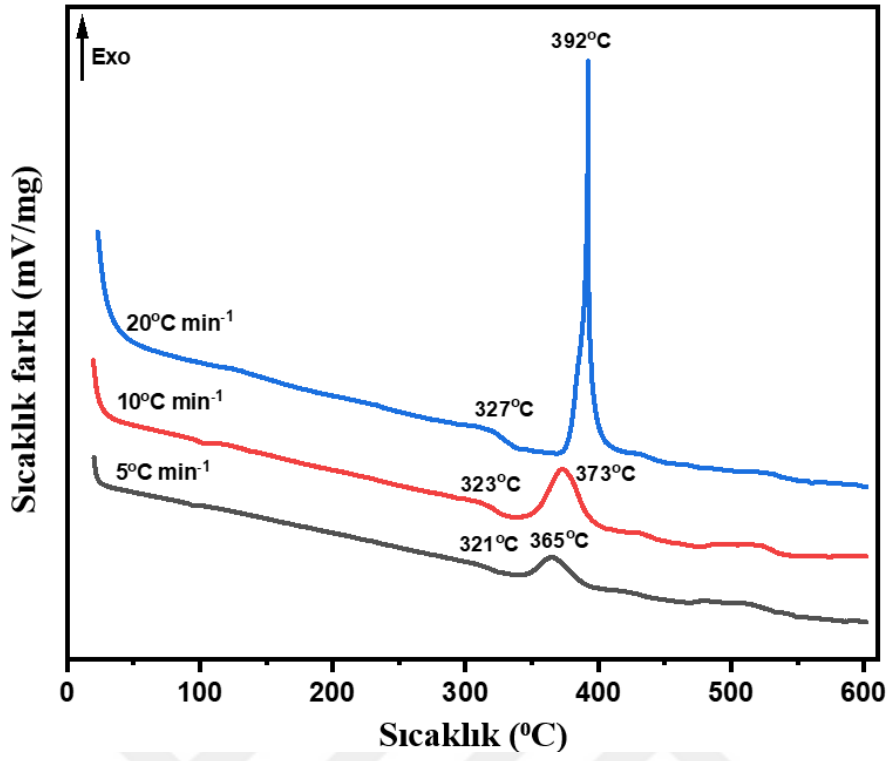
Çizelge 5.1 Üretilen *BT* cam serilerine ilişkin FT- IR tepe pozisyonları ve ilgili belirlemeler.

BT5	BT10	BT15	BT20	BT25	BT30	Referans	Belirleme
Tepe noktası konumları (cm ⁻¹)							
1240	1245	1229	1239	1227	1226	(Rada vd. 2008, Rada vd. 2009, Rada vd. 2010, İşsever vd. 2019, Kilic vd. 2021c)	Boroksol halkasının BO ₃ biriminde B-O'nun germe titreşimleri
1150	1148	1149	1150	1153	1131	(Lakshminarayana vd., 2019, Vedavyas vd. 2021, Divina vd. 2020b)	Piroborat gruplarındaki BO ₃ birimlerinin B-O bağları germe titreşimi
1091	1074	1076	1088	1096	1078	(Rada vd. 2008, Lakshminarayana vd. 2019, Lakshminarayana vd. 2017a)	BO ₄ ünitelerinin tri-, tetra- ve penta-borat gruplarından B-O gerilme titreşimleri veya B-O-B eğilme titreşimleri
1061	1064	1032	1041	1030	1035	(Lakshminarayana vd. 2018, Kaky vd. 2019)	BO ₄ tetrahedrada B-O bağlantılarının germe titreşimleri
901	910	908	901	905	908	(Lakshminarayana vd. 2018, Kaky vd. 2019)	BO ₄ tetrahedrada B-O bağlantılarının germe titreşimleri
818	830	840	814	812	816	(Kilic vd. 2021c, Kaur vd. 2021, Nidzam vd. 2021)	Pentaborat, tetraborat ve diborat yapısal birimlerin B-O titreşimlerinden dolayı BO ₄ tetrahedranın B-O gerilme titreşimleri
630	627	629	628	626	631	(Rada vd. 2009, Kilic vd. 2021c, Munoz vd. 2009, Sidek vd. 2009)	B-O-pentaborat gruplarında esneme; TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) biriminde Te-O germe titreşimleri
619	619	618	618	617	616	(Rada vd. 2010, Lakshminarayana vd. 2019, Kaky vd. 2020b)	TeO ₄ 'te Te-O bağının simetrik gerilme titreşimleri
613	616	-	612	609	606	(Lakshminarayana vd. 2017c, Kilic vd. 2021b)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) birimlerinin esneme titreşimleri
582	589	582	-	-	582	(Kilic vd. 2021b, Manning vd. 2012)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) biriminde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri
527	520	523	520	-	-	(Kilic vd. 2021, Manning vd. 2012)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) biriminde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri
495	496	494	495	-	494	Mahmoud (2021)	BO ₄ birimlerinin bükülmesi
472	474	475	-	-	474	(Kilic vd. 2021c, Elkhoshkhany vd. 2014, Kilic vd. 2019, El-Deen vd. 2008)	Te-O-Te veya O-Te-O bağlantıları; Te-O-R ve/veya O-Te-R bağlantıları; Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri
466	466	464	-	-	-	Rada vd. (2010)	Te-O-Te'nin germe titreşimleri
436	448	455	449	-	448	(İşsever vd. 2019, Kilic vd. 2019)	Te-O-Te veya O-Te-O bağlantı eğilme titreşimleri
420	417	417	419	-	417	(Rada vd. 2008, Rada vd. 2010)	Te-O-Te veya O-Te-O bağlantı eğilme titreşimleri; TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) simetrik bükülme titreşimleri

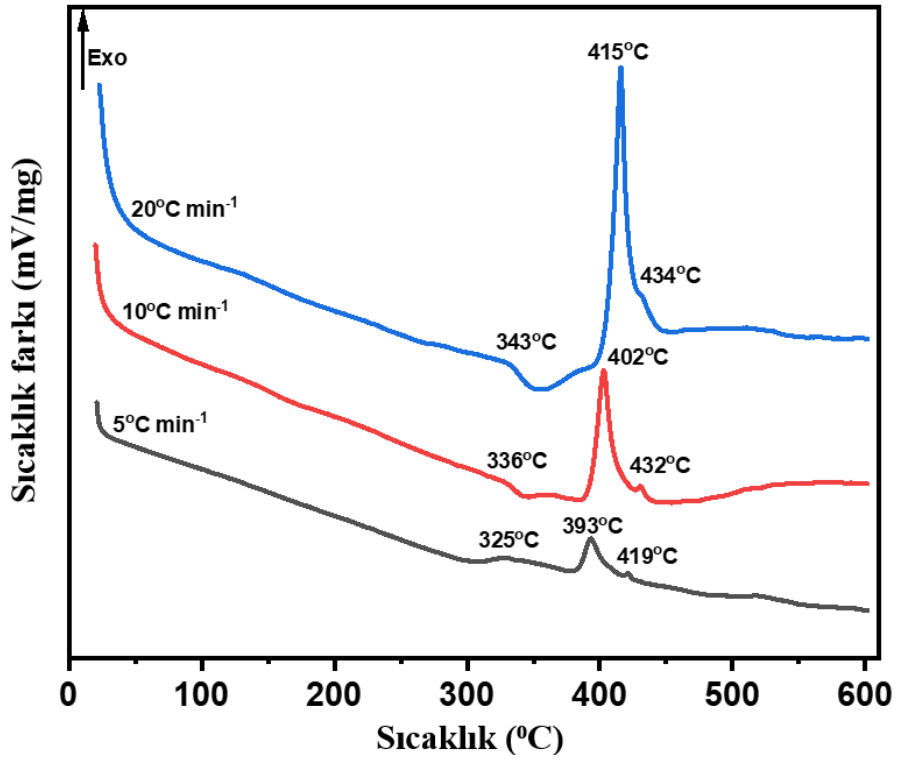
5.1.3 Isıl Özellikler

Fiziksel ve yapısal özelliklerin değerlendirilmeleri sonrasında, sentezlenen BT5 ile BT20 arasındaki cam numunelerin ısııl özellikleri irdelendi. Oda sıcaklığından başlayıp 600 °C sıcaklığa kadar 10, 15 ve 20 °C/ dk ısıtma hızları ile ısıtılan numuneler için DTA eğrileri Şekil 5.11 ile 5.14 arasında gösterildi. BT5 ile BT20 arası cam numuneler için elde edilen camsı geçiş sıcaklıkları (T_g) ve kristalizasyon reaksiyonlarına karşılık gelen ekzotermik pikler (T_{pn} , burada n : kristal pik numarasını temsil eder) ise bir özet haline Çizelge 5.2 dahilinde sunuldu. BT cam sistemi içerisinde B_2O_3 ilave oranının molce %5'ten molce %20'ye artmasıyla beraber T_g noktasının 5 °C/ dk ısıtma hızında 321 °C'den 331 °C'ye çıktığı, bununla birlikte 10 ve 20 °C/ dk ısıtma hızlarında ise, sırasıyla, 322 °C'den 341 °C'ye ve 327 °C'den 348 °C'ye çıktığı tespit edildi. Öte yandan, ısıtma hızının 5 °C/ dk değerinden 20 °C/ dk değerine çıkarılması ise BT5 - BT20 arası numunelerin T_g noktasının sırasıyla 321 °C'den 327 °C'ye, 325 °C'den 343 °C'ye, 327 °C'den 340 °C'ye ve 331 °C'den 348 °C'ye çıkmasına sebebiyet verdiği bulundu. İkili boro-tellürit cam sistemleri için mevcut literatürde yapılan bazı çalışmalarda da benzer neticelerin elde edildiğine rastlanıldı (Bürger vd. 1984). Netice olarak, ısıtma hızının artırılması T_g sıcaklıklarının artışına sebebiyet verirken, B_2O_3 ilave oranındaki artış benzer şekilde bir artışa neden olduğu sonucuna varılabilir. Dolayısıyla, B_2O_3 katkısının cam yapıcı rolünde bulunduğu şeklinde bir yorum getirilebilir.

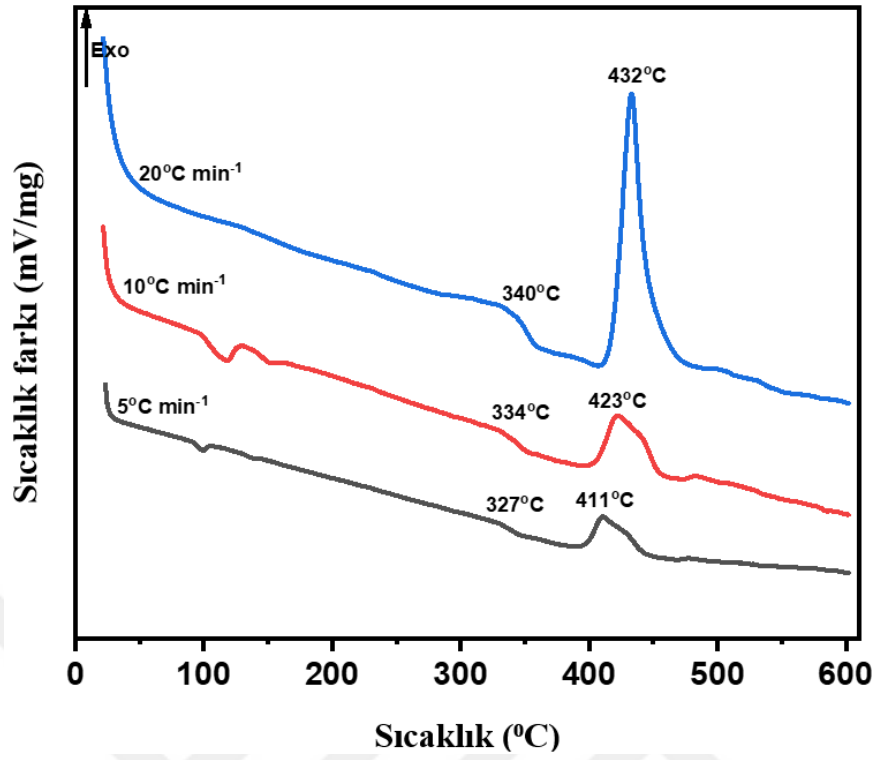
Diğer taraftan, her bir cam serisinde T_{p1} şeklinde bir ekzotermik pik oluşumunun bulunduğu tespit edildi. BT5 numunesinde gözlemlenen T_{p1} piki ısıtma hızına bağlı olarak 365 ile 392 °C arasında meydana gelirken, BT10 ile BT20 numuneleri için ısıtma hızına bağlı olarak bu oluşum sırasıyla 393 ile 415 °C, 411 ile 433 °C ve 425 ile 503 °C arasında karşımıza çıktı. Bununla beraber, BT10 numunesinde bir T_{p2} ekzotermik pik oluşumu meydana gelirken, ısıtma hızına bağlı olarak 419 ile 434 °C arasında oluşum gösterdiği tespit edildi. Ekzotermik pik oluşum sıcaklıklarına dair elde edilen bulguların, mevcut literatürde yapılan benzer çalışmalar ile paralellik gösterdiği sonucuna varıldı (Ersundu vd. 2012). Sonuç olarak, ısıtma hızı ile birlikte T_{pn} sıcaklıklarında bir artışın da meydana geldiği görülürken, benzer şekilde B_2O_3 katkı oranındaki artış ile birlikte bir sıcaklık artışı olduğu görülmektedir.



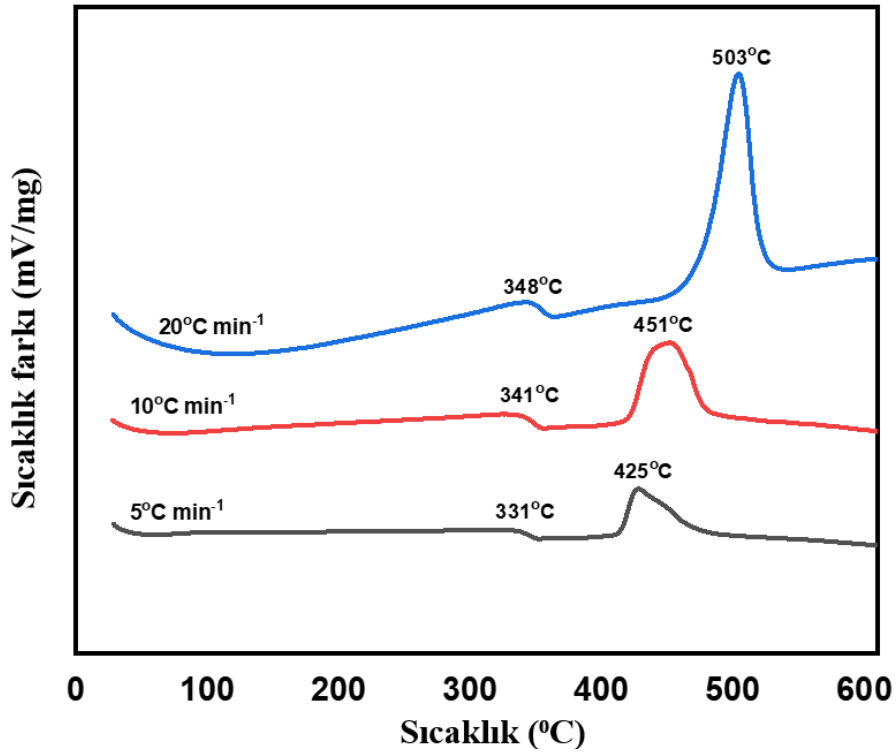
Şekil 5.11 Sentezlenen BT5 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.



Şekil 5.12 Sentezlenen BT10 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.



Şekil 5.13 Sentezlenen BT15 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.

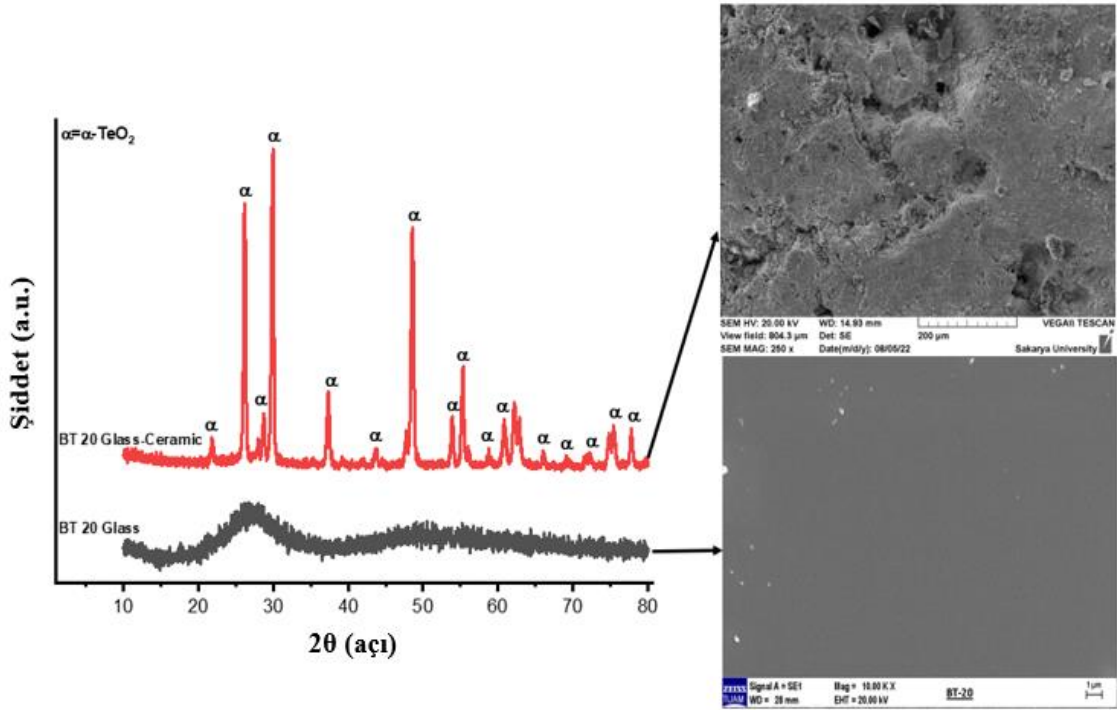


Şekil 5.14 Sentezlenen BT20 numunesi için farklı ısıtma hızlarına bağlı olarak DTA eğrileri.

Çizelge 5.2 Sentezlenen cam serileri için farklı ısıtma hızına bağlı olarak karakteristik DTA pik sıcaklıkları.

Numune kodu	Isıtma hızı (°C/ dk)	T_g (°C)	T_{p1} (°C)	T_{p2} (°C)
BT5	5	321	365	-
	10	322	373	-
	20	327	392	-
BT10	5	325	393	419
	10	336	402	432
	20	343	415	434
BT15	5	327	411	-
	10	334	423	-
	20	340	433	-
BT20	5	331	425	-
	10	341	451	-
	20	348	503	-

Ekzotermik pik oluşum sıcaklıklarının tespiti sonrasında, meydana gelen kristal fazın ne olduğunun anlaşılması için BT20 numunesi dahilinde bir kristalizasyon çalışması yapıldı. Burada, toz haline getirilen BT20 numunesi oda sıcaklığından 450 °C sıcaklığa kadar 10 °C/dk hız ile ısıtılmış olup, tepe sıcaklık noktasında 1 saat bekletildi. Sonrasında ise, X-ışını kırınım (XRD) analizi karakterizasyon bölümünde belirtilen şartlar doğrultusunda gerçekleştirildi. Ayrıca, taramalı elektron mikroskopu (SEM) yöntemi uygulanarak mikroyapı görüntüleri kristalizasyon öncesi ve sonrası olarak elde edildi. Elde edilen XRD ve SEM sonuçları ise Şekil 5.15'te yer aldığı üzere sunuldu. Kristalizasyon öncesi cam numunede amorf yapının varlığı söz konusuyken, mikroyapı görüntülerinde herhangi bir kristal yapı varlığına rastlanılmadı. Halbuki, ısıtma işlem uygulanması sonucunda elde edilen numuneye XRD analizi yapıldığında α -TeO₂ kristal yapısının gelişim gösterdiği bulundu. Öte yandan, mikroyapı görüntülerinin de değişiklik gösterdiği ve kristal yapının varlığını destekler nitelikte olduğu sonucuna varıldı. Nihayetinde, ekzotermik pik olarak varlığını gösteren kristal fazın α -TeO₂ yapısı olduğu, elde edilen bu sonucun da mevcut literatür kaynakları ile doğrulanabilir düzeyde olduğu bulundu (Elkhoshkhany vd. 2017). Dolayısıyla, BT20 cam sisteminde karşılaşılan ekzotermik pik oluşumunun α -TeO₂ oluşum kaynaklı olduğu ortaya konulabilmektedir.



Şekil 5.15 Sentezlenen BT20 numunesi için ısıtıl işlem öncesi ve sonrası XRD ve SEM sonuçları.

Sentezlenen *BT* serisi camlar içerisinde BT5 ile BT20 numunelerine dair gerçekleştirilen DTA analiz yöntemi neticesinde, ilgili cam serileri için T_g ve T_{pn} sıcaklıklarının farklı ısıtma hızları doğrultusunda nasıl bir değişim sergilediği ortaya konuldu. Bununla beraber, ekzotermik pik oluşumuna dair bir ısıtıl işlem süreci uygulanıp, faz belirlemesi yapıldı. Yürütülen ısıtıl analizlere ek olarak, kristalizasyon kinetiği kapsamında kristallenme için gerekli olan aktivasyon enerjisi (E_a^c) ve viskoz akış için gereken aktivasyon enerjisi (E_a^v) miktarları 3 farklı yaklaşım kullanılarak hesaplandı. İlk olarak, E_a^c hesaplamaları için 3 farklı yaklaşım olan Ozawa, Kissenger ve Augis-Bennet, Denklemler 1 ile 3 vasıtasıyla hesaplandı. Sonrasında, E_a^v hesaplamaları için ise yine bu 3 farklı yöntem dahilinde Denklem 1 ile 3 doğrultusunda bulgular hesaplandı (Augis vd. 1978, Fatimi vd. 2011, Belhouchet vd. 2014, Başaran vd. 2018).

$$\ln(\beta) = -\frac{E_a^c}{RT_p} + C \quad (4.13)$$

$$\ln\left(\frac{T_p^2}{\beta}\right) = \frac{E_a^c}{RT_p} + C \quad (4.13)$$

$$\ln\left(\frac{T_p}{\beta}\right) = \frac{E_a^c}{RT_p} + C \quad (4.13)$$

$$\ln(\beta) = -\frac{E_a^v}{RT_g} + C \quad (4.13)$$

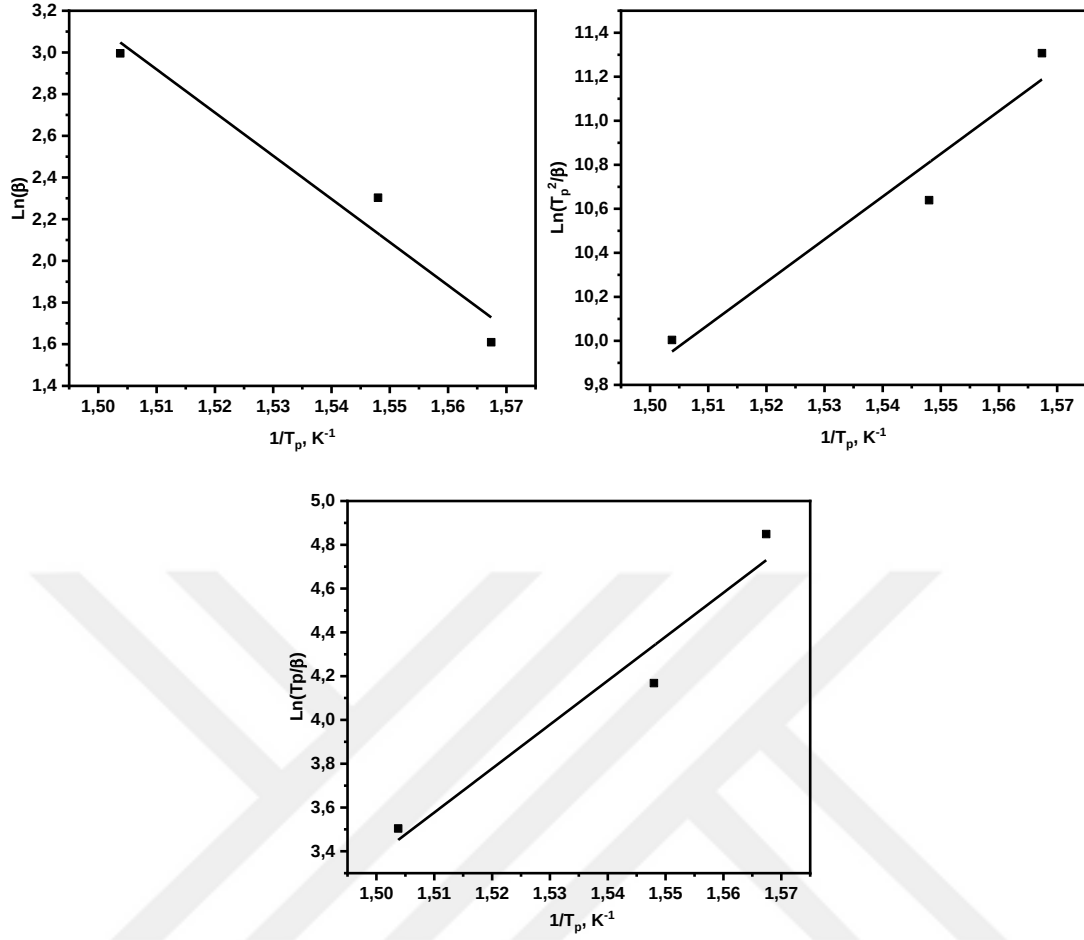
$$\ln\left(\frac{T_g^2}{\beta}\right) = \frac{E_a^v}{RT_g} + C \quad (4.13)$$

$$\ln\left(\frac{T_g}{\beta}\right) = \frac{E_a^v}{RT_g} + C \quad (4.13)$$

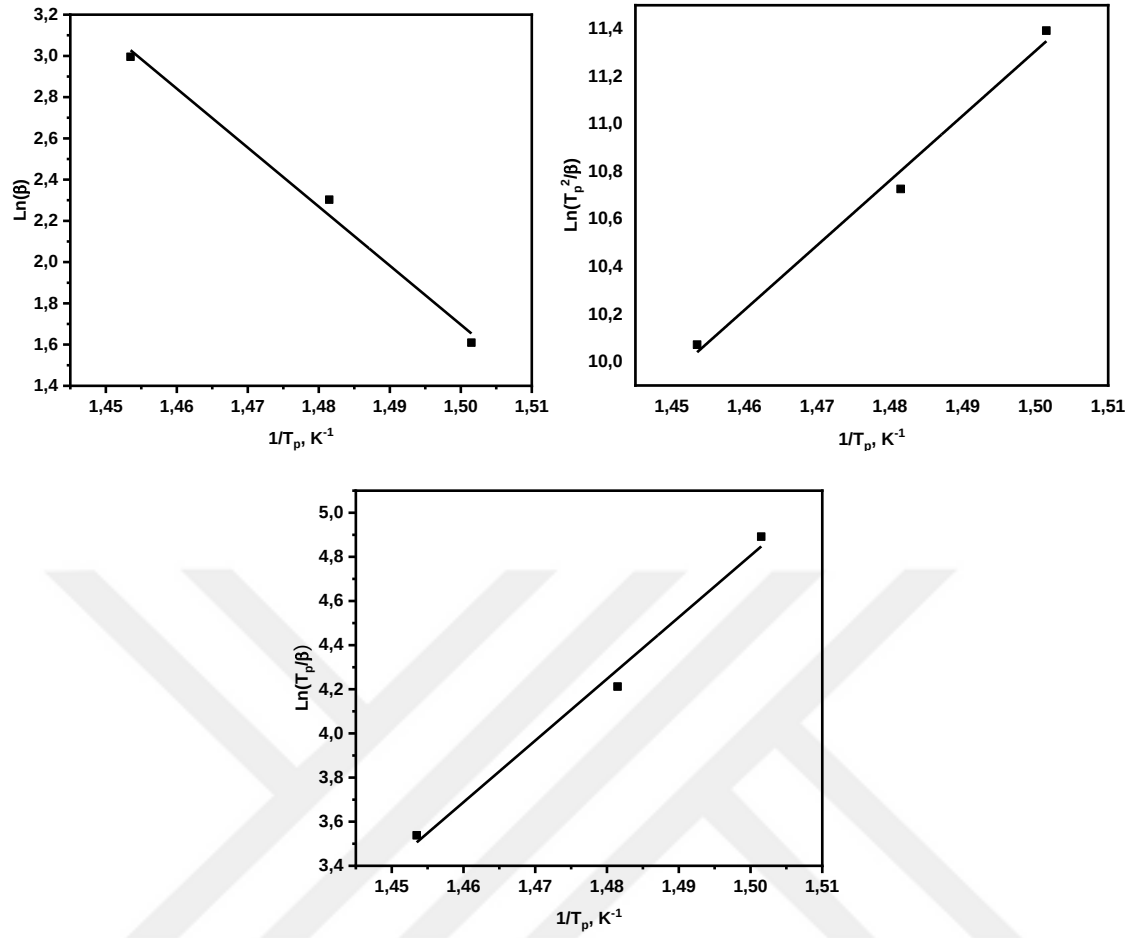
Burada, β , R , T_p , T_g ve C değişkenleri sırasıyla ısıtma hızı, gaz sabiti, kristallenme sıcaklığı, camı geçiş noktası ve sabit şeklinde tanımlanır.

Bu doğrultuda, sentezlenen BT5 ile BT20 arası numuneler için Ozawa yönteminde $\ln(\beta)$ vs $(1/T_p)$, Kissenger yönteminde $\ln(T_p^2/\beta)$ vs $(1/T_p)$ ve Augis-Bennet yönteminde $\ln(T_p/\beta)$ vs $(1/T_p)$ eğrileri sırasıyla Şekil 5.16 ile 5.19 kapsamında sunuldu. Bununla birlikte, eğrilerin eğimlerinin alınmasıyla da her bir cam serisi için 3 farklı yöntem ile hesaplanan E_a^c değerleri ise Çizelge 5.3 dahilinde özetlendi. Her bir cam serisi, 3 farklı yöntem dahilinde sunduğu E_a^c değerleri bakımından irdelendiğinde, hesaplanan değerlerin birbiri ile tutarlılık gösterdiği neticesine varılmaktadır. İstisna olarak, BT15 numunesinin Ozawa yöntemi ile hesaplanan E_a^c değerinin diğer 2 yönteme kıyasla oldukça yüksek bir aktivasyon enerji değeri çıkardığı göze çarpmaktadır. Yöntemler arasında yer alan bazı farkların, literatürde yapılan benzer çalışmalarda görülen farklılıklar ile bir paralellik gösterdiği karşımıza çıkmaktadır. Öte yandan, BT5 numunesi için Ozawa, Kissenger ve Augis-Bennet ile elde edilen E_a^c değerlerinin sırasıyla 172.4, 161.5 ve 166.9 kJ/ mol olduğu bulunurken, BT10 numunesi için bu değerler 231.3, 223.5 ve 229.1 kJ/ mol şeklindedir. Ayrıca, BT15 ve BT20 numuneleri için ise 3 farklı yöntemle hesaplanan E_a^c değerleri sırasıyla 303.2, 240.5 ve 246.3, ve 251.3, 246.2 ve 241.3 kJ/ mol olarak bulunmuştur. Bilindiği üzere, BT serisi camlarda, B₂O₃ ilave oranı molce %5'ten başlayıp molce %20'ye kadar yapıldı. Dolayısıyla, B₂O₃ ilavesi ile birlikte E_a^c değerlerinin ne

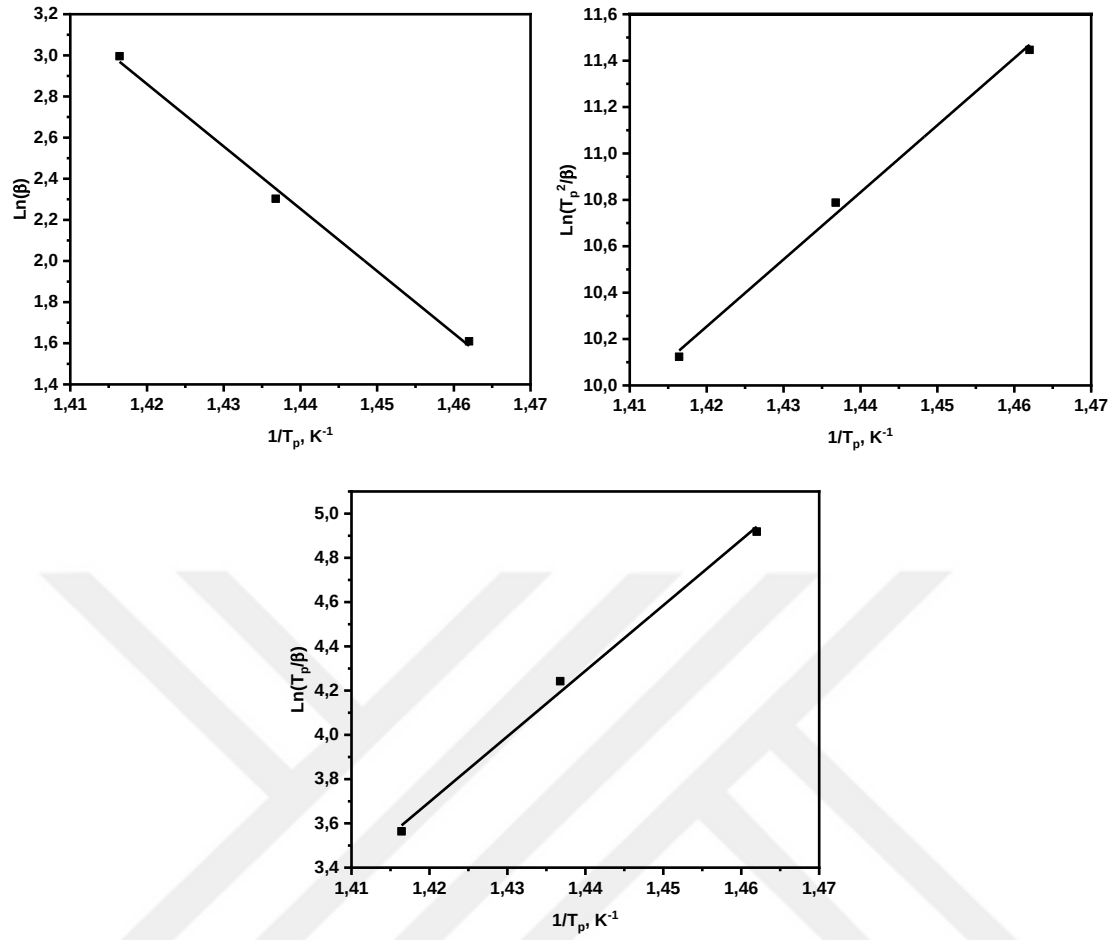
yönde değişim sergilediğinin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir. Bu bağlamda, Ozawa yöntemi dahilinde, B₂O₃ ilavesi yapıldıkça E_a^c parametresinin 172.4 kJ/ mol değerinden 251.3 kJ/ mol değerine yükseldiği görülmektedir. Önemle bildirilmelidir ki, E_a^c değeri molce % 15 katkı oranında 303.2 kJ/ mol olarak bir tavan değeri görmekte, ardından da molce % 20 katkılandırma olduğunda tekrardan molce % 10 katkı oranı değerine yakın bir değere düşmektedir. Kissenger yöntemi dahilinde B₂O₃ ilave oranı E_a^c açısından değerlendirildiğinde ise, katkı oranına paralel olarak E_a^c değerlerinde doğru orantılı bir artış meydana geldiği göze çarpmaktadır. Diğer yandan, Augis-Bennet dahilinde bir değerlendirme yapıldığında, B₂O₃ ilave oranı çerçevesinde Ozawa yöntemine benzer bir hareket gözlemlendiği, ancak E_a^c değerinin molce % 15 katkı oranından molce % 20 katkı oranına geçildiğinde, o denli yüksek bir artıştan düşüş eğilimine girmediği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, 3 farklı yöntem ile elde edilen E_a^c değerlerinin, B₂O₃ ilave oranı ile birlikte göstermiş olduğu değerlerden yola çıkılarak, molce % 15 katkı oranına kadar yapısal kararlılığın sağlandığı ve kristalizasyon eğiliminin yüksek aktivasyon enerjisine bağlı olduğu tespiti yapılabilir. Ancak, molce % 20 katkı oranı söz konusu olduğunda, yapısal kararlılığın düşme eğilimine girdiği ve kristalizasyon eğiliminin artar nitelikte hareket ettiği çıkarımı getirilebilir. Bu noktada da, molce % 15 katkı oranına kadar B₂O₃ ilavesinin bir cam yapıcı rol üstlendiği, fakat molce % 20 ilave oranı olduğunda ağ yapıyı düzenleyici rolüne girdiği şeklinde bir yorum nihayet olarak getirilebilmektedir.



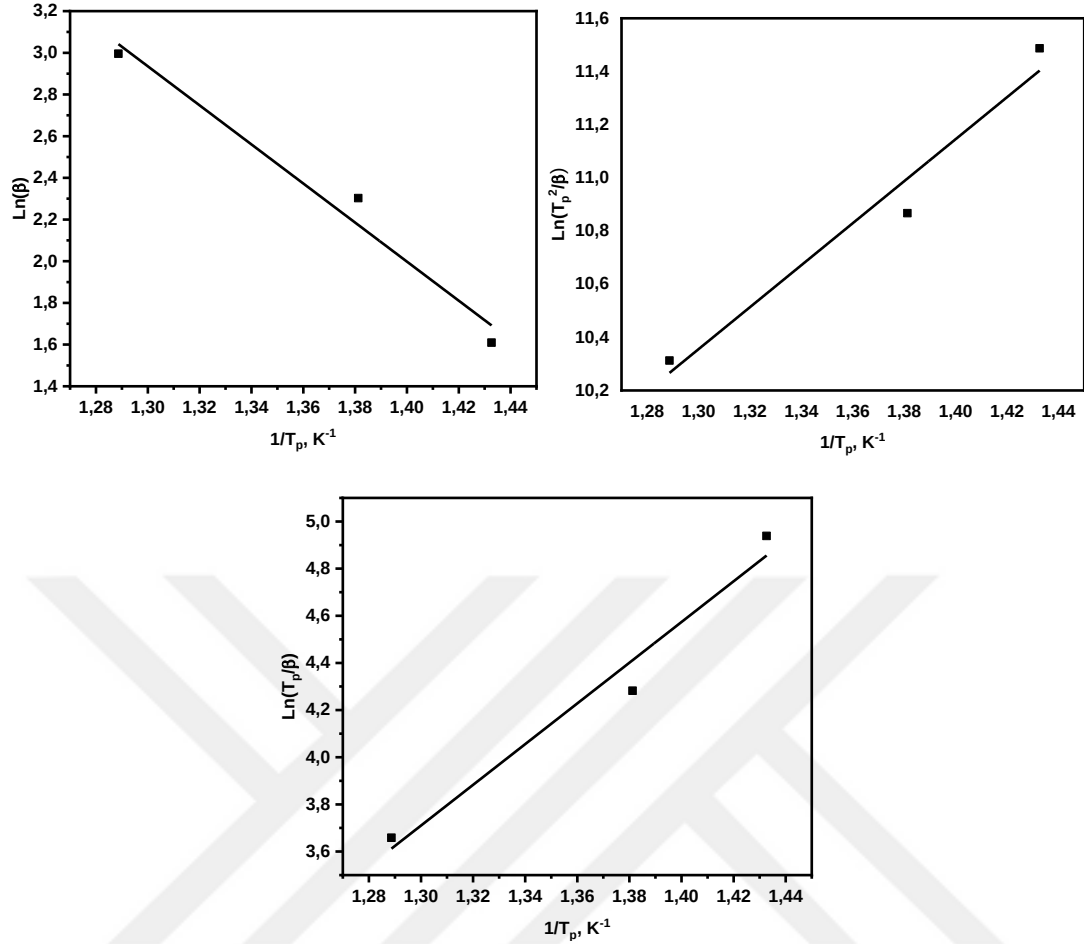
Şekil 5.16 Sentezlenen BT5 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.



Şekil 5.17 Sentezlenen BT10 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.



Şekil 5.18 Sentezlenen BT15 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.

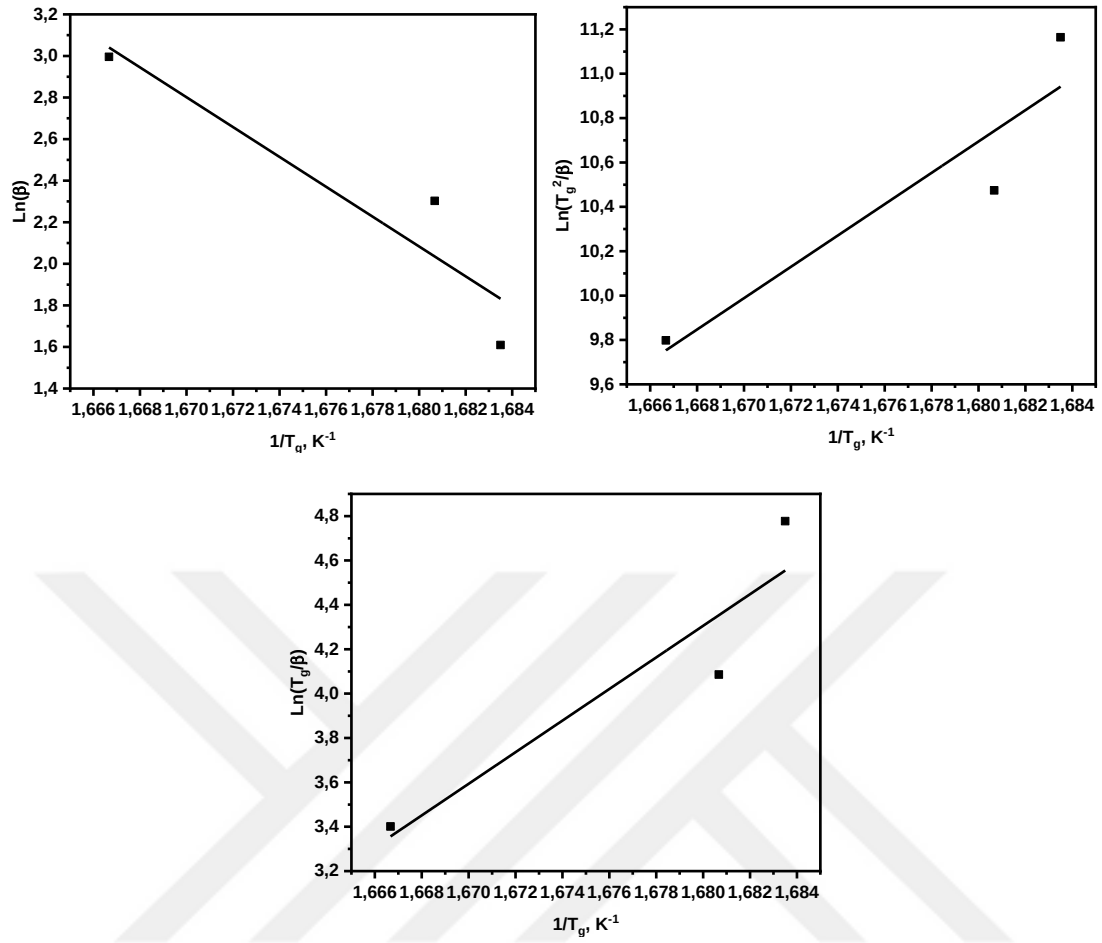


Şekil 5.19 Sentezlenen BT20 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^c eğrileri.

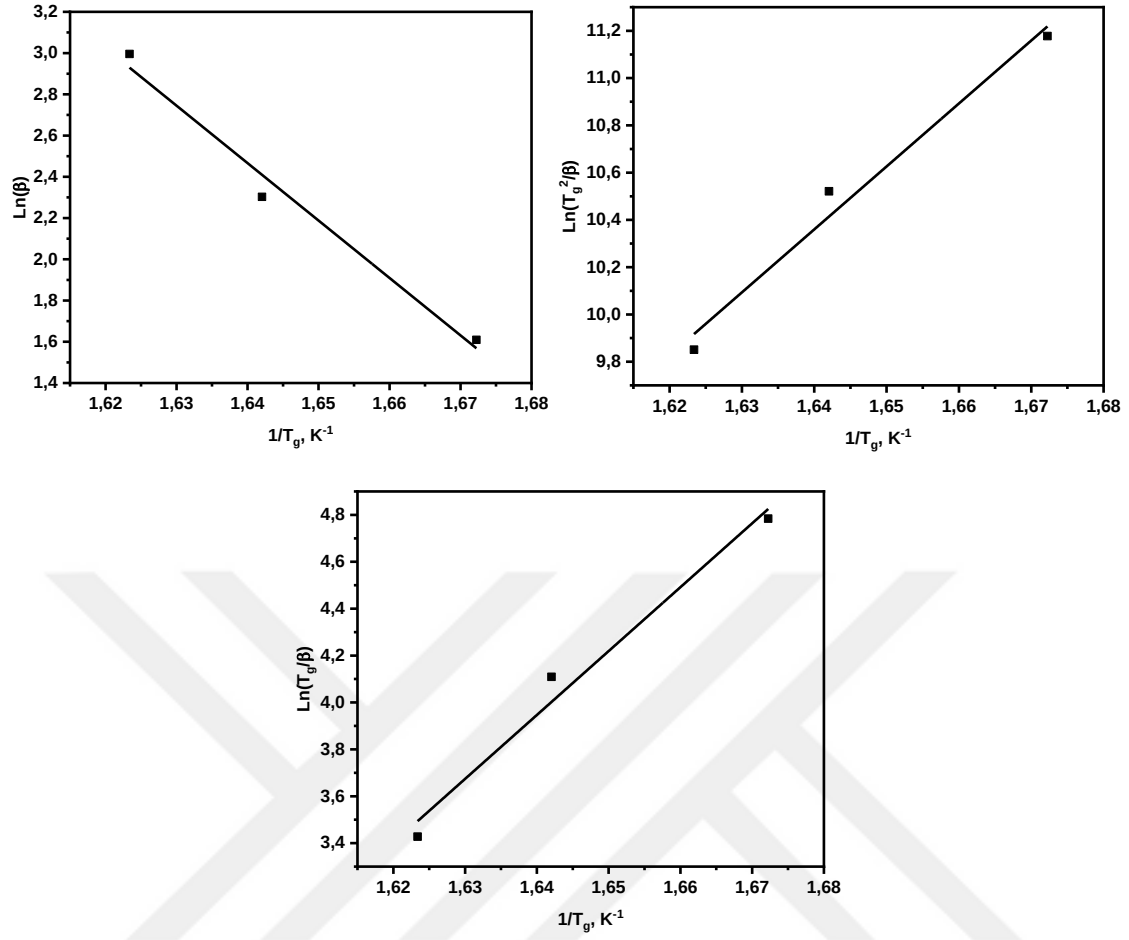
Çizelge 5.3 Kristallanma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin sentezlenen BT serisi camlar için 3 farklı yöntem ile hesaplanması.

Numune Kodu	E_a^c (kJ/ mol)		
	Ozawa	Kissenger	Augis-Bennett
BT5	172.4 $\pm$ 5	161.5 $\pm$ 5	166.9 $\pm$ 5
BT10	231.3 $\pm$ 3	223.5 $\pm$ 3	229.1 $\pm$ 3
BT15	303.2 $\pm$ 2	240.5 $\pm$ 2	246.3 $\pm$ 2
BT20	251.3 $\pm$ 3	246.2 $\pm$ 3	241.1 $\pm$ 3

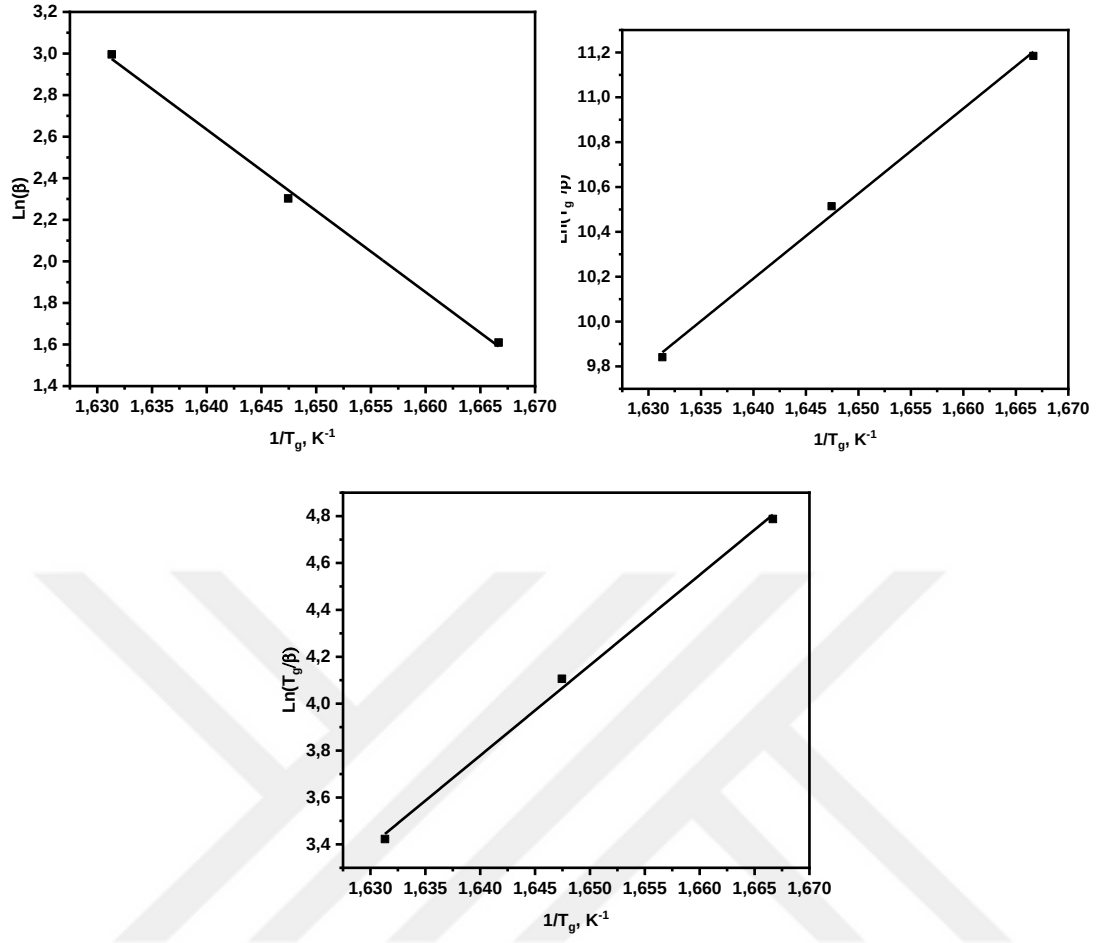
Kristallanma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin 3 farklı yöntem kullanılarak, sentezlenen BT serisi camlara uygulanması ve değerlerin ortaya konulması sonrasında, viskoz akış için gerekli aktivasyon enerjisinin (E_a^v) yine 3 farklı yöntem ışığında BT serisi camlara uygulanması adımı izlendi. Bu doğrultuda da, Ozawa yönteminde $\ln(\beta)$ vs $(1/T_g)$, Kissenger yönteminde $\ln(T_g^2/\beta)$ vs $(1/T_g)$ ve Augis-Bennet yönteminde $\ln(T_g/\beta)$ vs $(1/T_g)$ eğrileri sırasıyla Şekil 5.20 ile 5.23 kapsamında sunuldu. Ayrıca, ilgili eğrilerin eğimlerinin alınması neticesinde bulunan E_a^v değerleri ise sentezlenen cam serileri için Çizelge 5.4 dahilinde özetlendi. Sentezlenen BT serisi camların 3 farklı yöntem ile hesaplanan E_a^v değerlerine yakından bakıldığında, birbirleri ile bir uyum içerisinde oldukları, bir başka deyişle, 3 farklı yöntemdeki E_a^v değerlerinin ilgili cam serileri kapsamında yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Sentezlenen cam serilerinin E_a^v değerleri ise BT5 ile BT20 arasındaki numuneler için sırasıyla 587.0 ile 596.9 kJ/ mol, 221.6 ile 231.4 kJ/ mol, 315.1 ile 325.2 kJ/ mol ve 65.7 ile 80.0 kJ/ mol değerleri arasında değişim gösterdiği bulundu. Diğer yandan, B₂O₃ katkı oranının E_a^v değerleri üzerinde ne gibi bir değişikliğe sebep olduğunun vurgulanması oldukça kritiktir. Bu çerçevede de, Ozawa dahilinde bakıldığında, molce % 5 katkı oranında E_a^v değeri 596.9 kJ/ mol değerinde olurken molce % 20 katkı oranına çıkıldığında ciddi bir düşüş gösterdiği ve 80.0 kJ/ mol olduğu görülebilmektedir. Bununla beraber, Kissenger ve Augis-Bennet dahilinde E_a^v değerlerinin artan B₂O₃ katkı oranının bir fonksiyonu olarak değişimine detayda bakıldığında, sırasıyla, molce % 5'ten molce % 20'ye çıkıldığında, 587.0 kJ/ mol değerinden 71.8 kJ/ mol değerine, ve 592.0 kJ/ mol değerinden 65.7 kJ/ mol değerine düştüğü karşımıza çıkmaktadır. Esasen, E_a^v değerlerinde görülen bu çarpıcı düşüş ile birlikte B₂O₃ ilavesindeki artışın, BT cam sistemi dahilinde viskoz akış için gerekli olan enerjiyi düşürür yönde katkı sağladığı çıkarımı yapılabilir. Bununla beraber, viskoz akış için gerekli olan aktivasyon enerjisinin molce % 20 katkı oranında epey düşüyor olması, B₂O₃ içeriğinin BT cam sisteminde ağ düzenleyici bir rol alması ile elde edildiği çıkarımı yapılabilir. Dolayısıyla, viskoz akışa karşı direncin yüksek B₂O₃ ilave oranı ile kırılabilirdiği ve cam sisteminde eriyik oluşumunun desteklendiği sonucuna varılabilir.



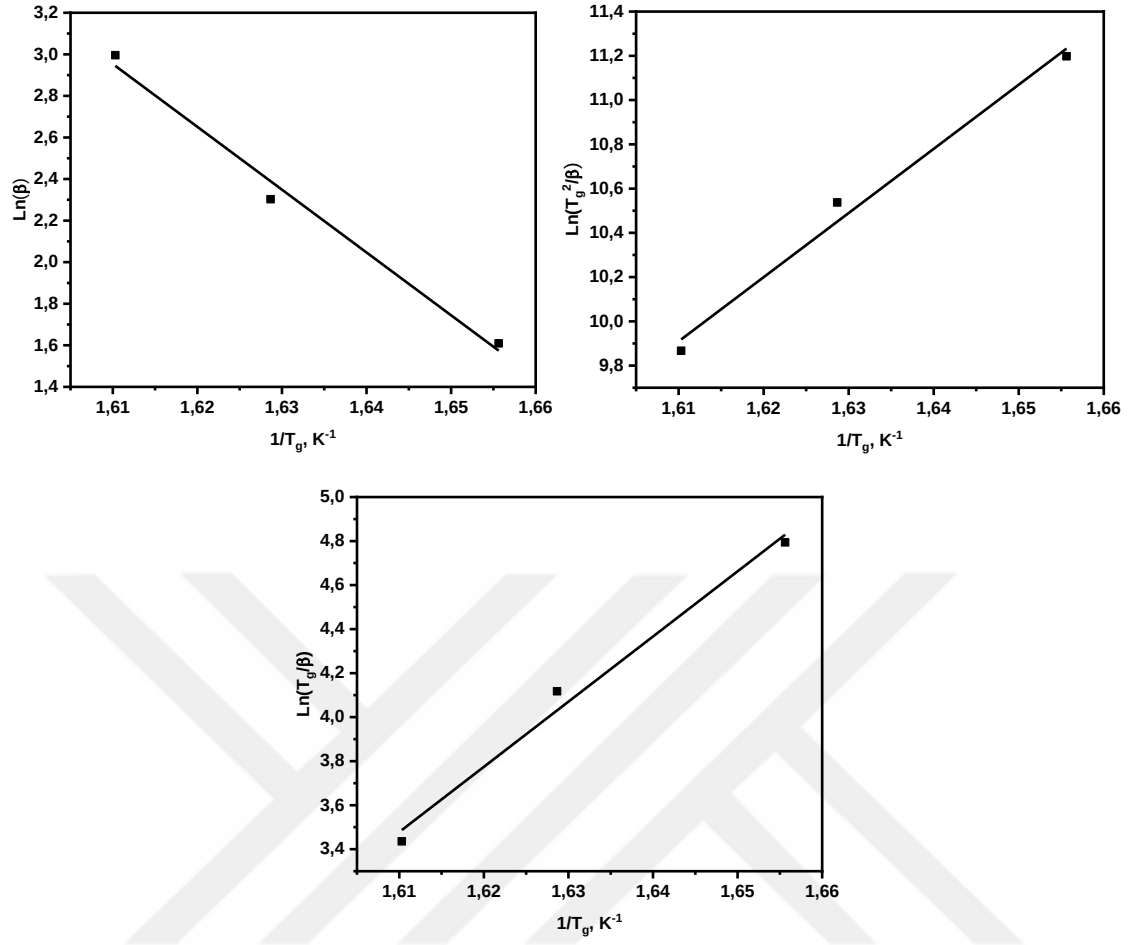
Şekil 5.20 Sentezlenen BT5 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.



Şekil 5.21 Sentezlenen BT10 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.



Şekil 5.22 Sentezlenen BT15 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.



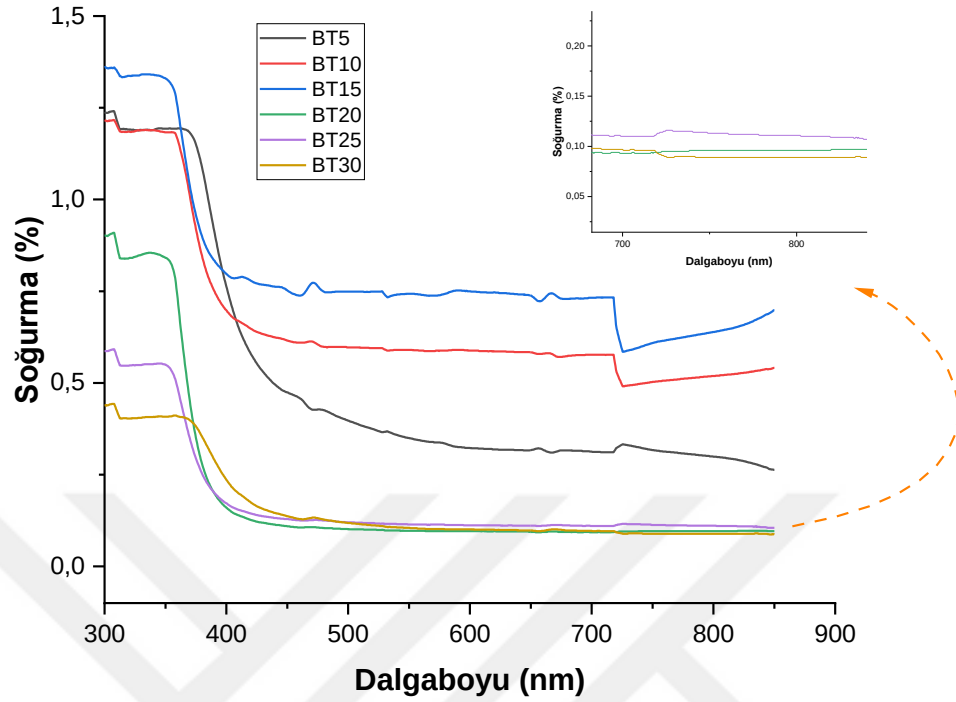
Şekil 5.23 Sentezlenen BT20 numunesine ait Ozawa (sol-üst), Kissenger (sağ-üst) ve Augis-Bennet (alt) yöntemleri ile elde edilen E_a^v eğrileri.

Çizelge 5.4 Kristallanma için gerekli olan aktivasyon enerjisinin sentezlenen BT serisi camlar için 3 farklı yöntem ile hesaplanması.

Numune Kodu	E_a^v (kJ/ mol)		
	Ozawa	Kissenger	Augis-Bennett
BT5	596.9 $\pm$ 27	587.0 $\pm$ 27	592.0 $\pm$ 27
BT10	231.4 $\pm$ 4	221.6 $\pm$ 4	226.6 $\pm$ 4
BT15	325.3 $\pm$ 2	315.1 $\pm$ 2	320.2 $\pm$ 2
BT20	80.0 $\pm$ 2	71.8 $\pm$ 2	65.7 $\pm$ 2

5.1.4 Optik Özellikler

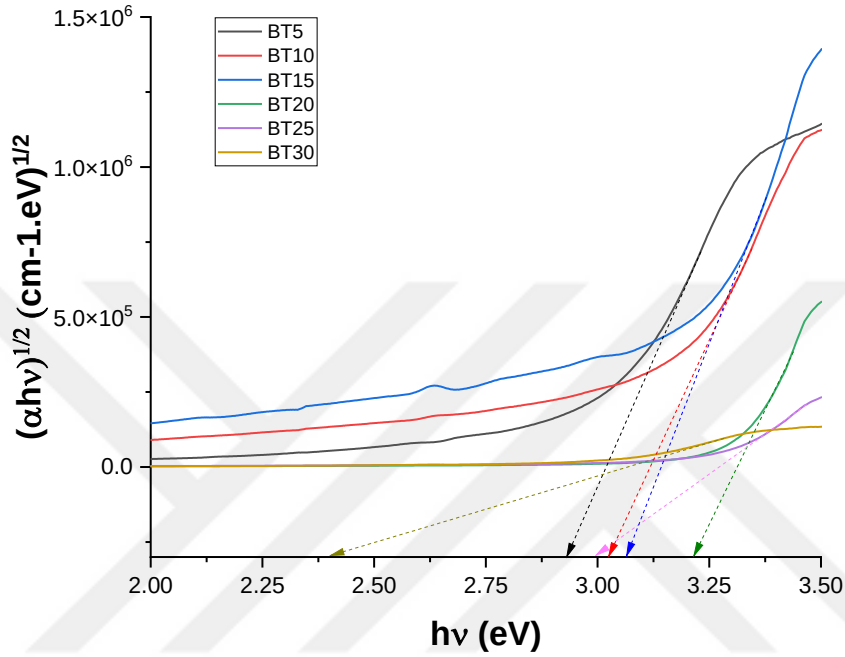
Optik özellikler değerlendirilirken madde-ışın arasındaki etkileşim önem arz eder. Burada, kırınım, soğurma ve geçirim olarak üç temel kriter mevcuttur. Radyasyon soğurma uygulamalarında geçirimin mümkün olduğunca az, kırınım ve soğurmanın ise mümkün olduğunca çok olması istenir. Böylelikle, zararlı ışımaların soğurulması ve/veya durdurulması gerçekleştirilmiş olur. Buradan hareketle, *BT* serileri için elde edilen dalgaboyuna karşılık soğurma eğrileri Şekil 5.24'te verildi. Tüm eğriler genel olarak incelendiğinde, bariz bir soğurma piki oluşmadığı görülmektedir. Öte yandan, artan B_2O_3 katkı oranına göre bir kıyaslama yapıldığında iki farklı yorum ortaya çıkar. İlki, görünür ışık dalgaboyları arasında (400 ile 700 nm) artan B_2O_3 katkı oranı ile birlikte soğurma oranları $BT15 > BT10 > BT5$ şeklinde elde edilir. Diğer bir deyişle, B_2O_3 katkısı sayesinde *BT* serisi camların soğurma kabiliyetlerinin arttığı ve böylelikle de geçirimin azaldığı çıkarımı yapılabilir. İkinci yorum ise, *BT20* ile *BT30* numuneleri üzerine yapılabilir. Şöyle ki, her 3 cam numunesinin de soğurma oranları *BT5* ile *BT15* numunelerine kıyasla daha düşük bulunur. Bu durumda, B_2O_3 ilavesinin molce % 15 üzerine çıkması durumunda optik özelliklerin bozunuma uğradığı çıkarımı yapılabilir. Diğer yandan, *BT20* ile *BT30* numuneleri kendi içlerinde katkı oranlarına göre kıyaslandığında, 400 ile 500 nm arasında artan B_2O_3 ilavesinin soğurma özelliklerini iyileştirdiği görülebilir. 500 nm sonrasında ise birbirine benzer nitelikte soğurma spektrumlarının ortaya çıktığı ve aralarında nispi farklı meydana geldiği açıktır. Netice olarak, B_2O_3 katkı oranının molce % 15 üzerine çıkarılması soğurma spekturumunda azalıma yol açtığı ve optik özellikleri olumsuz etkilediği rapor edilmektedir.



Şekil 5.24 BT serilerine ait dalgaboyuna karşılık soğurma eğrileri.

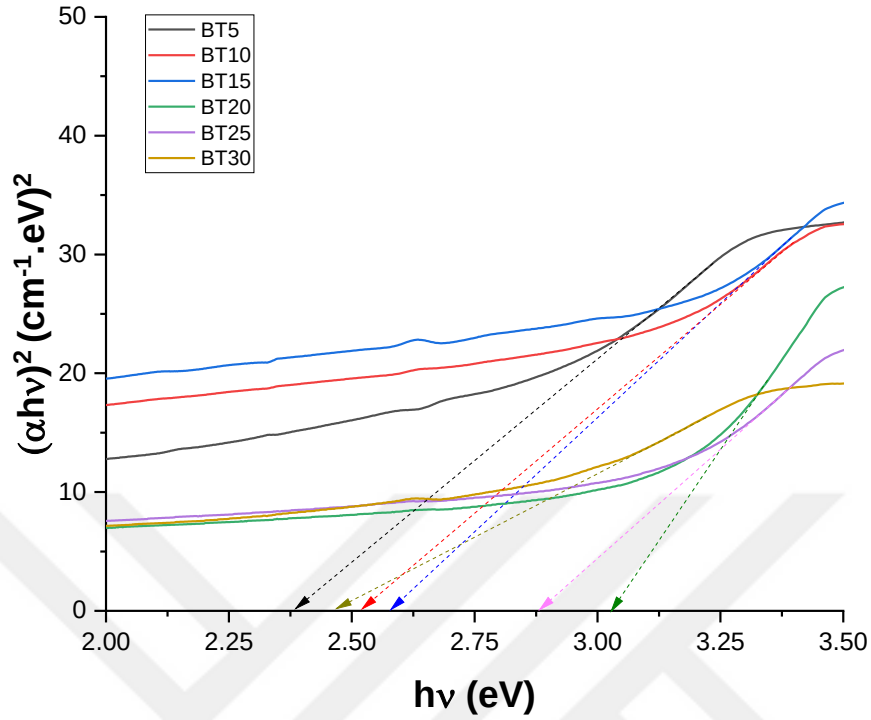
Soğurma eğrilerinin kullanılması ile bazı önemli parametrelerin hesaplanması gerçekleştirildi. Şekil 5.25'te doğrusal enerji bant aralığı değerlerinin (E_g^d), $(ah\nu)^{1/2}$ vs. $h\nu$ kullanılarak, ne yönde değiştiği bulundu. Görüldüğü üzere, doğrusal enerji bant aralığı değerleri artan B_2O_3 katkı oranı ile birlikte artış gösterirken, molce % 20 ilave oranından sonra çarpıcı düşüş gösterir. Değerlere bakıldığında, BT5 - BT20 numuneleri için sırasıyla 2.93, 3.03, 3.07 ve 3.22 eV şeklinde artış elde edilirken, BT25 ve BT30 numuneleri için sırasıyla 2.99 ve 2.40 eV olarak elde edilir. Bu durumda, BT serisi cam numunelerin artan B_2O_3 konsantrasyonuna paralel olarak enerji bant aralıklarının molce % 20 değerine kadar artış gösterdiği, dolayısıyla geçirim oranlarının arttığı sonucuna varılırken, yaşanan durumun molce % 20 katkı ve üzeri halinde tersine çevrildiği ve azalan enerji bant aralığı ile beraber düşen geçirim oranlarının elde edildiği görülmektedir. Bu durumun ardında yatan sebep değerlendirildiğinde, B_2O_3 içeriğinin daha yüksek enerji bant aralığı değerine sahip olduğu, > 10 eV, TeO_2 içeriğinin ise 3.32 eV değerinde olması verilebilir (Sayyed vd. 2018c). Fakat, 20 mol% katkı oranı sonrasında yaşanan çarpıcı düşüşün nedeni

olarak ise yapısal sıkılık yaşanması, yani BO_3 yapısından BO_4 yapısına dönüşümü, verilebilir. Özetle, sistemden TeO_2 içeriğinin çıkması ve B_2O_3 içeriğinin artması ile birlikte enerji bant aralığının B_2O_3 katkı oranı açısından molce % 20 olana kadar arttığı, sonrasında ise molce % 30 katkı oranına kadar düştüğü rapor edilebilir.



Şekil 5.25 Doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin B_2O_3 katkı oranına göre değişimi.

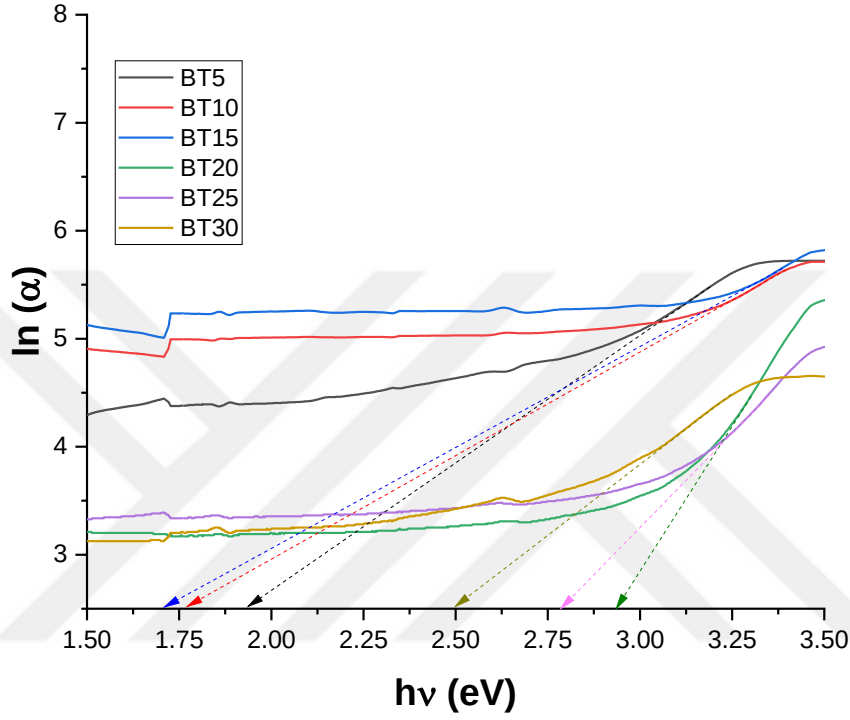
Bununla birlikte, doğrusal olmayan enerji bant aralığına (E_g^{ind}) ilişkin kıyaslama Şekil 5.26'da verildi. Artan B_2O_3 katkı oranı, E_g^{ind} değerlerinin artış göstermesine neden olmaktadır. Ancak, bu durum, E_g^d değerlerine olduğu gibi, molce % 20 ilave oranı sonrasında düşüş şeklinde gerçekleşti. Değerlere bakıldığında, BT5'ten BT20'ye kadar sırasıyla 2.39, 2.52, 2.58 ve 3.03 eV olurken, BT25 ve BT30 için sırasıyla 2.88 ve 2.47 eV elde edildi. Netice olarak, doğrusal olmayan enerji bant aralığının azaltılması için B_2O_3 katkısının ya molce % 10 altında ya da molce % 20 üzerinde olmasının faydalı olduğu sonucuna varılmaktadır.



Şekil 5.26 Artan B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) değerleri.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin sentezlenen cam serilerine ilişkin değerlendirilmesinin ardından Şekil 5.27’de Urbach (E_U) enerjilerinin ne yönde değiştiği irdelendi. Urbach enerjisi, yapısal bozukluk derecesini nitelemekle birlikte enerji bant kenarlarındaki enerji bozukluğunu ölçmek için değerlendirilir. Esasen, E_U artması ile birlikte yapısal bozukluğun artış gösterdiği gibi bir yorum getirilebilmektedir (Alzahrani vd. 2022b). Elde edilen eğriler neticesinde E_U enerjileri, BT5- BT30 için, sırasıyla, 1.94, 1.77, 1.71, 2.95, 2.79 ve 2.51 eV olarak bulundu. Görüleceği üzere, B_2O_3 konsantrasyonunun 15 mol% değerine kadar çıkarılması E_U enerjilerini düşürürken, bu katkı oranının üzerine çıkılması ani bir artışa sebep olmaktadır. Diğer bir deyişle, molce % 15 B_2O_3 ilavesi ile birlikte yapısal bozunum azalırken, bu durumda B_2O_3 katkısının ağ yapıcı rolünde bulunduğu çıkarımı getirilebilir. Aksine, B_2O_3 ilavesi molce % 20 üzerine çıktığında, bariz bir artış ile beraber yapısal bozunumun arttığı, dolayısıyla da B_2O_3 katkısının ağ düzenleyici rolünü aldığı düşünülmektedir. Ancak, yine katkı oranının molce 20 % üzerine artar yönde hareket etmesi E_U enerjilerini düşürür nitelikte etki

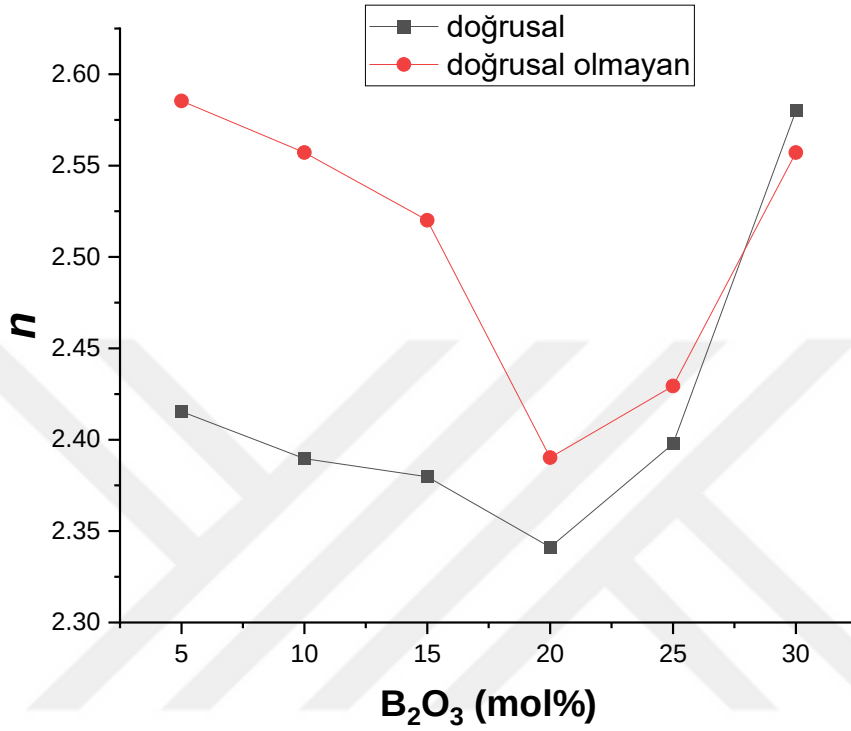
etmektedir. Dolayısıyla, düşük E_U değerlerinin elde edilebilmesi için ikili boro-tellürit cam sisteminde molce % 15 katkı oranlı B_2O_3 ilavesinin yapılması gerektiği (ağ yapıcı rol istenirse), diğer durumda ise en az molce % 20 olması gerektiği (ağ düzenleyici rol istenirse) sonucuna varılabilir.



Şekil 5.27 Urbach enerji değerlerinin B_2O_3 katkılandırması ile değişimi.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin her bir numune için tespit edilmesi ile birlikte doğrusal (n_d) ve doğrusal olmayan (n_{ind}) kırınım indisleri hesaplandı, ve hesaplanan değerler Şekil 5.28’de verildiği üzere sunuldu. Artan B_2O_3 ilavesi ile her iki parametrede de düşüşler gerçekleşti. Doğrusal kırınım indisi değerlerine bakıldığında 2.4154’ten 2.3791 değerine düşüş ve doğrusal olmayan kırınım indisi değerlerinde ise 2.5854’ten 2.5398 değerine düşüş olduğu görüldü. Kırınım indisi parametresinde elde edilen değişimler BT20 numunesinde en düşük halde bulunurken (2.3412), bu durumun esasen madde-ışın etkileşimi çerçevesinde geçirim oranlarının arttığını işaret ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle de, düşük B_2O_3 oranlarının takip edilmesi nihai kırınım indisi değerinin yüksek kalmasına olanak tanıdığı görülmektedir. Dolayısıyla, *BT* cam

sisteminde ya en düşük ya da en yüksek B_2O_3 oranları takip edilerek yüksek kırınım indisi değerlerine ulaşılabılır rapor edilebilir.



Şekil 5.28 Doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisi parametrelerinin B_2O_3 ilavesine karşılık değişimleri.

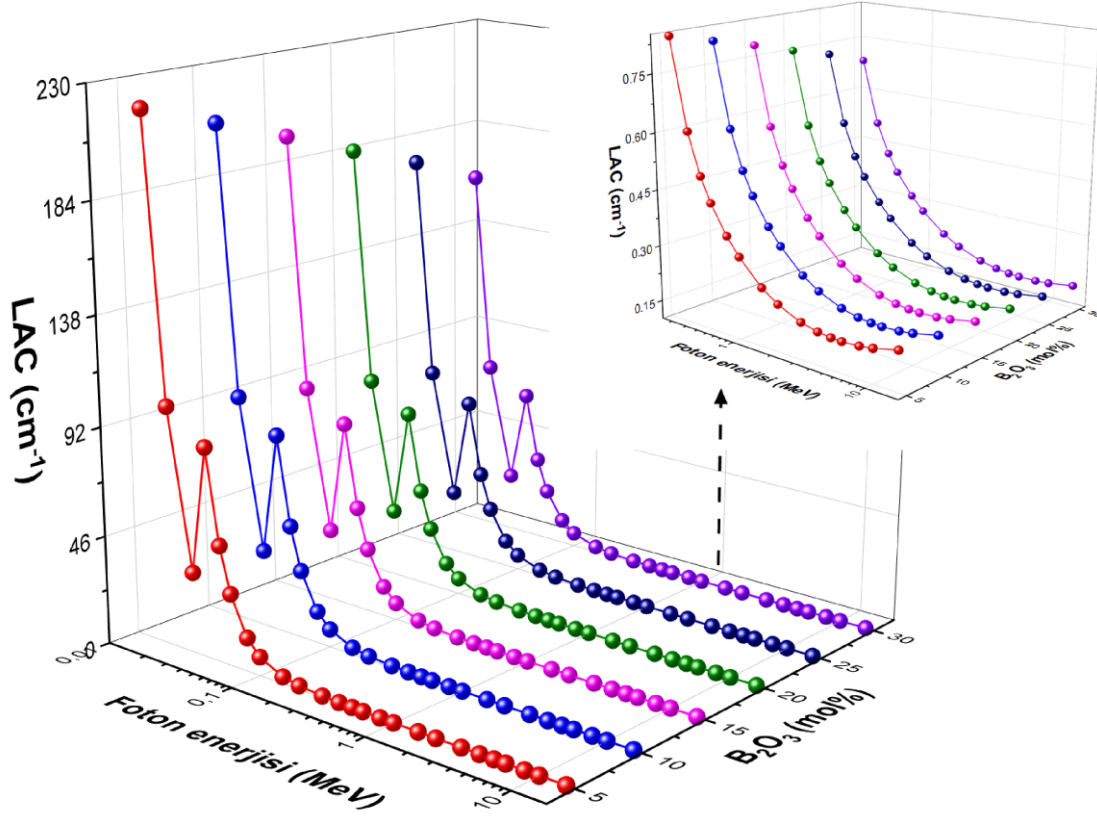
5.1.5 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri

Radyasyon soğurma kabiliyetlerinin ortaya çıkarılabilmesi maksadıyla en önemli parametrelerden birisi olan doğrusal soğurma katsayısı (LAC) bulunmalıdır. Bir malzemenin radyasyona karşı soğurma amacıyla kullanılabilmesi için mümkün olduğunda yüksek LAC değerine sahip olması istenir, böylelikle de gelen fotonun enerjisi soğurularak, ısımanın ilgili malzeme boyunca geçirim engellenir (Alotaibi vd. 2021, Poojha vd. 2022). Buradan hareketle, BT cam sistemine dair LAC değerlerinin ne yönde değişim gösterdiğinin belirlenebilmesi amacıyla teorik hesaplama bulguları Şekil 5.29’da da sunuldu. Öncelikle, artan foton enerjisinin LAC değerleri üzerindeki etkisini irdelemek gerekir. Öyle ki, düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, LAC değerleri

oldukça yüksek ($> 150 \text{ cm}^{-1}$) bulundu. Orta foton enerji seviyelerinde doğru hareket edildiğinde, örneğin 0.1 MeV, *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş ($< 8 \text{ cm}^{-1}$) yaşandı. Daha yüksek foton enerji seviyelerine doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, *LAC* değerlerinin daha da düşüş sergilediği ($< 0.3 \text{ cm}^{-1}$) görüldü. Foton enerji seviyelerine göre yaşanan bu *LAC* değişimleri, genellikle iyi bilinen 3 tip mekanizmaya atfedilebilir. Düşük, orta ve yüksek foton enerji seviyelerindeki hareketler sırasıyla fotoelektrik etki (*photoelectric effect*), Compton saçılımı (*Compton scattering*) ve eşli oluşum süreci (*pair production process*) olarak anlamlandırılabilir (Lakshminarayana vd. 2022, Sayyed vd. 2022). Öte yandan, *LAC* değerlerinin bu yönde hareket ediyor olması diğer literatür çalışmalarına paralel niteliktedir (Saleh vd. 2022, Zakaly vd. 2021).

Foton enerji seviyelerindeki değişimlerin *LAC* değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde artan B_2O_3 katkı oranının ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiğinin açıklanması gerekir. İkili boro-tellürit cam sistemi dahilinde B_2O_3 oranının artması *LAC* değerlerinin düşüş yönünde hareket etmesine neden olduğu görüldü. Zira, bu düşüşler düşük, orta ve yüksek enerji seviyelerinde tüm numuneler için benzer şekildedir. B_2O_3 konsantrasyonunun molce % 5'ten 30 değerine çıkması *LAC* parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 219.42'den 161.53 cm^{-1} değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 7.89'dan 5.87 cm^{-1} değerine, son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 0.32'den 0.27 cm^{-1} değerine, düşmesine neden olmaktadır. Halbuki, *LAC* değerlerinin mümkün olduğunca yüksek değerlerde seyretmesi arzu edilir. Bu noktada, artan B_2O_3 katkı oranının *BT* serilerinin *LAC* değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılabilir. Yaşanılan bu durumun ardında ise B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içeriğinin TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) içeriğine kıyasla daha düşük yoğunluk değerine sahip olması verilebilir. Nitekim, çeşitli literatür çalışmalarında elde edilen bulgular da anılan durumu destekler niteliktedir (Stalin vd. 2021, Yin vd. 2022b). Yani, yoğunluk ne kadar yüksekse, *LAC* değeri o kadar yüksek olur. Diğer yandan, literatür tarafından rapor edilen, yoğunluk arttıkça *LAC* değerinin artması, bulgusu da çalışma dahilinde bir kez daha doğrulanmaktadır. Son olarak ise, 0.03 MeV foton enerji seviyesi civarında *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş olduğu tespit edilirken, bu durumun *Te* elementinin karakteristik K- absorpsiyon enerjisi (0.031 MeV) olduğunu vurgulamak gerekir (İnt. Kny. 6). Netice itibarıyla, artan foton enerji seviyelerinin nihai *LAC* değerlerini düşürür

yönde etkide bulunduğu, bununla beraber B_2O_3 katkı oranındaki artışın da benzer şekilde LAC değerlerini azalttığı rapor edilebilmektedir.



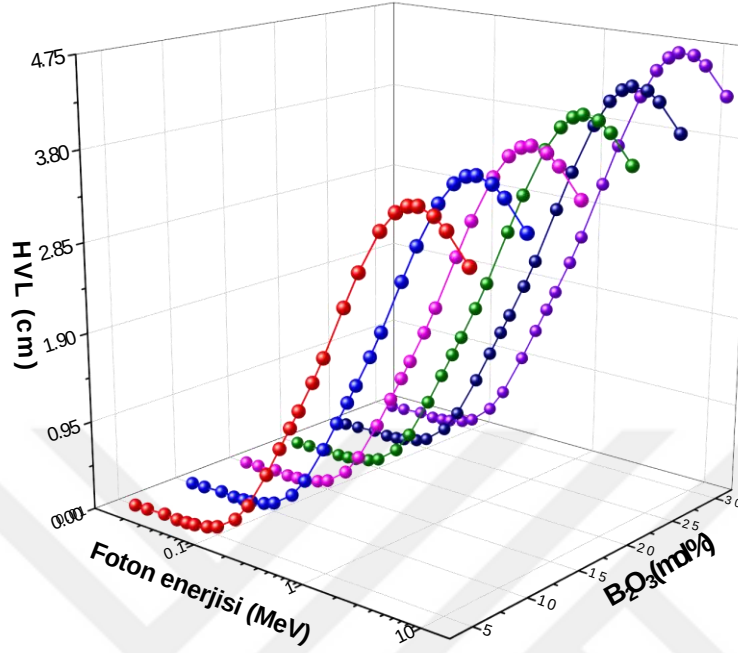
Şekil 5.29 Artan B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak farklı foton enerji seviyelerinde (0.15- 15 MeV) doğrusal soğurma katsayısındaki (LAC) değişimler.

Hesaplanan LAC değerlerinden yola çıkılarak diğer önemli radyasyon soğurma parametreleri hesaplanabilir. Bu parametrelerin arasında yarı-değer katmanı (HVL) oldukça önemlidir. HVL parametresi, gelen foton enerjisinin, madde içerisinde başlangıç enerji seviyesine kıyasla yarı değerine indirildiği kalınlığı belirtir (Sayed El-Ahll vd. 2022). Böyle olduğunda da, madde tarafından foton enerjisinin soğurulması ve öteye taşınmaması kapsamında HVL değeri önemli bilgiler sunar. Ayrıca, radyasyon soğurucu malzemenin tasarım aşamasında HVL kalınlıklar bir hayli önemlidir, çünkü foton enerji

seviyeleri bilinen bir uygulamada nihai malzeme kalınlığının çeşitli kriterler ile birlikte değerlendirilmesine olanak tanır. Bununla beraber, *HVL* değerlerinin mümkün olduğunca düşük olması beklenir, böylelikle de uygulama alanında bir enerji seviyesi için düşük olarak elde edilen kalınlığın, ilgilenilen malzeme kalınlığı daha yüksek tutularak, performans artışı sağlanabilir (Abouhaswa vd. 2022). Bu noktada, *BT* cam sistemine ait *HVL* kalınlık değerlerinin tespiti açısından Şekil 5.30'da yer alan teorik hesaplamalar için çizim oluşturuldu. Öncelikle, artan foton enerjisinin *HVL* değerleri üzerindeki etkisini irdelemek gerekir. Burada, düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, *HVL* değerleri oldukça düşük (< 0.004 cm) olarak meydana çıkmaktadır. Orta foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe, örneğin 0.1 MeV, *HVL* değerlerinde bir artış (> 0.088 cm) yaşanmaktadır. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, *HVL* değerlerinin daha da arttığı (> 2.1 cm) açıkça görülmektedir. Elde edilen bu artış yönündeki değişimler, pek çok literatür bulgusu ile paralellik gösterir durumdadır (D'Souza vd. 2022, Sangwaranatee vd. 2021).

Diğer taraftan, foton enerji seviyelerindeki değişimlerin *HVL* değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde artan B_2O_3 katkı oranının ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiğinin açıklanması gerekir. İkili borotellürit cam sistemi dahilinde B_2O_3 oranının artması *HVL* değerlerinin artış yönünde hareket etmesine neden olduğu görüldü. Nitekim, bu artışlar düşük, orta ve yüksek enerji seviyelerinde tüm numuneler için benzer şekildedir. B_2O_3 konsantrasyonunun molce % 5'ten 30 değerine çıkması *HVL* parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 0.0031'den 0.0043 cm değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 0.088'den 0.118 cm değerine, ve son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 2.18'den 2.54 cm değerine, çıkmasına sebebiyet vermektedir. Halbuki, *HVL* değerlerinin mümkün olduğunca düşük değerlerde olması arzu edilir. Bu durumda, artan B_2O_3 katkı oranının *BT* serilerinin *HVL* değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Yaşanılan bu durumun ardında ise B_2O_3 (69.63 g.mol^{-1}) içeriğinin TeO_2 (159.6 g.mol^{-1}) içeriğine kıyasla daha moleküler ağırlık değerine sahip olması verilebilir. Yaşanılan bu durum, çeşitli literatür çalışmalarında elde edilen bulgular ile benzerlik göstermektedir (Al-Buriah vd. 2020a). Sonuç olarak, artan foton enerji seviyelerinin nihai *HVL* değerlerini arttırır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber B_2O_3 katkı oranındaki artışın da benzer

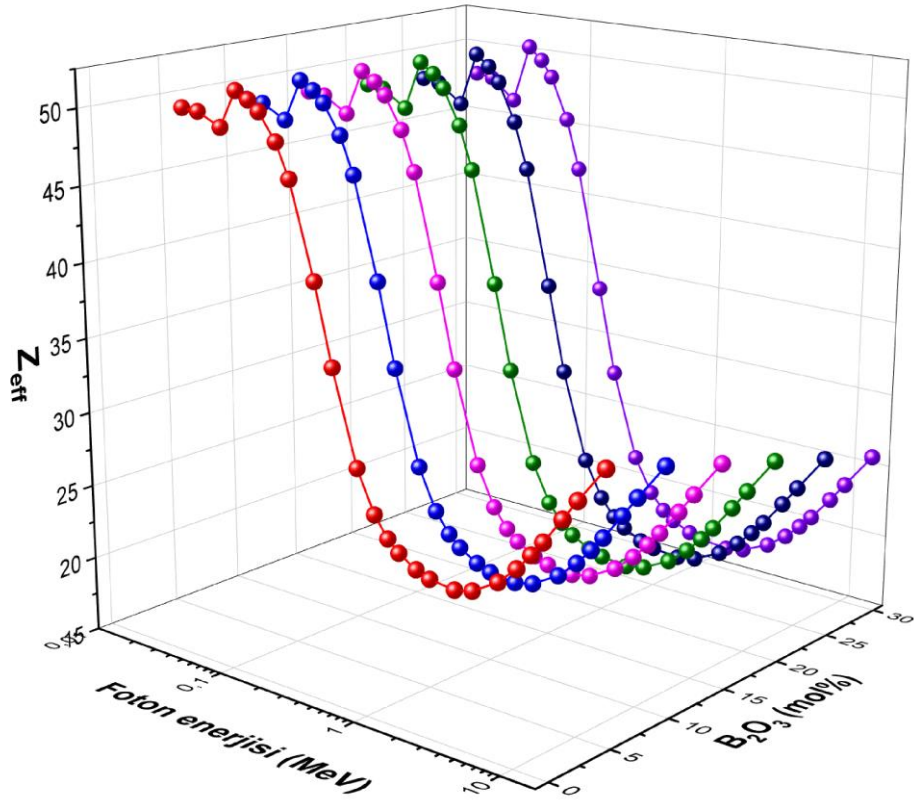
şekilde *HVL* değerlerini arttırdığı bulundu.



Şekil 5.30 Artan foton enerjisi ve B₂O₃ katkı oranına bağlı olarak yarı-değer katmanı (*HVL*) parametresindeki değişimler.

Bir diğer önemli parametre olan etkin atom numarası (Z_{eff}), gama ışını absorpsiyon özelliklerini yorumlamak için kullanılan çok önemli bir parametredir ve belirli bir enerji değeri için sorumlu atom numarası değerini gösteren hayati bir bilgi parçasıdır (Alshahrani vd. 2022, Ali vd. 2020). Prensipte, Z_{eff} değeri ne kadar yüksek olursa, radyasyon soğurma özelliklerinin o kadar iyi olacağı bilinmektedir (Mhareb vd. 2020). Zira, atomik ağırlığı yüksek olan elementlerin kompozisyona dahil edilmesiyle birlikte Z_{eff} değerinde artış meydana gelmektedir. Buradan hareketle, Şekil 5.31’de kapsamında *BT* numunelerinin farklı foton enerji seviyelerindeki Z_{eff} değerleri bulunmaktadır. Artan foton enerjisi ile birlikte Z_{eff} değerlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Özellikle, düşük foton enerjilerinde, örneğin 0.015 MeV, Z_{eff} değerleri oldukça yüksek (> 47) haldedir. Orta foton enerji seviyelerinde doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, Z_{eff} değerlerinde bir düşüş (< 45) ile karşılaşıldı. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, Z_{eff} değerlerinin daha da düştüğü (< 22) görüldü.

Diğer taraftan, foton enerji seviyelerindeki değişimlerin Z_{eff} değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde artan B_2O_3 katkı oranının ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiği irdelendi. İkili boro-tellürit cam sistemi dahilinde B_2O_3 oranının artması Z_{eff} değerlerinin düşüş yönünde hareket etmesine neden olduğu tespit edildi. Bu düşüşler ise, orta ve yüksek enerji seviyelerinde tüm numuneler için benzer şekildedir. B_2O_3 katkı oranının artması, Z_{eff} parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 49.33'ten 47.84 değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 45.96'dan 42.00 değerine, ve son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 22.22'den 16.69 değerine, düşmesine neden olmaktadır. Halbuki, Z_{eff} değerlerinin mümkün olduğunca yüksek değerlerde olması istenir. Nihayetinde, artan B_2O_3 katkı oranının BT serilerinin Z_{eff} değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu anlaşıldı. Yaşanılan bu durumun ardında ise B_2O_3 (Z: 5) içeriğinin TeO_2 (Z: 52) içeriğine kıyasla daha düşük atom numarasına sahip olması düşünüldü. Neticede, artan foton enerji seviyelerinin nihai Z_{eff} değerlerini azaltır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber B_2O_3 katkı oranındaki artışın da benzer şekilde Z_{eff} değerlerini düşürdüğü sonucuna varılabilir.



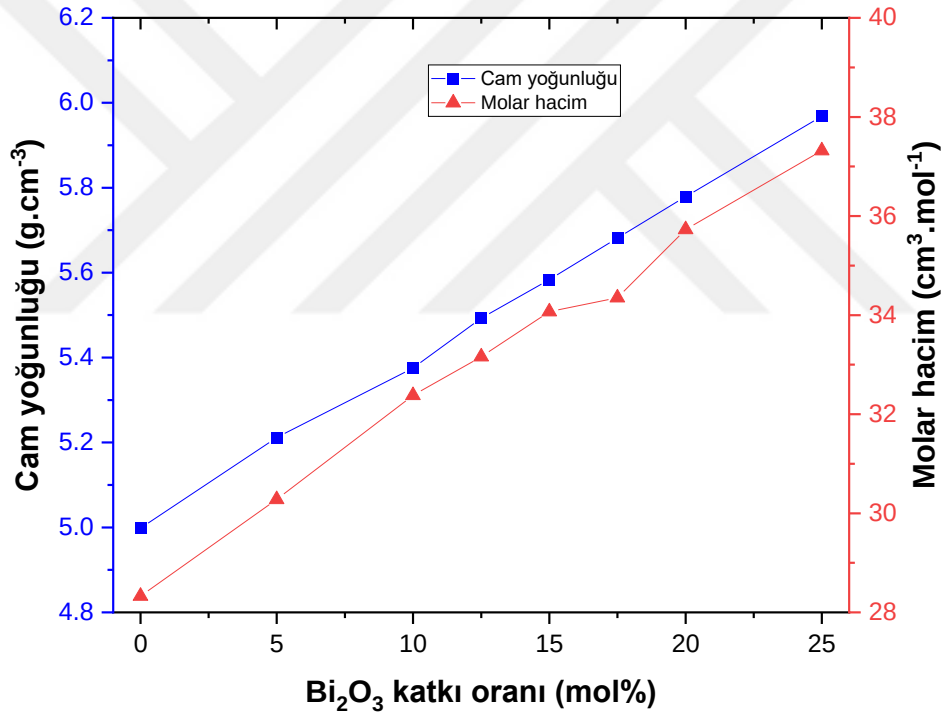
Şekil 5.31 Artan foton enerjisi ve B_2O_3 katkı oranına bağlı olarak etkin atomik numarası (Z_{eff}) parametresindeki değişimler.

5.2 Bizmo-borotellürit (BBT) Üçlü Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi

5.2.1 Fiziksel Özellikler

İkili cam sistemlerine benzer olarak, sentezlenen üçlü cam serileri için öncelikle fiziksel özellik belirlenmesi maksadıyla bazı önemli parametrelerin üzerinde duruldu. Şekil 5.32’de Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak ρ_{cam} ve V_m parametrelerinde meydana gelen değişimler verildi. Genel itibarıyla, Bi_2O_3 arttıkça her iki parametrenin de arttığı tespit edildi. Cam yoğunluk değerlerine detay olarak bakıldığında katkısız BT20- Bi0 (diğer adıyla BT20 numunesi) numunesinin 4.9982 g.cm^{-3} yoğunluk değerine sahipken, sırasıyla molce % 5’ten 25’e doğru katkılı BT20- Bi serisi cam numunelerin ise 5.2117, 5.3754, 5.4925, 5.5837, 5.6815, 5.7793, ve 5.9679 g.cm^{-3} elde ettiği görüldü. Yoğunluk

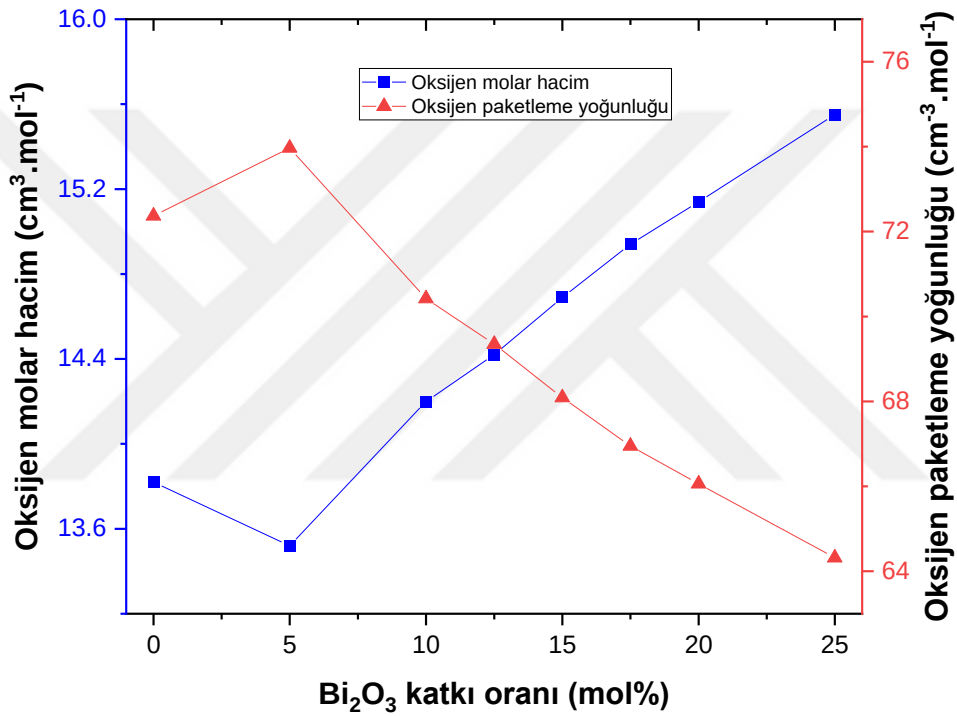
değerlerinde görülen bu artış daha yüksek yoğunluklu Bi_2O_3 içeriğinin (8.90 g.cm^{-3}) daha düşük yoğunluklu TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) ve B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içerikleri ile yer değiştirmesine bağlanabilir. Bununla beraber, Bi_2O_3 ilave oranı artışı ile V_m değerlerinde de bir artış olduğu tespit edildi. BT20- Bi0'dan BT20- Bi25 numuneleri sırasıyla 28.33, 30.28, 32.38, 33.16, 34.07, 34.35, 35.73, ve $37.32 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ değerleri verdiği hesaplandı. Bulunan değerlerden hareketle cam ağı yapısının genişlediği ve bağlanmamış oksijen sayısının artış gösterdiği çıkarımı yapılabilmektedir. Ayrıca, ρ_{cam} ve V_m arasında doğru orantılı bir ilişki görülmesi literatürde beklenebilen bir durumdur. Nihayetinde, artan Bi_2O_3 katkı oranının ρ_{cam} ve V_m değerlerini arttırır şekilde davranması olarak bir çıkarım ortaya konulabilir.



Şekil 5.32 Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametrelerinde değişimler.

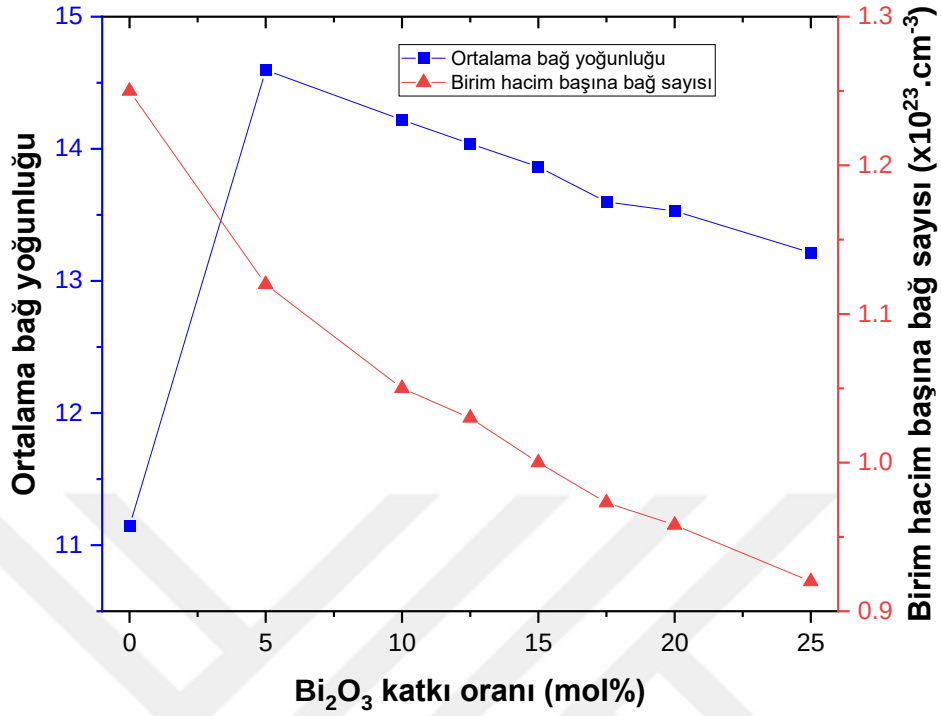
Temel olarak cam yoğunluğu ve molar hacim parametreleri değerlendirildikten sonra Şekil 5.33'te 'da oksijen molar hacim (V_O) ve oksijen paketleme yoğunluğu (OPD) parametrelerinde Bi_2O_3 ilave oranı ile ortaya çıkan değişiklikler verildi. Her iki parametre arasında ters ilişki olduğu görülürken, artan Bi_2O_3 oranı ile V_O değerlerinin arttığı ve OPD

değerlerinin azaldığı bulundu. Öyle ki, V_o değerleri BT20- Bi0'dan BT20- Bi25 numunelerine kadar 13.82, 13.52, 14.20, 14.42, 14.69, 14.94, 15.14, ve 15.55 $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ değerlerine sahipken, OPD değerleri sırasıyla 72.37, 73.97, 70.42, 69.35, 68.09, 66.95, 66.06, ve 64.32 $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ şeklindedir. Elde edilen bu değerler ışığında cam ağ yapısının gevşek paketlenmeye geçtiği ve bağlanmamış oksijen sayısında ($NBOs$) artış olduğu çıkarımı ortaya konulabilir. Yani, Bi_2O_3 içeriği ağ yapıyı düzenleyici rolünü aldığı şeklinde bir yorum getirilebilmektedir.



Şekil 5.33 Oksijen molar hacim ve oksijen paketleme yoğunluğu parametrelerinde Bi_2O_3 katkı oranına bağlı değişimler.

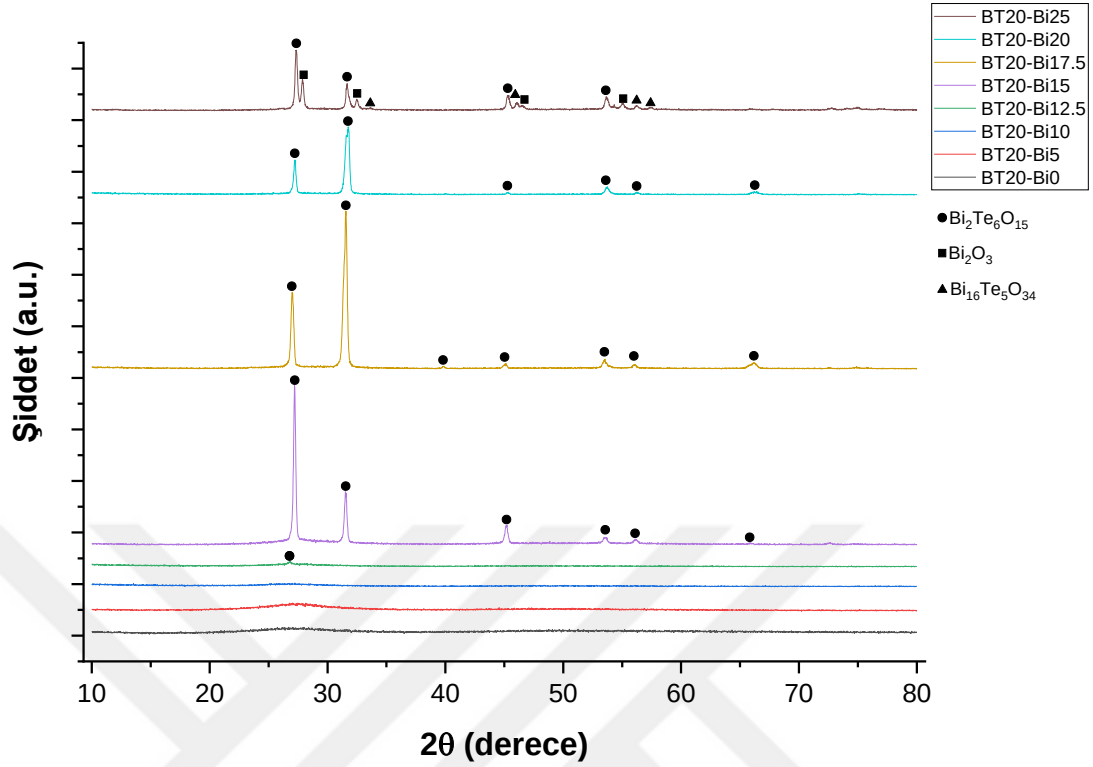
Son olarak, fiziksel özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla Şekil 5.34'te artan Bi_2O_3 katkı oranı değişiminin n_c ve n_b parametreleri üzerine etkisi irdelendi. Görüldüğü üzere, her iki parametre arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Yaşanılan bu düşüş, tıpkı OPD parametresi irdelenirken verilen açıklamalar ışığında yorumlanabilir. Öyle ki, artan Bi_2O_3 oranı cam ağ yapı içinde ağ düzenleyici rolü üstlendiğinden hem ortalama bağ yoğunluğu azalmakta hem de artan $NBOs$ nedeniyle birim hacim başına düşen bağ sayısı azalım göstermektedir.



Şekil 5.34 Bi₂O₃ katkı oranı değişiminin ortalama bağ yoğunluğu ve birim hacim başına bağ sayısı parametreleri üzerine etkisi.

5.2.2 Yapısal Özellikler

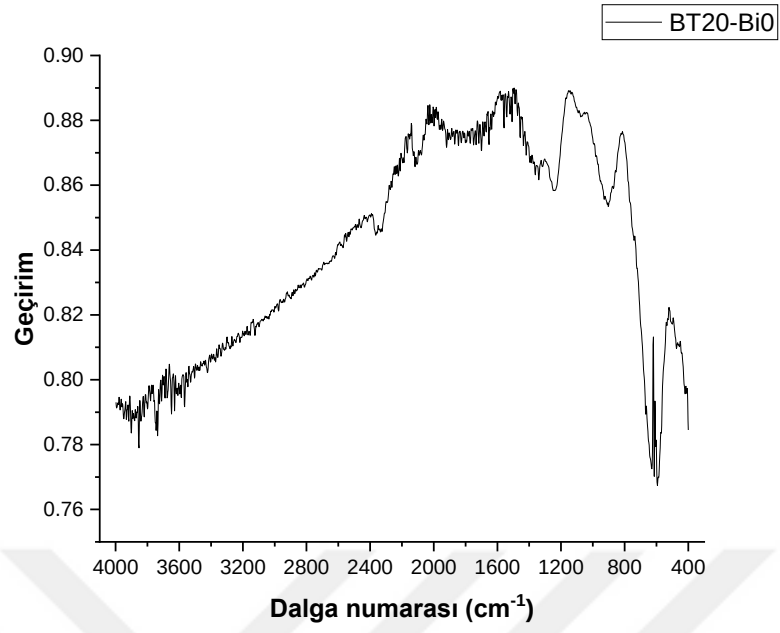
Cam malzeme yapısının amorf halde olup olmadığının tespiti bakımından X-ışını kırınım (XRD) tekniği uygulandı ve neticeleri Şekil 5.35'te sunuldu. BT20- Bi0'dan BT20- Bi10 numunelerine kadar, her bir cam serisinde amorf yapının varlığı tespit edildi, ve herhangi bir kristal faza rastlanmadı. Bu tespitin ardında yatan gerçeklikler ise keskin tepe noktalarının bulunmayışı ve aynı zamanda $2\Theta = 15-35$ derece arasında yayvan bir hareket bulunmamasıdır. Diğer yandan, BT20- Bi12.5'ten BT20- Bi25 serilerinde ise şiddetli piklerin varlığı tespit edildi. Bu pikler incelendiğinde ise, bizmut oksit ve tellür oksit esaslı pikler olduğu neticesine varılabilmektedir. Özelde ise, bu piklerin Bi₂Te₆O₁₅ (bizmut tellür oksit), Bi₂O₃ (bizmut oksit) ve Bi₁₆Te₅O₃₄ (bizmut tellür oksit) oldukları tespit edilmiştir. Netice olarak, sentezlenen BT20- Bi serilerinde herhangi bir pik içermeyen amorf yapının varlığı söz konusu olduğunda, Bi₂O₃ katkı oranının molce %10 değerini geçmemesi gerektiği ortaya konulabilmektedir.



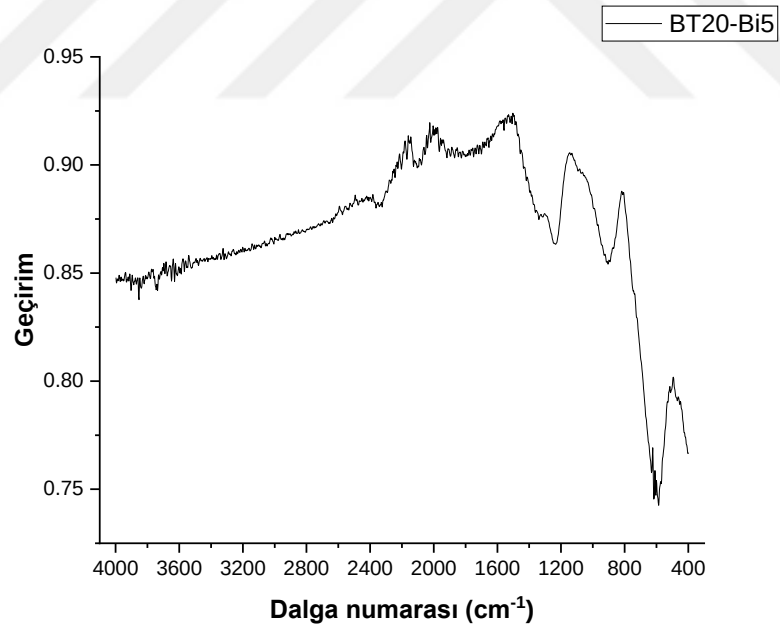
Şekil 5.35 Sentezlenen BT20- Bi cam serilerine ait X-ışını kırınım desenleri.

Sentezlenen cam numunelerinin bağ yapıları hakkında bilgi edinmek maksadıyla Fourier geçirimli infrared (FT- IR) yöntemi uygulandı. Elde edilen spektrumlar Şekil 5.36 ile Şekil 5.43 kapsamında numuneler için ayrı ayrı gösterildi. Sunulan geçirim spektrumlarından hareketle tepe noktalarına dair saptamalar yapılarak, Çizelge 5.5'te yer aldığı üzere ilgili dalga numarasına karşılık gelen bağ tipleri listelendi. Burada, 4000 ile 1600 cm^{-1} aralığında meydana gelen tepe hareketlenmeleri, O-H gruplarına ait germeler, H-H bağlanmaları, CO_2 kızılötesi soğurumu gibi bağ tiplerinin mevcut olduğu değerlendirildi. Öte yandan, daha düşük dalga numarasına doğru gidildikçe üçlü bizmut-borotellürit cam sisteminde yer alan bağ tiplerinin ortaya çıkarılması daha mümkün hale geldi. Bu noktada, 1239 ile 1220 cm^{-1} arasında farklı cam serileri için tepelenmeler gözlemlenmekte ve bunlar boroksol halkasının BO_3 biriminde B-O'nun germe titreşimleri olarak nitelendirildi. Benzer şekilde, 1150 ile 1116 cm^{-1} arasında elde edilen tepelenmeler piroborat gruplarındaki BO_3 birimlerinin B-O bağlarındaki germe titreşimi olarak düşünüldü. Son olarak ise 1092 ve 1034 cm^{-1} tepeleri için BO_4 ünitelerinin tri-, tetra- ve

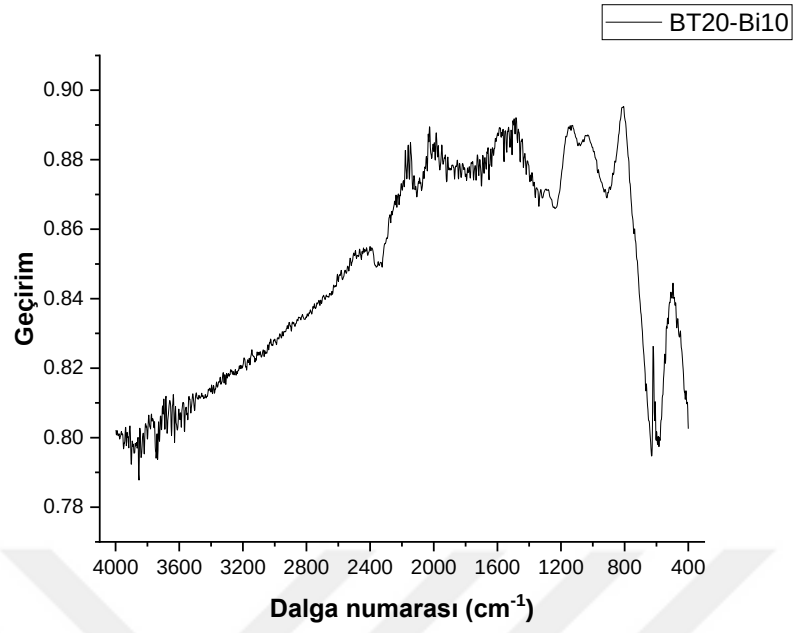
penta-borat gruplarından B-O gerilme titreşimleri veya B-O-B eğilme titreşimleri olarak anlamlandırıldı. Burada, daha yüksek dalga numaralarında gözlenir halde olan BO_3 yapılanmasının, daha düşük dalga numaralarında BO_4 şeklinde gözlemleniyor olması bor anomolisi olayının gerçekleştiği manasında değerlendirilebilir. Diğer bir deyişle, trigonal biçimde bulunan B-O yapılanması, tetragonal B-O yapılanmasına döndüğü çıkarımı yapılabilir. Tepe pozisyonları olarak 914 ile 901 cm^{-1} arasında ortaya çıkan tepelerin BO_4 tetrahedrada B-O bağlantılarının germe titreşimleri şeklinde olduğu düşünüldü. Bunların yanı sıra, 816 ve 800 cm^{-1} arasında oluşan çeşitli tepelenmelerin TeO_{3+1} ve TeO_3 'ün germe titreşimleri olabileceği düşünüldü. Sentezlenen cam serilerinde 634 ile 598 cm^{-1} arasında görülen farklı tepe oluşumları ise TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O'nun germe titreşimleri şeklinde yorumlandı. 598 ile 591 cm^{-1} arasında dar bir aralıkta gözlemlenen tepe oluşumları TeO_4 ve köprü oksijen arasındaki Te-O bağlarının titreşimleri şeklinde tahmin edildi. Diğer taraftan, 590 ile 570 cm^{-1} arasındaki tepe oluşumları TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri olarak anlamlandırıldı. Bor ve tellür elementlerinin bağ tiplerinin çoğunlukla tespit edilebilmesi sonrasında, daha düşük dalga numarasına doğru gidildikçe bizmut elementinin yaptığı bağ tiplerine yönelik yorumlamaların önünün açıldığı görülebilir. Öyle ki, 497 ile 493 cm^{-1} gibi dar bir aralıkta ortaya çıkan tepelenmelerin BiO_6 oktahedral birimlerin Bi-O ve Bi-O-Bi germe titreşimlerine ait olduğu farklı literatür kaynakları tarafından tahmin edilmektedir. Bu yönde meydana gelen bağ tiplerinin BT20-BiO numunesinde gözlemlenmiyor olması normaldir, zira anılan numune ikili boro-tellürit cam sisteminden oluşmaktadır. Dar bir aralıkta ilgili tepelenmelerin gözlemlenmesi, Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak herhangi bir tepe kayması olmadığı yorumunu getirebilmektedir. Öte yandan, 480 ve 463 cm^{-1} aralığında görülen farklı tepe noktalarının ise Te-O-Te veya O-Te-O bağlantıları, Te-O-R ve/veya O-Te-R bağlantıları, BiO_6 ve/veya BiO_3 birimlerinde Bi-O eğilme titreşimleri, ya da BO_4 birimlerinin bükülmesine ait olabileceği düşünülebilir. Farklı literatür kaynaklarında bu yönde bulguların olduğu görülebilir. Son olarak, 472 ve 449 cm^{-1} aralığında meydana gelen tepe oluşumlarının Bi-O'nun BiO_6 oktahedral birimlerdeki titreşimleri, ya da Te-O-Te ve/veya O-Te-O'nun bağlantı eğilme titreşimleri olabileceği şeklinde yorumlanabilmektedir.



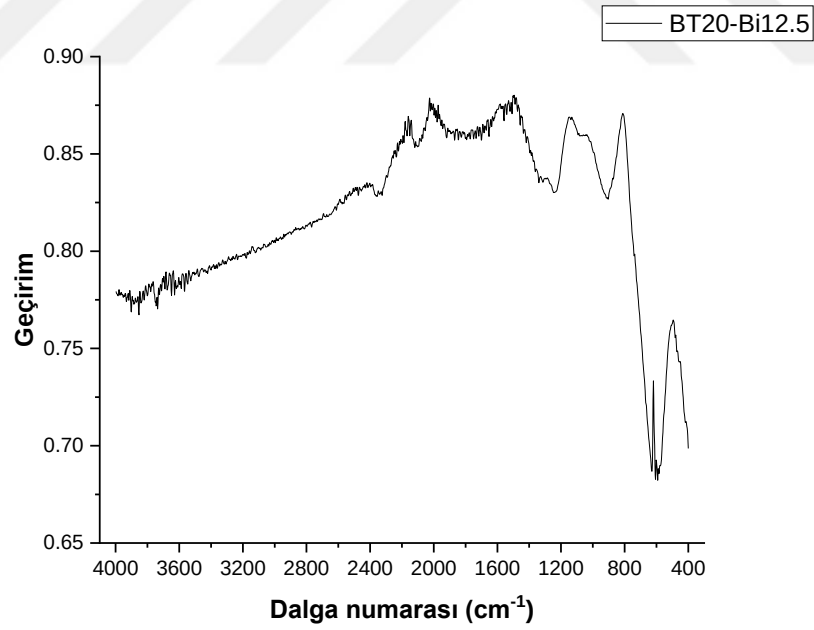
Şekil 5.36 Üretilen BT20- Bi0 numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



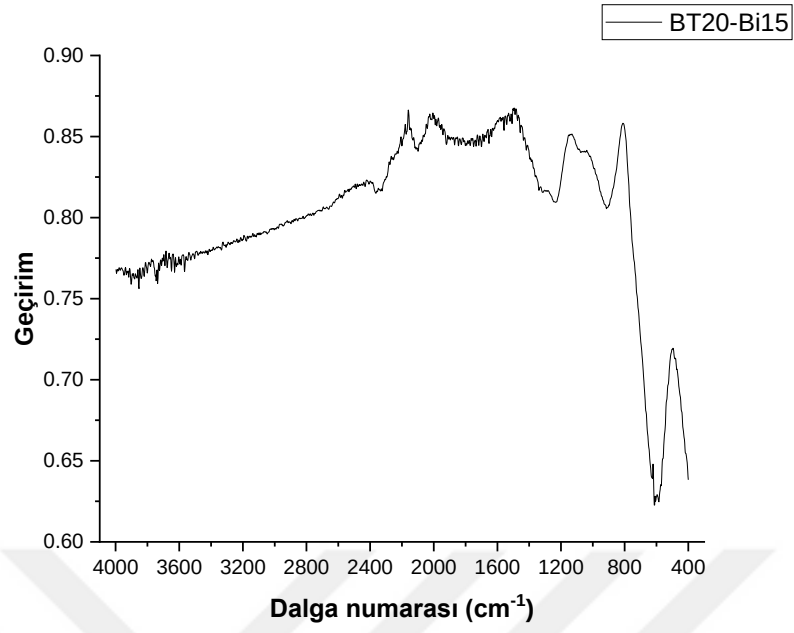
Şekil 5.37 Üretilen BT20- Bi5 numunesi için FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumları.



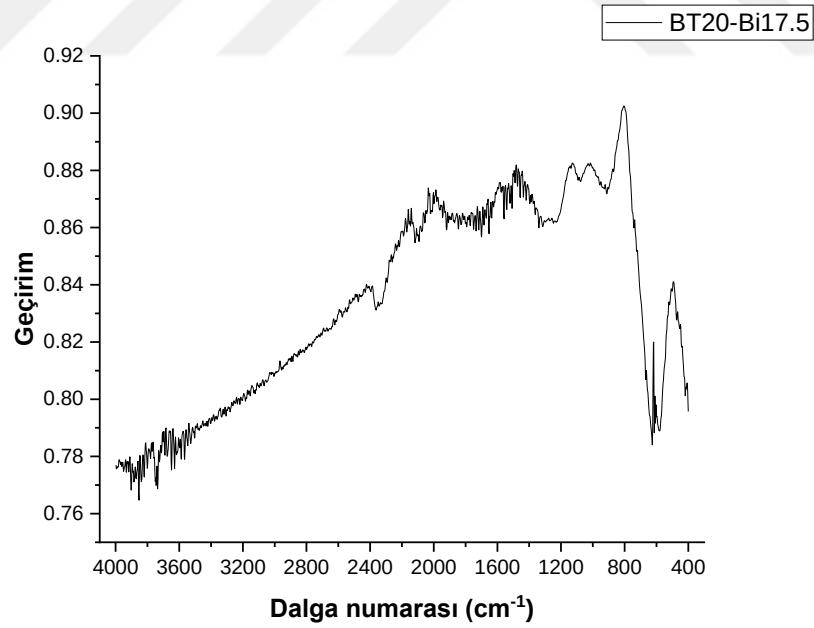
Şekil 5.38 Üretilen BT20- Bi10 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



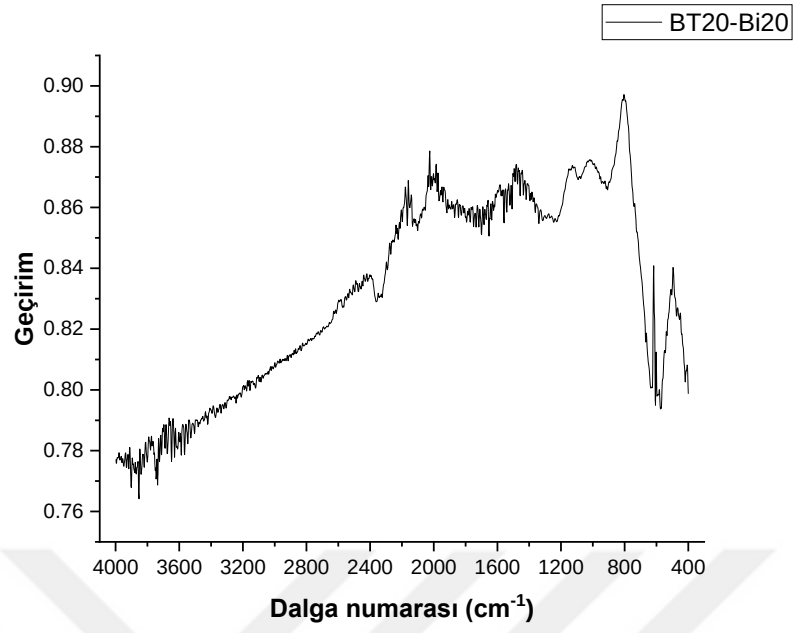
Şekil 5.39 Üretilen BT20- Bi12.5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



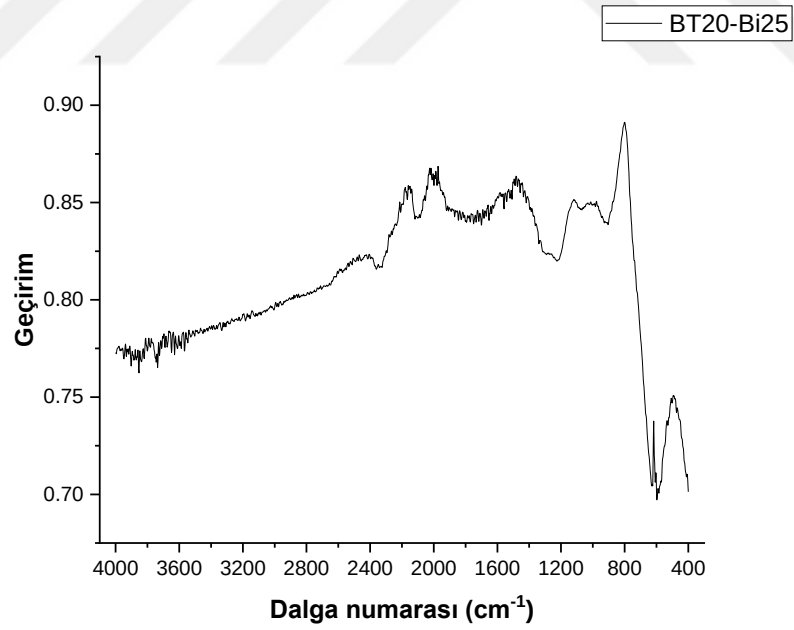
Şekil 5.40 Üretilen BT20- Bi15 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.41 Üretilen BT20- Bi17.5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.42 Üretilen BT20- Bi20 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.

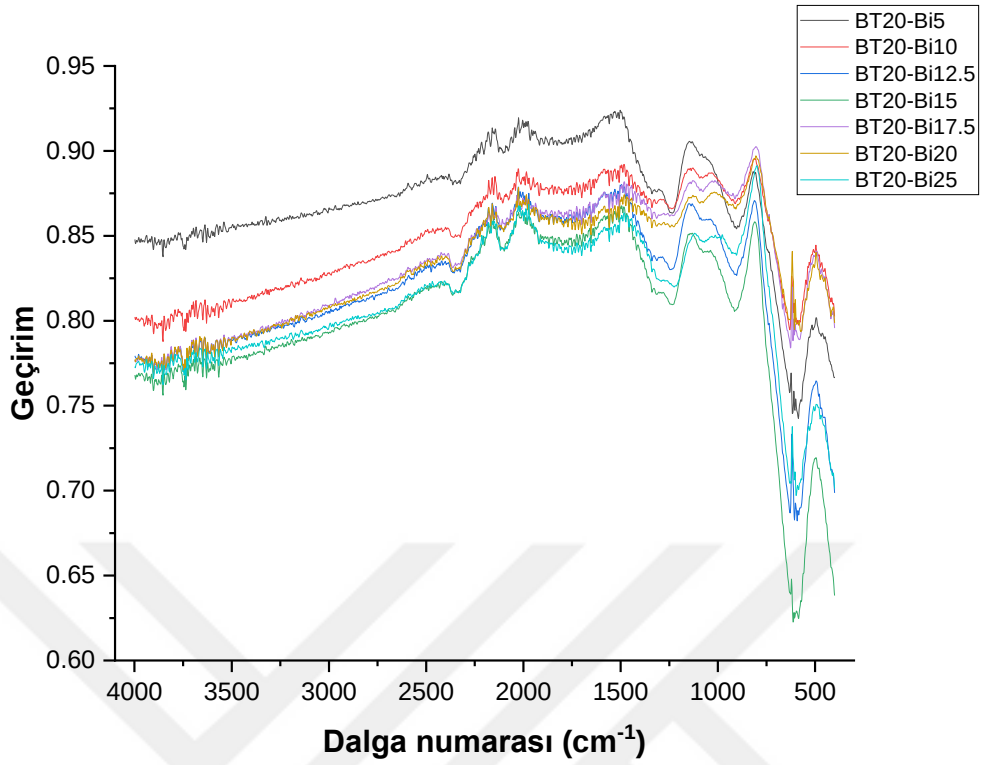


Şekil 5.43 Üretilen BT20- Bi25 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.

Çizelge 5.5 Üretilen BT20- Bi cam serilerine ilişkin FT- IR tepe pozisyonları ve ilgili belirlemeler.

BT20-Bi0	BT20-Bi5	BT20-Bi10	BT20-Bi12.5	BT20-Bi15	BT20-Bi17.5	BT20-Bi20	BT20-Bi25	Referans	Belirleme
Tepe noktası konumları (cm⁻¹)									
1239	1236	1234	1240	1234	-	-	1220	(Rada vd. 2008, Rada vd. 2009, Rada vd. 2010, İşsever vd. 2019, Kilic vd. 2021c)	Boroksol halkasının BO ₃ biriminde B-O'nun germe titreşimleri
1150	1148	1144	1147	1142	1126	1129	1116	(Lakshminarayana vd. 2019, Vedavyas vd. 2021, Divina vd. 2020b)	Piroborat gruplarındaki BO ₃ birimlerinin B-O bağları germe titreşimi
1041	1082	1034	1092	1039	1077	1080	1067	(Rada vd. 2008, Lakshminarayana vd. 2019, Lakshminarayana vd. 2017a)	BO ₄ ünitelerinin tri-, tetra- ve penta-borat gruplarından B-O gerilme titreşimleri veya B-O-B eğilme titreşimleri
901	902	914	903	914	-	-	905	(Lakshminarayana vd. 2018, Kaky vd. 2019)	BO ₄ tetrahedrada B-O bağlantılarının germe titreşimleri
814	816	811	812	808	805	803	800	(Lakshminarayana vd. 2018, Kaky vd. 2019)	TeO ₃₊₁ ve TeO ₃ 'ün germe titreşimleri
628	630	631	627	628	625	634	629	(Lakshminarayana vd. 2017c, Kilic vd. 2021b)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O'nun germe titreşimleri
618	623	621	618	621	616	617	617	(Lakshminarayana vd. 2017c, Kilic vd. 2021b)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O'nun germe titreşimleri
612	610	606	604	613	612	608	608	(Lakshminarayana vd. 2017c, Kilic vd. 2021b)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O'nun germe titreşimleri
-	585	584	588	584	578	570	590	(Kilic vd. 2021a)	TeO ₄ trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri
-	494	495	494	497	493	494	493	(Lakshminarayana vd. 2017b, Gaikwad vd. 2019b)	BiO ₆ oktahedral birimlerin Bi-O ve Bi-O-Bi germe titreşimleri
-	463	466	468	480	471	473	475	(Rada vd. 2009, Naseer vd. 2021)	Te-O-Te veya O-Te-O bağlantıları, Te-O-R ve/veya O-Te-R bağlantıları; BiO ₆ ve/veya BiO ₃ birimlerinde Bi-O eğilme titreşimleri, BO ₄ birimlerinin bükülmesi
-	449	455	454	472	465	450	468	(Naseer vd. 2021), (Stalin vd. 2020)	Bi-O'nun BiO ₆ oktahedral birimlerdeki titreşimleri; Te-O-Te veya O-Te-O'nun bağlantı eğilme titreşimleri

Üretilen her bir cam numunesinin kendi içinde ortaya çıkan tepe oluşumlarının bağ tipleri ile ilişkilendirilmesinin ardından Bi_2O_3 ilavesinin etkisi üzerinde bir değerlendirme yapabilmek amacıyla Şekil 5.44 çizildi. Yüksek dalga numaralarında, örneğin 2500 ile 2000 cm^{-1} arasında, BT20- Bi0 numunesinin en yüksek geçirim oranına sahip olduğu görülürken Bi_2O_3 ilavesi ile birlikte geçirim oranının düşüş gösterdiği takip edilebilir. Benzer şekilde, azalan dalga numaralarında, örneğin, 1500 ile 1000 cm^{-1} aralığında, aynı durumun geçerli olduğu görülebilir. Fakat, artan Bi_2O_3 ilave oranı doğrusal olarak geçirim oranlarında azalışa neden olmamakla birlikte genel bir bakış itibarıyla durumun bu yönde eğilime sahip olduğu çıkarımı yapılabilir. Son olarak, dalga numarasının 1000 cm^{-1} altına doğru hareket etmesiyle geçirim oranlarında daha da düşmeler elde edilirken, bunun ardında yatan sebebin artan Bi_2O_3 konsantrasyonu sayesinde oluşan Bi-O yapılanmaları verilebilir. Aynı şekilde, bu artış ile birlikte doğru orantılı bir geçirim oranı düşüşü gözlemlenmezken, Bi_2O_3 katkı oranının 12.5 mol% değerinden yüksek olduğu durumlarda, BT20- Bi17.5 ve BT20- Bi20 numuneleri hariç olmak üzere, düşük geçirimlerin mevcut olduğu rapor edilebilir. Genel itibarıyla, Bi-O bağ tiplerinin bizmut-borotellürit cam sistemi dahilinde varlığı geçirim oranlarının azalmasına neden olurken, artan Bi_2O_3 katkılandırmasına paralel olarak bu düşüşler net bir biçimde ortaya çıkmamaktadır. Dolayısıyla, bizmut oksit içeriğinin bağ tiplerinin zenginleştirilmesi ve böylelikle de geçirim yüzdelelerini düşürmesi açılarından bizmut-borotellürit üçlü cam sisteminde var olması gerekliliği olduğu sonucuna varılabilmektedir.

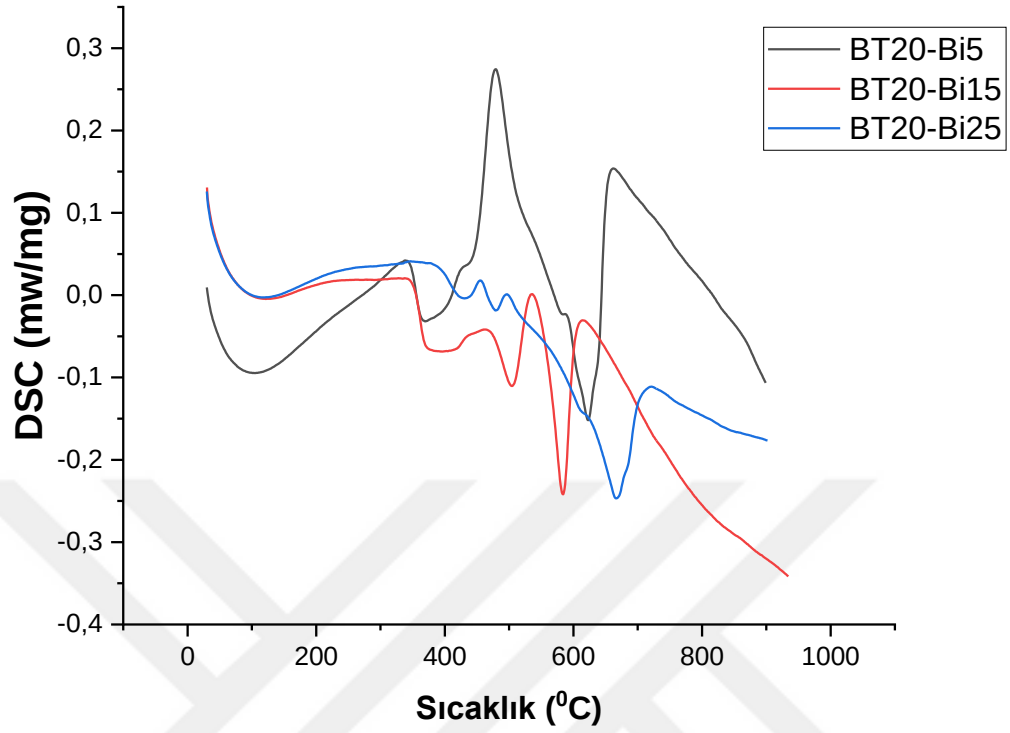


Şekil 5.44 Sentezlenen cam numunelerinin FT- IR yöntemi ile elde edilen geçirim spektrumlarının toplu halde gösterimi.

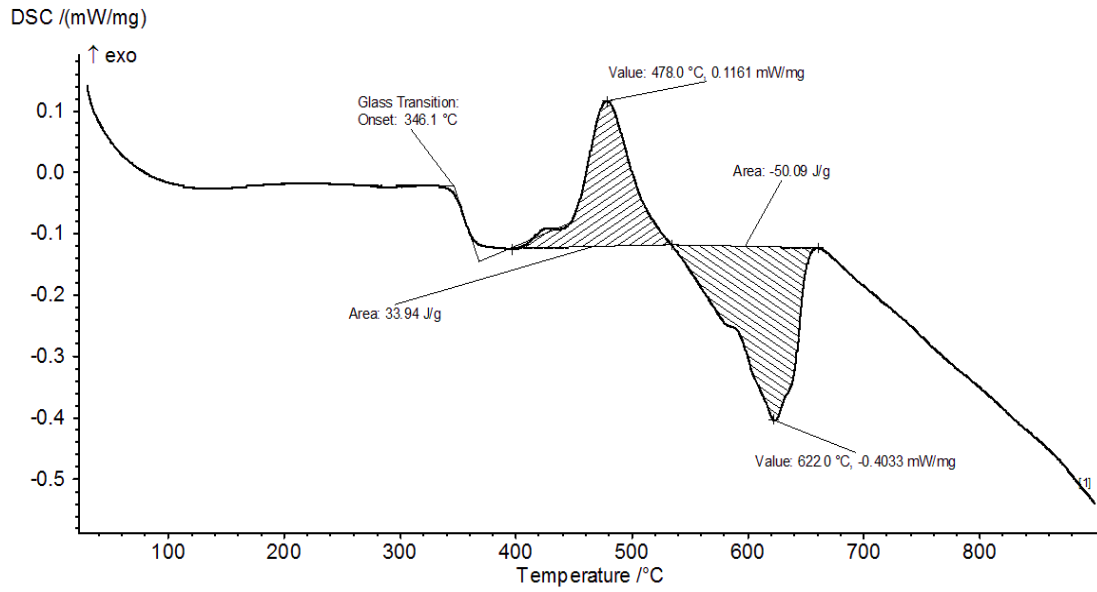
5.2.3 Isıl Özellikler

Isıl özelliklerin tayin edilmesi maksadıyla dilatometrik taramalı kalorimetri analizi (DSC) uygulandı. Bu analizler, BT20- Bi5, BT20- Bi15 ve BT20- Bi25 numunelerine uygulanarak değişimler gözlemlendi. Bu bağlamda, Şekil 5.45'te Bi_2O_3 katkı oranı olarak molce % 5, 15 ve 25 oranlarına sahip BT20- Bi numuneleri için DSC eğrileri çizildi. Eğrilerden yola çıkılarak, camsı geçiş noktası (T_g), ekzotermik pik oluşum sıcaklıkları (T_{pn}) ve ergime noktası (T_m) değerlerine yönelik saptamalar yapabilmek amacıyla anılan numunelere ait bağımsız eğriler sırasıyla Şekil 5.46'dan Şekil 5.48'e kadar sunuldu. Her 3 eğrinin irdelenmesi neticesinde bulunan değerler ise Çizelge 5.6 kapsamında ayrı ayrı özetlendi. Bi_2O_3 ilave oranı olarak molce % 5, 15 ve 25 oranlarına sahip BT20- Bi serisi numuneler için T_g parametresi, sırasıyla, 346.1, 352.1 ve 391.9 °C şeklinde bulundu. Bunun neticesinde, artan Bi_2O_3 konsantrasyonuna bağlı olarak T_g değerlerinde artışlar meydana geldiği görüldü. Yaşanan durumun ardında yatan sebep olarak ise, FT- IR

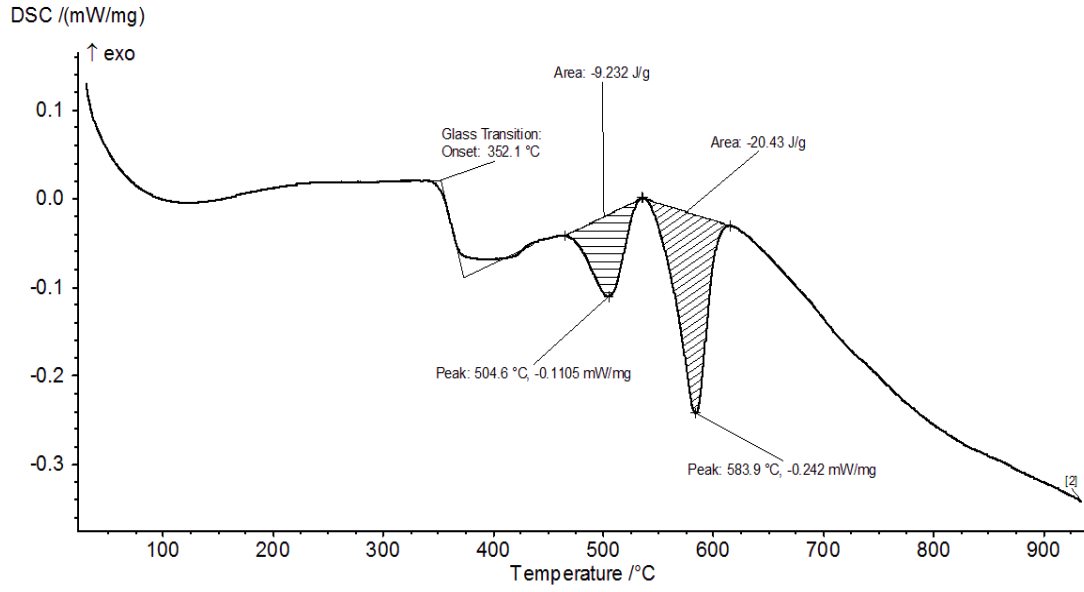
sonuçlarından görülebileceği üzere, Te-O-Te bağ tiplerinin, Bi₂O₃ ilavesiyle birlikte, Te-O-Bi bağ tipine dönüşebildiği, Te-O-Bi bağ tipinin ise Te-O-Te bağ tipine kıyasla daha yüksek bağ enerjisine sahip olması şeklinde verilebilmektedir. Bazı literatür çalışmalarında da benzer bulgular söz konusu olmaktadır (Elkhoshkhany vd. 2017, Zhao vd. 2013). Öte yandan, her 3 numunede de kristalizasyon tepe noktaları görüldü ve bunlar için T_{p1} sıcaklıkları sırasıyla 478, 504.6 ve 455 °C olarak bulundu. Bununla beraber, BT20- Bi25 numunesi için bir T_{p2} sıcaklığı görülmekte olup, bu sıcaklığın 496 °C olduğu saptandı. XRD sonuçlarına bakıldığında, T_{p1} şeklinde elde edilen kristal pikin Bi₂Te₆O₁₅ kristal fazı olabileceği düşünülürken, T_{p2} biçiminde BT20- Bi25 numunesinde karşılaşılan kristal pik oluşumunun Bi₂O₃ ve ya Bi₁₆Te₅O₃₄ fazlarına ait olabileceği şeklinde yorum getirilmektedir. Son olarak, T_m noktası değerleri irdelendiğinde numuneler için sırasıyla 622, 583.9 ve 666 °C sıcaklıkları bulundu. Bi₂O₃ ilavesiyle birlikte, T_m noktasının öncelikle düşüş sergilediği, ancak daha yüksek oranlarda ise bir artış eğilimi gösterdiği meydana çıkmaktadır. Düşüşün ardında yatan sebep olarak, Bi₂O₃ ilavesiyle birlikte cam ağında Bi-O bağlarının artış gösterdiği, Bi-O (337.2 kJ/ mol) bağının ise, Te-O (428 kJ/ mol) ve B-O (804 kJ/ mol) bağlarına kıyasla daha düşük enerjiye sahip olması verilebilmektedir (Gupta vd. 2017). Diğer taraftan, yüksek Bi₂O₃ oranı nedeniyle artan T_m noktasının ise, yapı içerisinde meydana gelen yüksek oran kaynaklı Te-O-Bi bağ tipleri, bununla birlikte de meydana gelen Bi₁₆Te₅O₃₄ yapısının neden olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir deyişle, yüksek Bi₂O₃ oranı nedeniyle cam ağ yapısı içerisindeki kompleksite artışı, yani çeşitli kristal yapı oluşumları, T_m noktasının yüksek bir değere çıkmasına neden olabilmektedir. Yapılan ısı analizlerin bir neticesi olarak, molce % 15 oranında Bi₂O₃ ilavesine kadar bir kompozisyonel tasarımda bulunulması, daha düşük ergitme sıcaklıklarında cam sisteminin eldesine olanak tanıma ihtimaline sahip olabilmektedir.



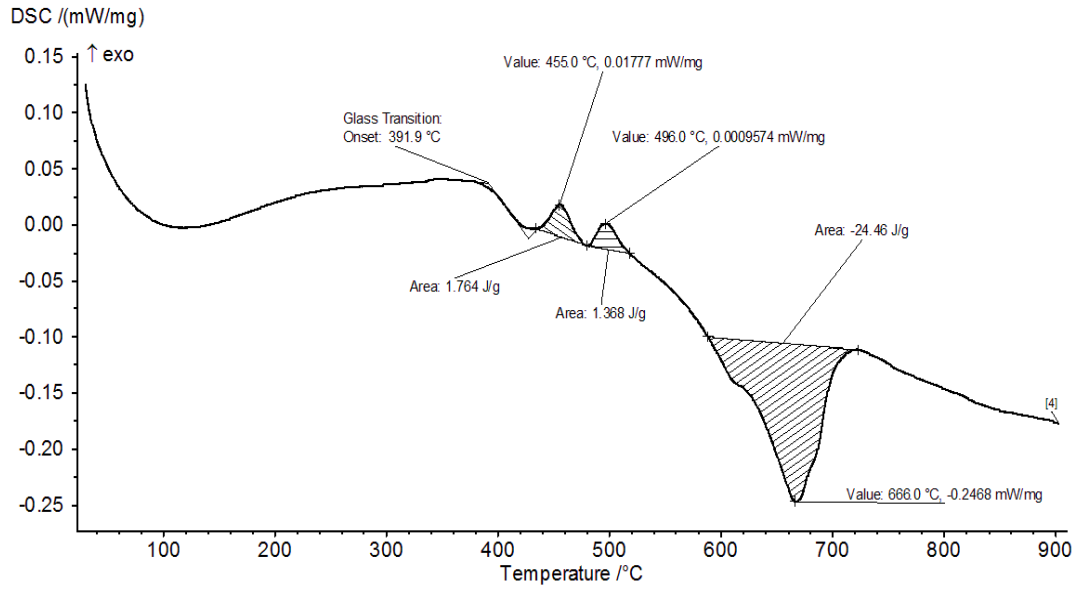
Şekil 5.45 Bi_2O_3 katkı oranı olarak molce % 5, 15 ve 25 sahip BT20- Bi numuneleri için DSC eğrileri.



Şekil 5.46 BT20- Bi5 camına ait camsız geçiş noktası (T_g), faz oluşum (T_{px}) ve ergime noktası (T_m) sıcaklık değerleri.



Şekil 5.47 BT20- Bi15 camına ait camsı geçiş noktası (T_g), faz oluşum (T_{px}) ve ergime noktası (T_m) sıcaklık değerleri.



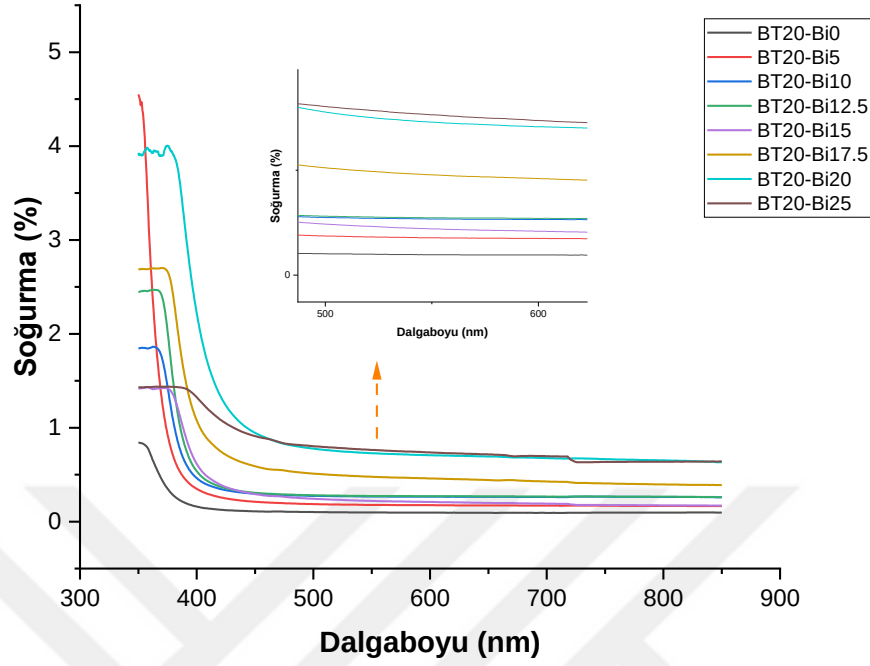
Şekil 5.48 BT20- Bi25 camına ait camsı geçiş noktası (T_g), faz oluşum (T_{px}) ve ergime noktası (T_m) sıcaklık değerleri.

Çizelge 5.6 Bi₂O₃ ilave oranı olarak molce % 5, 15 ve 25 sahip BT20- Bi serisi numuneler için camsı geçiş noktası (T_g), faz oluşum (T_{px}) ve ergime noktası (T_m) sıcaklık değerleri.

Numune kodu	T_g (°C)	T_{p1} (°C)	T_{p2} (°C)	T_m (°C)
BT20- Bi5	346.1	478.0	-	622.0
BT20- Bi15	352.1	504.6	-	583.9
BT20- Bi25	391.9	455.0	496.0	666.0

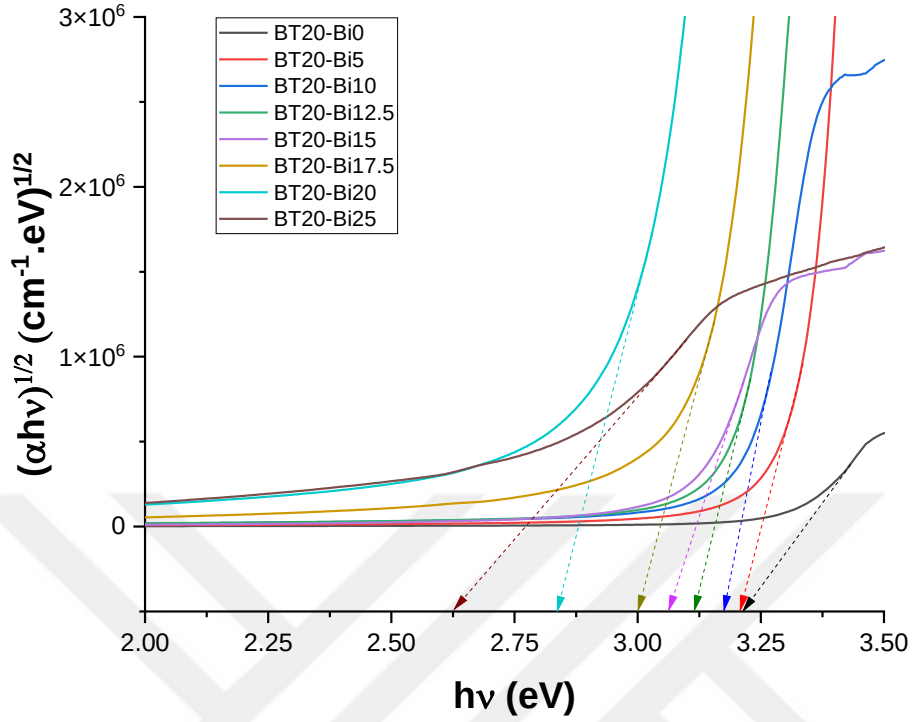
5.2.4 Optik Özellikler

Optik özellikler bağlamında, BT20- Bi serileri için elde edilen dalgaboyuna karşılık soğurma eğrileri Şekil 5.49’da verildi. Tüm eğriler genel olarak incelendiğinde, bariz bir soğurma piki oluşmadığı göze çarpmaktadır. Bununla beraber, artan Bi₂O₃ katkı oranına göre bir kıyaslama yapıldığında katkısız BT20- Bi0 numunesinin en düşük soğurma kabiliyetine sahip olduğu tespit edildi. Bunun tersi olarak, en yüksek soğurma oranının, BT20-Bi25 numunesi ile sağlandığı ise açıktır. Yani, en yüksek Bi₂O₃ katkı oranı, molce % 25, üçlü cam sisteminde soğurma kabiliyetini arttırdığı söylenebilir. Bunun nedeni ise, daha düşük atom çaplı bor (0.85 Å) ve tellür (2.1 Å) içeriklerine göre iri atom çaplı bizmut (2.3 Å) elementinin sisteme dahil edilmesi ile madde-ışın etkileşiminin iyileştirmesi olarak verilebilir.



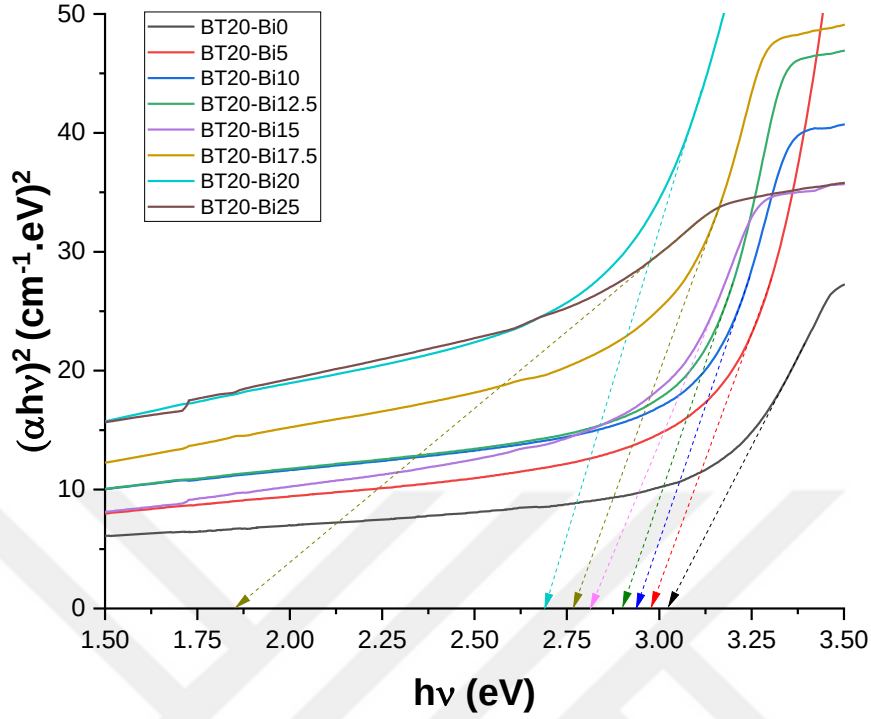
Şekil 5.49 BT20- Bi serilerine ait soğurma eğrileri.

Soğurma eğrilerinin kullanılması ile bazı önemli parametrelerin hesaplanması gerçekleştirildi. Şekil 5.50’de doğrusal enerji bant aralığı değerlerinin, $(\alpha h\nu)^{1/2}$ vs. $h\nu$ kullanılarak, ne yönde değiştiği bulundu. Görüldüğü üzere, E_g^d değerleri artan Bi_2O_3 katkı oranı ile birlikte düşüş gösterir. Değerlere bakıldığında, BT20- Bi0’den BT20- Bi25 numuneleri için sırasıyla 3.22, 3.21, 3.18, 3.12, 3.06, 3.01, 2.84 ve 2.63 eV bulundu. Böylelikle de cam numunelerin artan Bi_2O_3 konsantrasyonuna paralel olarak enerji bant aralıklarının azaldığı, dolayısıyla geçirim oranlarının azaldığı sonucuna varılabilmektedir. Bu durumun ardında yatan sebep değerlendirildiğinde, Bi_2O_3 içeriğinin daha düşük enerji bant aralığı değerine sahip olduğu, 2.80 eV, TeO_2 içeriğinin ise 3.32 eV değerinde olması verilebilir. Sistemden TeO_2 içeriğinin çıkması ve Bi_2O_3 içeriğinin artması ile birlikte enerji bant aralığının düştüğü tespit edilebilir.



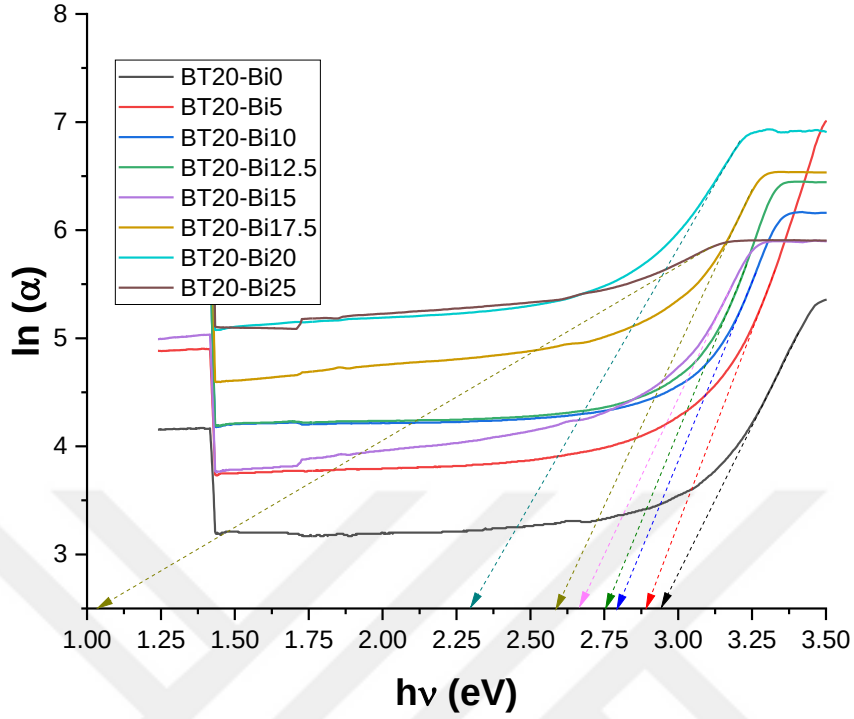
Şekil 5.50 Doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin Bi_2O_3 katkı oranına göre değişimi.

Diğer yandan, doğrusal olmayan enerji bant aralığına (E_g^{ind}) ilişkin kıyaslama Şekil 5.51’de verildi. Artan Bi_2O_3 katkı oranı, E_g^{ind} değerlerinin düşüş göstermesine neden oldu. Bu durum, E_g^d değerlerinde olduğu gibi gerçekleşti. Değerlere bakıldığında, BT20-Bi0’dan BT20- Bi25 numunelerine kadar sırasıyla 3.03, 2.98, 2.94, 2.90, 2.81, 2.77, 2.69 ve 1.85 eV elde edildi. Netice olarak, enerji bant aralığının azaltılması için yüksek oranda Bi_2O_3 katkısının faydalı olduğu sonucuna varılabilir.



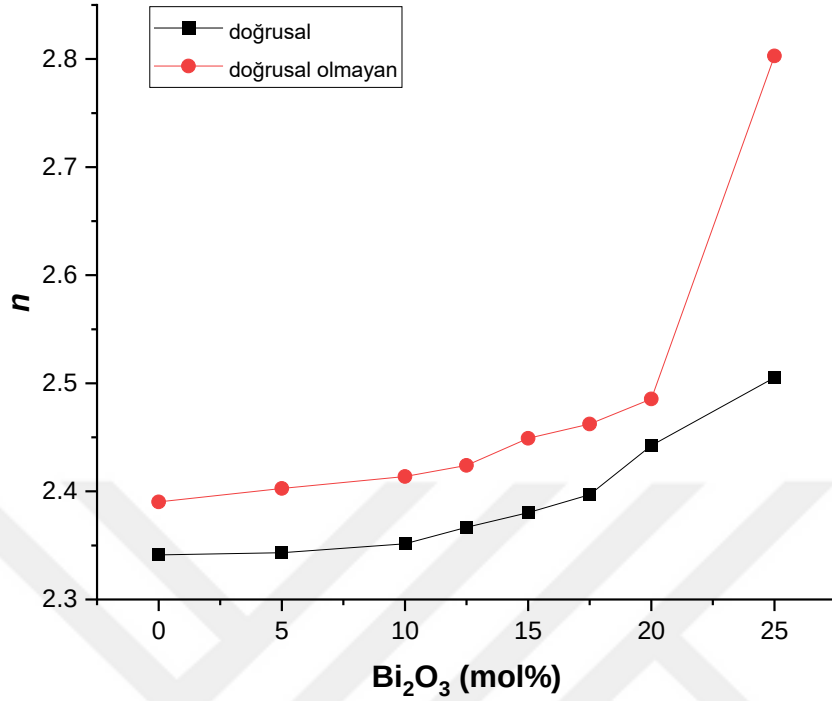
Şekil 5.51 Artan Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) değerleri.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin sentezlenen cam serilerine ilişkin değerlendirilmesinin ardından Şekil 5.52’de Urbach (E_U) enerjilerinin ne yönde değiştiği gösterildi. Benzer düşüşler, E_U enerjilerinde de geçerlidir. Bi_2O_3 katkı oranının molce % 0’dan 25 oranına çıkması ile birlikte E_U değerinin 2.95’ten 1.04 eV değerine düştüğü bulundu. Bu bağlamda, yapısal bozunumun ve /veya yapısal hataların azaldığı şeklinde bir yorum getirilebilmektedir. Bu nedenle, düşük E_U değerlerinin elde edilebilmesi için üçlü bizmut-borotellürit cam sisteminde yüksek oranlı bizmut oksit katkısının yapılması gerektiği sonucuna varılabilmektedir.



Şekil 5.52 Urbach enerji değerlerinin Bi_2O_3 katkılandırması ile değişimi.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin her bir numune için tespit edilmesi ile birlikte doğrusal (n_d) ve doğrusal olmayan (n_{ind}) kırınım indisleri hesaplandı, ve hesaplanan değerler Şekil 5.53'te verildiği üzere sunuldu. Artan Bi_2O_3 ilavesi sayesinde her iki parametrede de artışlar gerçekleşti. Parametre- n_d değerlerine bakıldığında 2.3412'den 2.5052 değerine artış ve parametre- n_{ind} değerlerinde ise 2.3902'den 2.8029 değerine yükseliş olduğu görüldü. Kırınım indisi parametresinde elde edilen artışlar sayesinde madde-ışın etkileşimi çerçevesinde geçirim oranları azaltılmakta ve dolayısıyla kırınım ve soğurma olaylarında artışlar sağlanmaktadır. Bu nedenle, yüksek Bi_2O_3 ilavesinin kırınım indisi bakımından bizmut-boro-tellürit üçlü cam sisteminde oldukça işlevsel olduğu söylenebilmektedir.

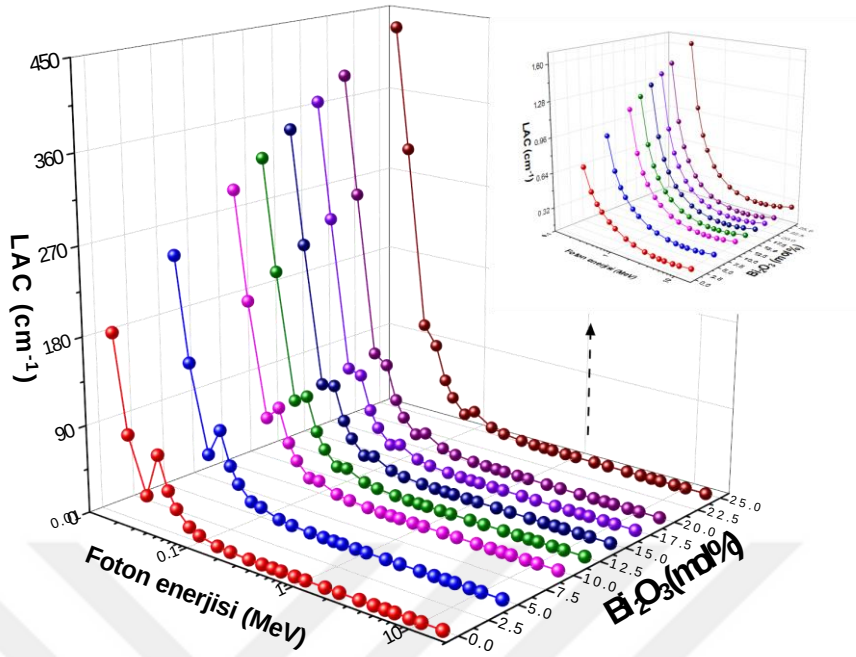


Şekil 5.53 Doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisi parametrelerinin Bi₂O₃ ilavesine karşılık değişimleri.

5.2.5 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri

BT20-Bi cam sistemine dair teorik *LAC* değerlerinin ne yönde değişim gösterdiğinin belirlenebilmesi amacıyla Phy- X/ PSD programı sayesinde Şekil 5.54 elde edildi. İlk olarak, artan foton enerjisinin *LAC* değerleri üzerindeki etkisini incelendi. Düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, *LAC* değerleri oldukça yüksek ($> 185 \text{ cm}^{-1}$) bulundu. Orta foton enerji seviyelerinde doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş ($< 20 \text{ cm}^{-1}$) olduğu tespit edildi. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, *LAC* değerlerinin daha da düşüş sergilediği ($< 0.39 \text{ cm}^{-1}$) görüldü. Foton enerji seviyelerine göre yaşanan bu *LAC* değişimleri, genellikle iyi bilinen 3 tip mekanizma ile ilişkilendirilebilir. Zira, BT serisinde olduğu gibi, düşük, orta ve yüksek foton enerji seviyelerindeki hareketler sırasıyla fotoelektrik etki, Compton saçılımı ve eşli oluşum süreci olarak anlaşılabilmektedir.

Foton enerji seviyelerindeki değişimlerin *LAC* değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde artan Bi_2O_3 katkı oranının ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiğinin açıklanması gerekir. Üçlü bizmut-borotellürit cam sistemi dahilinde Bi_2O_3 oranının artması *LAC* değerlerinin artış yönünde hareket etmesine neden olduğu görüldü. Bi_2O_3 konsantrasyonunun molce % 0'dan 25 değerine çıkması *LAC* parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 185.31'den 430.82 cm^{-1} değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 6.70'ten 19.93 cm^{-1} değerine, son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 0.29'dan 0.39 cm^{-1} değerine, çıkmasına neden oldu. Bu durumda, artan Bi_2O_3 katkı oranının BT20-Bi serilerinin *LAC* değerleri üzerinde oldukça olumlu etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılabilir. Yaşanılan bu durumun ardında ise Bi_2O_3 (8.90 g.cm^{-3}) içeriğinin, B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) ve TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) içeriklerine kıyasla daha yüksek yoğunluk değerine sahip olduğu düşünöldü. Nitekim, çeşitli literatür çalışmalarında elde edilen bulgular da anılan durumu destekler niteliktedir (Geidam vd. 2022, El-bashir vd. 2017). Son olarak ise, 0.03 MeV foton enerji seviyesi civarında *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş olduğu tespit edilirken, bu durumun Te elementinin karakteristik K- absorpsiyon enerjisi (0.031 MeV) olduğunu vurgulamak gerekir (İnt. Kyn. 6). Netice itibariyle, artan foton enerji seviyelerinin nihai *LAC* değerlerini arttırır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber Bi_2O_3 katkı oranındaki artışın da benzer şekilde *LAC* değerlerini oldukça arttırdığı neticesine varılabilmektedir.

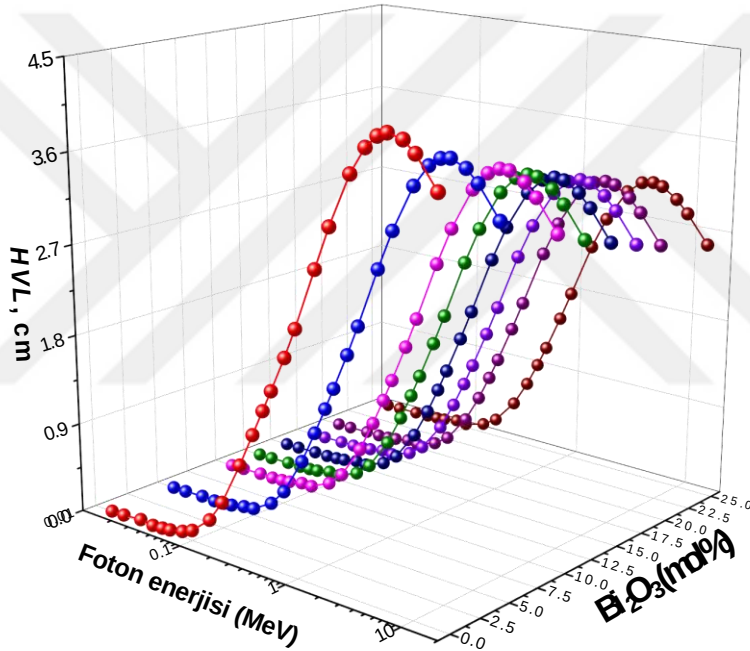


Şekil 5.54 Artan Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak farklı foton enerji seviyelerinde (0.15- 15 MeV) doğrusal soğurma katsayısındaki (LAC) değişimler.

BT20-Bi cam sistemine ait *HVL* kalınlık değerlerinin tespiti açısından Şekil 5.55’de yer alan çizim oluşturuldu. Artan foton enerjisinin etkilerine bakıldığında, düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, *HVL* değerleri oldukça düşük (< 0.004 cm) bulunur. Orta foton enerji seviyelerine doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, *HVL* kalınlığında bir artış (< 0.103 cm) yaşandı. Daha yüksek foton enerji seviyelerine çıkıldıkça, örneğin 1 MeV, *HVL* kalınlığının daha da arttığı (< 2.37 cm) görüldü. Dolayısıyla, artan foton enerjisi *HVL* değerlerini artırır yönde etkiye bulunduğu tespit edilebilir.

Diğer taraftan, artan Bi_2O_3 katkı oranının *HVL* kalınlığını ne yönde etkilediğinin açıklanması gerekir. Üçlü bizmut-boro-tellürit cam sistemi dahilinde Bi_2O_3 oranının artması *HVL* değerlerinin azalış yönünde hareket etmesine neden olduğu görüldü. Zira, bu azalmalar düşük, orta ve yüksek enerji seviyelerinde tüm numuneler için benzer şekildedir. Bi_2O_3 konsantrasyonunun molce % 0’dan 25 değerine çıkması *HVL* parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 0.0037’den 0.0016 cm

değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 0.103'ten 0.035 cm değerine, son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 2.37'den 1.78 cm değerine, düşmesine olanak tanıdı. Artan Bi_2O_3 katkı oranının *BT20- Bi* serilerinin *HVL* değerleri üzerinde oldukça olumlu etkiye sahip olduğu bulundu. Yaşanılan bu durumun ardında ise Bi_2O_3 ($465.96 \text{ g.mol}^{-1}$) içeriğinin B_2O_3 (69.63 g.mol^{-1}) ve TeO_2 (159.6 g.mol^{-1}) içeriklerine kıyasla daha yüksek moleküler ağırlık değerine sahip olması verilebilir. Sonuç olarak, artan foton enerji seviyelerinin nihai *HVL* değerlerini arttırır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber Bi_2O_3 katkı oranındaki artışın da ise tam tersine *HVL* değerlerini azalttığı ortaya çıkarılabilmektedir.

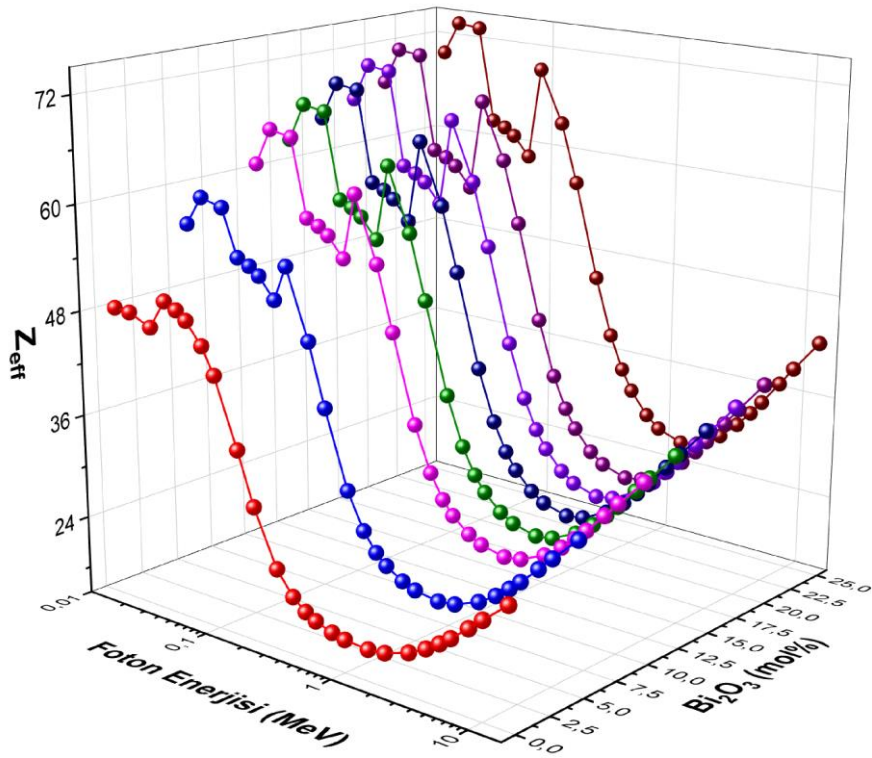


Şekil 5.55 Artan foton enerjisi ve Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak yarı-değer katmanı (*HVL*) parametresindeki değişimler.

Şekil 5.56 kapsamında *BT20- Bi* numunelerinin farklı foton enerji seviyelerindeki Z_{eff} değerleri görülmektedir. Artan foton enerjisi ile birlikte Z_{eff} değerlerinde bir artış olduğu bulundu. Özellikle, düşük foton enerjilerinde, örneğin 0.015 MeV, Z_{eff} değerleri oldukça yüksek (> 48) elde edildi. Orta foton enerji seviyelerine doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, Z_{eff} değerlerinde bir düşüş (< 44) yaşandı. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, Z_{eff} değerlerinin daha da düştüğü ($<$

28) ortaya çıkmaktadır.

Üçlü bizmut-borotellürit cam sistemi dahilinde Bi_2O_3 oranının artması Z_{eff} değerlerinin artış yönünde hareket etmesine neden olduğu görüldü. Bi_2O_3 katkı oranının molce % 0'dan 25 değerine çıkması Z_{eff} parametresini, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 48.53'ten 69.94 değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 43.77'den 69.45 değerine, ve son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 18.72'den 28.01 değerine, çıkmasına sebep oldu. Yaşanılan bu durumun ardında ise Bi_2O_3 (Z: 83) içeriğinin B_2O_3 (Z: 5) ve TeO_2 (Z: 52) içeriklerine kıyasla daha yüksek atom numarasına sahip olması verilebilir. Sonuç olarak, artan foton enerji seviyelerinin nihai Z_{eff} değerlerini azaltır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber Bi_2O_3 katkı oranındaki artışın da aksine Z_{eff} değerlerini artırdığı söylenebilmektedir.



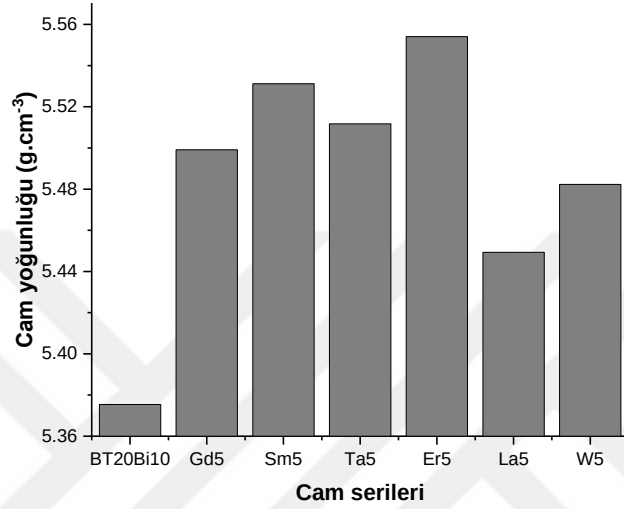
Şekil 5.56 Artan foton enerjisi ve Bi_2O_3 katkı oranına bağlı olarak etkin atom numarası (Z_{eff}) parametresindeki değişimler.

5.3 Bizmut-borotellürit-HMO (BT20Bi10-HMO) Cam Sistemlerinin Değerlendirilmesi

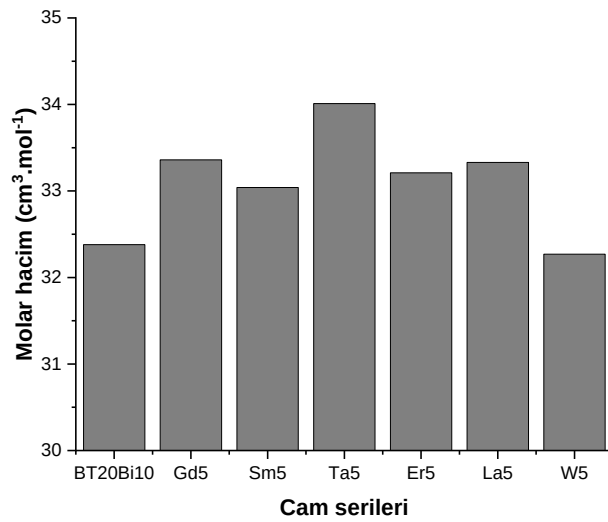
5.3.1 Fiziksel Özellikler

Sentezlenen cam serileri için öncelikle fiziksel özellik belirlenmesi maksadıyla bazı önemli parametreleri değerlendirildi. Böylelikle, üretilen camlar için temel bilgiler elde edilmiş oldu. Şekil 5.57 ve Şekil 5.58 kapsamında molce % 5 oranında farklı HMO katkılarına bağlı olarak, sırasıyla, ρ_{cam} ve V_m parametrelerinde meydana gelen değişimler verildi. Cam yoğunluk değerlerine detay olarak bakıldığında katkısız BT20- Bi10 numunesinin 5.3754 g.cm^{-3} , sırasıyla farklı HMO katkılı BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 cam numunelerin ise 5.4991 , 5.5312 , 5.5117 , 5.5541 , 5.4493 , ve 5.4823 g.cm^{-3} elde ettiği görüldü. Öte yandan, yoğunluğa etkisi bakımından farklı HMO ilaveleri birbiri ile kıyaslandığında şu yönde bir sıralama elde edildi: BT20Bi10- Er5 > BT20Bi10- Sm5 > BT20Bi10- Ta5 > BT20Bi10- Gd5 > BT20Bi10- W5 > BT20Bi10- La5. Katkı oranı olarak molce %5 kullanılması ve farklı HMO ilaveleri sayesinde katkısız BT20- Bi10 numunesinin yoğunluğunun başarıyla artırıldığı sonucuna varılabilmektedir. Bununla birlikte, yoğunluk artışına katkıda bulunma sırası bakımından farklı HMO katkıların verdiği sonuçlar ise her bir oksit ilavenin yoğunluk değerleri ile ilişkilendirilebilmektedir. Öyle ki, yoğunluk değeri bakımından Er_2O_3 , Sm_2O_3 , Ta_2O_5 , Gd_2O_3 , WO_3 ve La_2O_3 sırasıyla 8.64 , 8.35 , 8.20 , 7.41 , 7.16 ve 6.51 g.cm^{-3} değerlerine sahiptir. Bu değerler sayesinde, daha düşük yoğunluğa sahip olan BT20- Bi10 cam sisteminde genel cam yoğunluğu artışı sağlandı. Diğer taraftan, farklı HMO ilavelerinin molar hacim parametresi üzerindeki etkisi Şekil 6 vasıtasıyla görülebilir. Molar hacim değerleri, farklı HMO katkılı BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 cam numuneleri için sırasıyla 33.36 , 33.04 , 34.01 , 33.21 , 33.33 ve $32.27 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ şeklinde hesaplandı. Aynı şekilde, molar hacim değerlerinin artıştan azalışa doğru farklı HMO ilaveleri ile değişimi kıyaslandığında şu yönde bir sıralama elde edilir: BT20Bi10- Ta5 > BT20Bi10- Gd5 > BT20Bi10- La5 > BT20Bi10- Er5 > BT20Bi10- Sm5 > BT20Bi10- W5. Bulunan değerlerden hareketle cam ağ yapısının farklı HMO ilaveleri ile genişlediği ve bağlanmamış oksijen sayısının artış gösterdiği çıkarımı yapılabilir. Bununla beraber, ρ_{cam} ve V_m arasında doğru orantılı bir

ilişki görülmesi literatürde beklenebilen bir durumdur (Gupta vd. 2017). Nihayetinde, farklı *HMO* ilaveleri sayesinde BT20- Bi10 cam sisteminin hem yoğunluk değerleri geliştirilebilmiş hem de molar hacim değerleri arttırır nitelikte sağlanabilmiştir. Buna ek olarak, yoğunluk değerini en çok arttıran katkının Er_2O_3 olduğu, en az arttıranın ise La_2O_3 olduğu sonucuna varılabilmektedir.



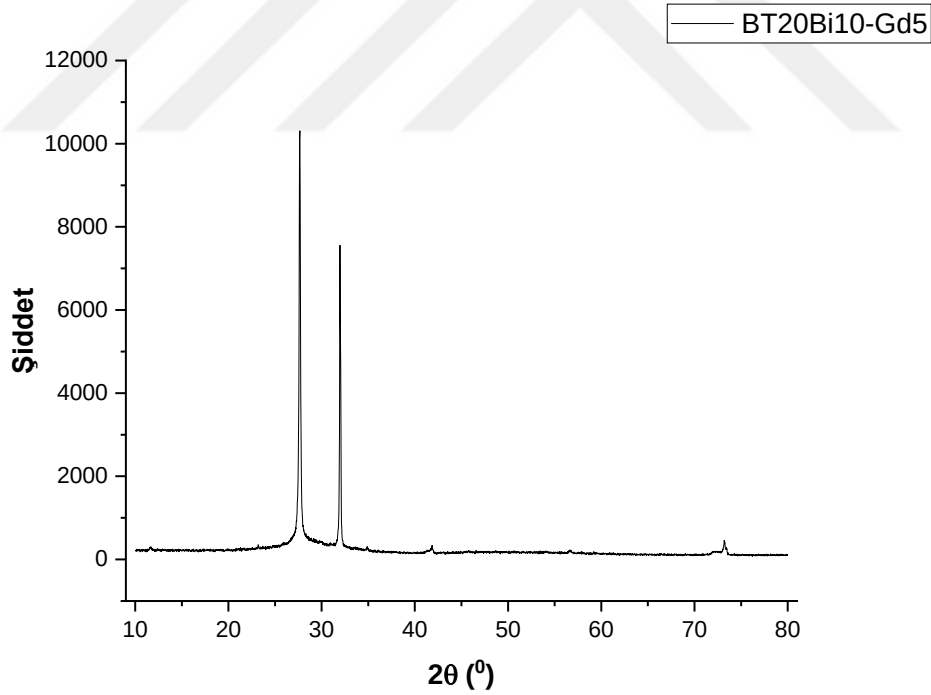
Şekil 5.57 Farklı *HMO* katkılarına bağlı olarak cam yoğunluğu parametresinde değişimler.



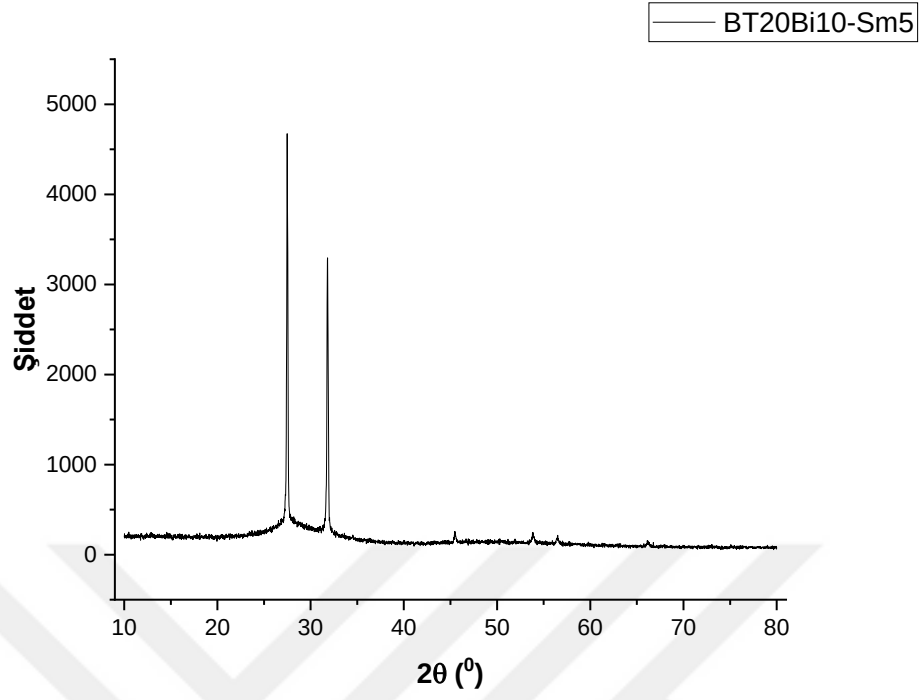
Şekil 5.58 Farklı *HMO* katkılarına bağlı olarak molar hacim parametresinde değişimler.

5.3.2 Yapısal Özellikler

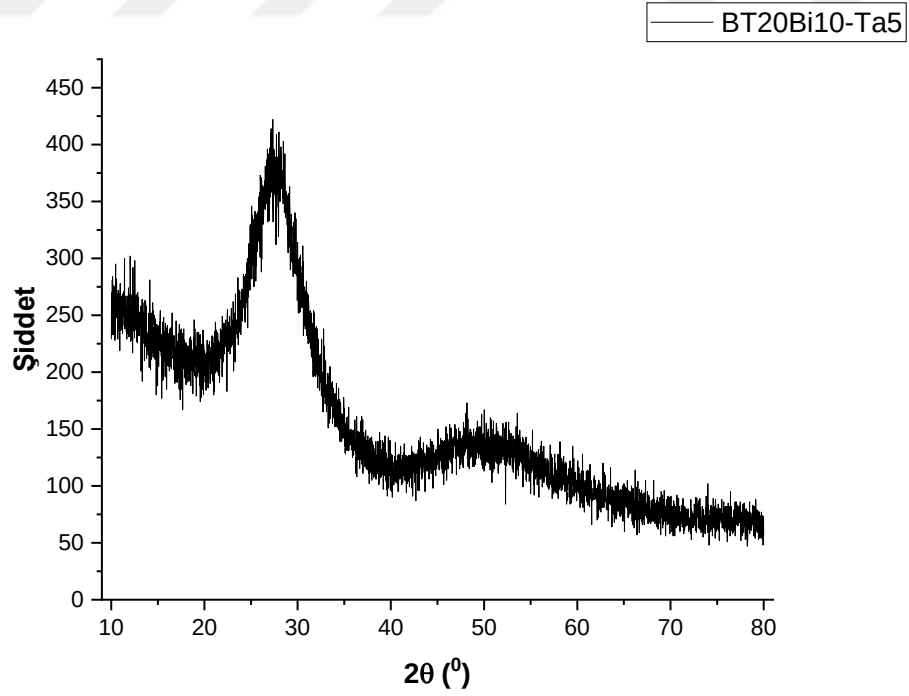
Cam malzeme yapısının amorf halde olup olmadığının tespiti bakımından X-ışını kırınım (XRD) tekniği takip edildi ve bulguları Şekil 5.59 ile Şekil 5.64 arasında sunuldu. BT20Bi10- Ta5 ve BT20Bi10- La5 numunelerinde, amorf yapının varlığı tespit edildi, ve herhangi bir kristal faza rastlanmadı. Bu tespitin ardında yatan gerçeklikler ise keskin tepe noktalarının bulunmayışı ve aynı zamanda $2\theta = 15-35$ derece arasında yayvan bir hareket bulunması verilmektedir. Diğer yandan, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Er5 ve BT20Bi10- W5 serilerinde ise şiddetli piklerin varlığı tespit edildi. Bu pikler incelendiğinde ise, bizmut oksit ve tellür oksit esaslı pikler olduğu neticesine varıldı. Özelde ise, bu piklerin $\text{Bi}_2\text{Te}_6\text{O}_{15}$ (bizmut tellür oksit), Bi_2O_3 (bizmut oksit) ve $\text{Bi}_{16}\text{Te}_5\text{O}_{34}$ (bizmut tellür oksit) oldukları söylenebilmektedir. Sonuçta, sentezlenen BT20Bi10- 5HMO serilerinde herhangi bir pik içermeyen amorf yapının varlığı söz konusu olduğunda Ta_2O_5 ve La_2O_3 ilavelerinin yapılması gerektiği vurgulanabilir.



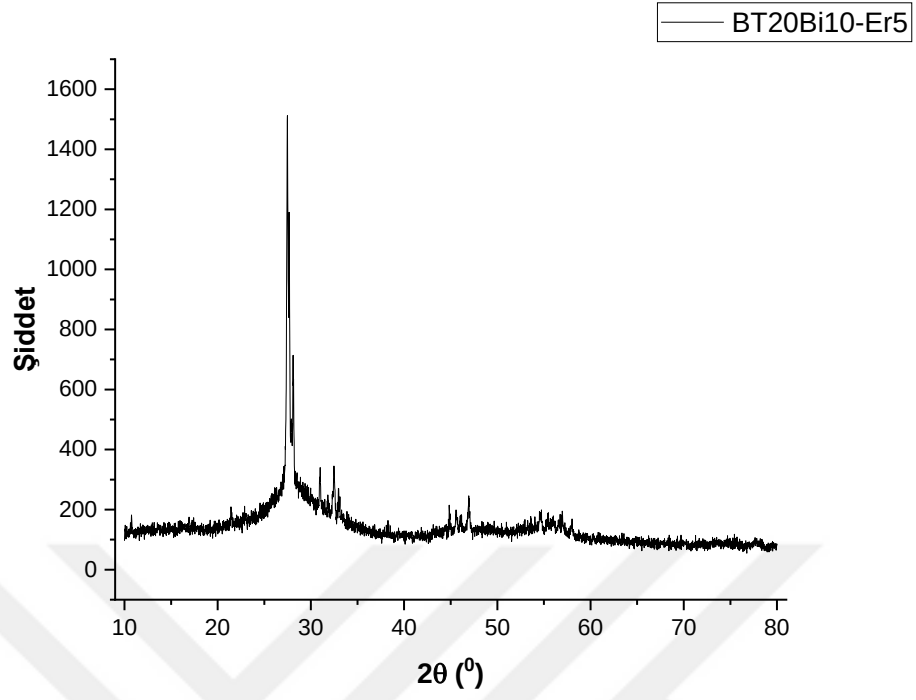
Şekil 5.59 Sentezlenen BT20Bi10- Gd5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.



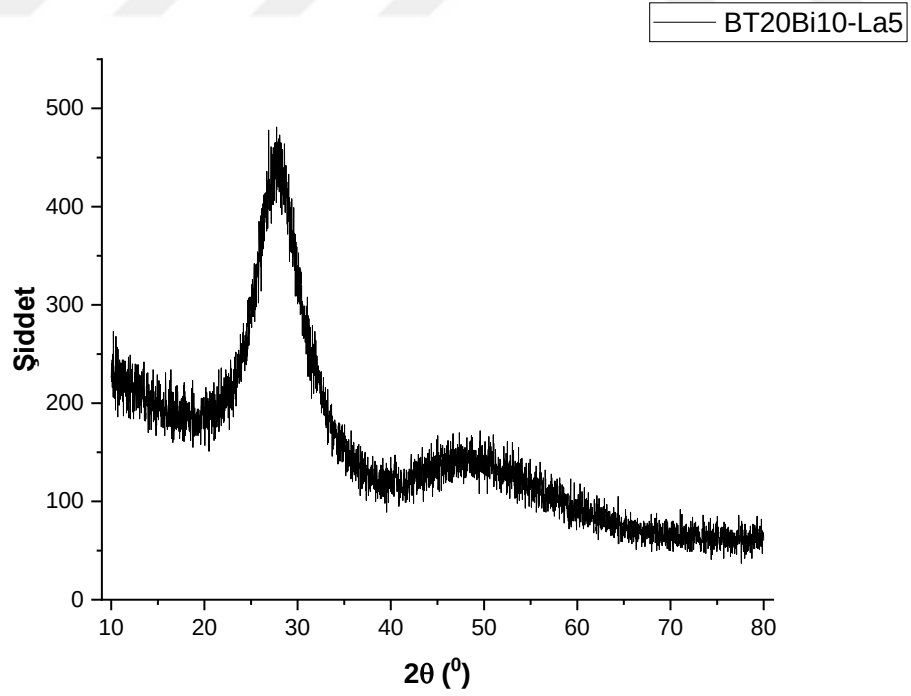
Şekil 5.60 Sentezlenen BT20Bi10- Sm5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.



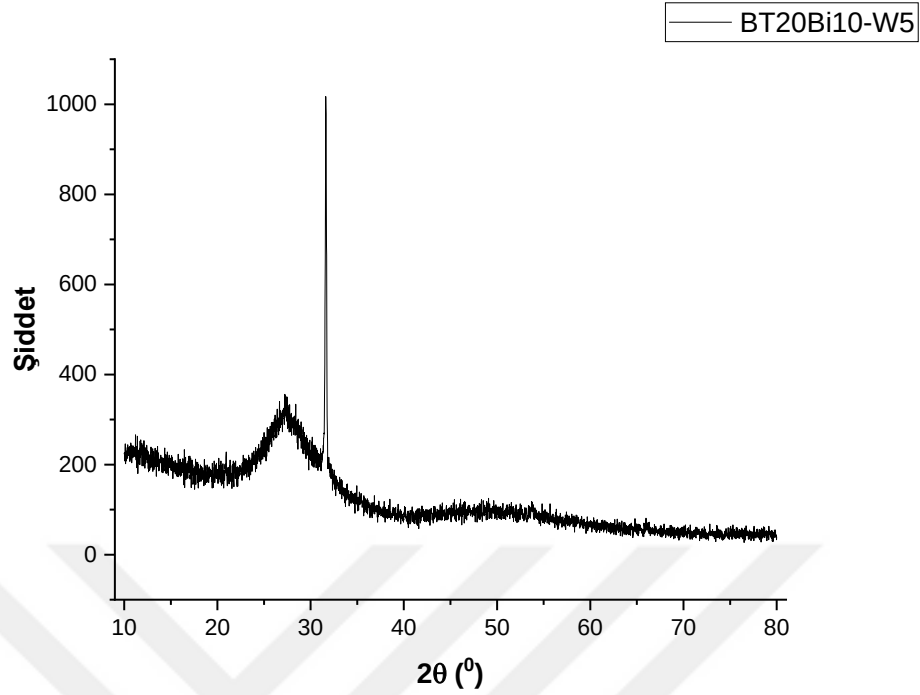
Şekil 5.61 Sentezlenen BT20Bi10- Ta5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.



Şekil 5.62 Sentezlenen BT20Bi10- Er5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.



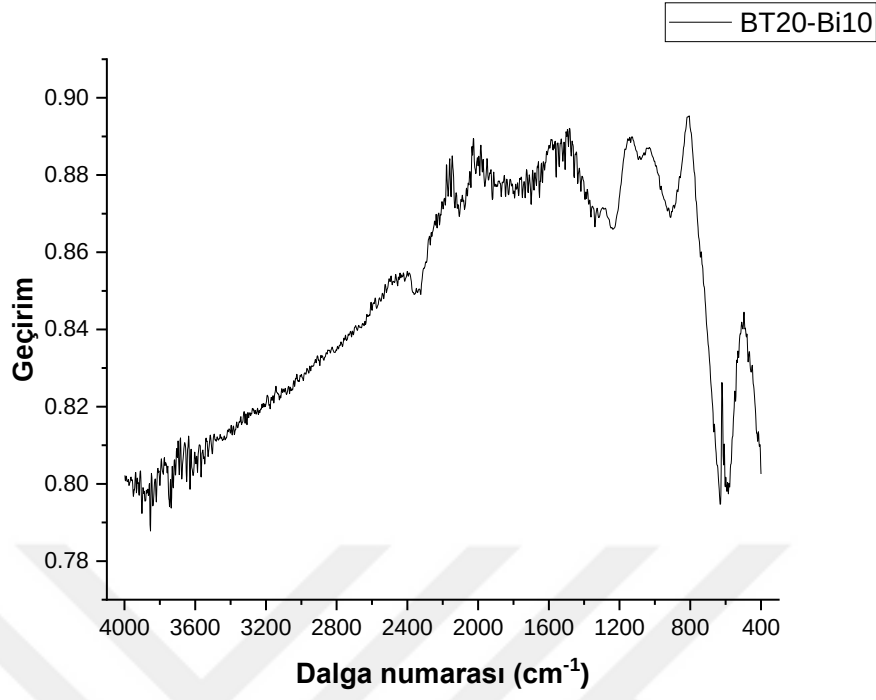
Şekil 5.63 Sentezlenen BT20Bi10- La5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.



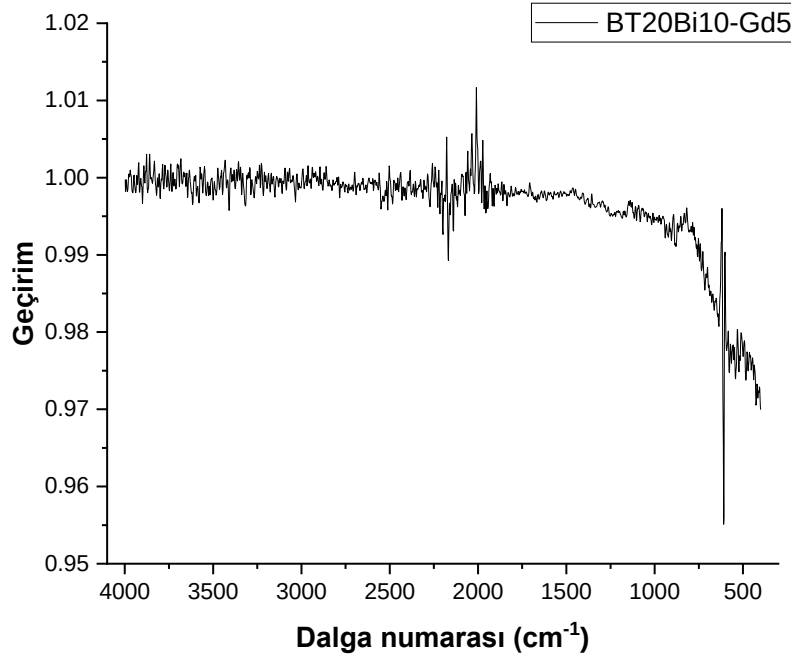
Şekil 5.64 Sentezlenen BT20Bi10-W5 cam serisine ait X-ışını kırınım desenleri.

Sentezlenen cam numunelerinin bağ yapıları hakkında bilgi edinmek amacıyla Fourier geçirimli infrared (FT- IR) yöntemi uygulandı. Elde edilen spektrumlar Şekil 5.65 ile Şekil 5.72 kapsamında numuneler için ayrı ayrı gösterildi. Burada, 4000 ile 1600 cm^{-1} aralığında meydana gelen tepe hareketlenmeleri, O-H gruplarına ait germeler, H-H bağlanmaları, CO_2 kızılotesi soğurumu gibi bağ tiplerinin mevcut olduğu söylenebilir. Ayrıca, daha düşük dalga numarasına doğru hareket edildikçe cam sisteminde yer alan bağ tiplerinin ortaya çıkarılması daha mümkün hale geldi. Öyle ki, 1250 ile 1220 cm^{-1} arasında farklı cam serileri için tepelenmeler gözlemlenmekte ve bunlar boroksol halkasının BO_3 biriminde B-O'nun germe titreşimleri olarak nitelendirilebilir (Rada vd. 2008, Rada vd. 2009, Rada vd. 2010, İşsever vd. 2019, Kilic vd. 2021). 1170 ile 1150 cm^{-1} arasında görülen çeşitli tepelenmeler ise piroborat grupları içindeki B-O gerilme titreşimler olarak adlandırılabilir (Lakshminarayana vd. 2019, Vedavyas vd. 2021, Divina vd. 2020). 960 ile 930 cm^{-1} arasında yer alan farklı tepelenmeler BO_4 birimindeki B-O-B eğilme titreşimleri olarak tahmin edilebilmektedir (Lakshminarayana vd. 2019, Rada vd. 2008, Lakshminarayana vd. 2017b). Bunların yanı sıra, 820 ve 800 cm^{-1} arasında oluşan

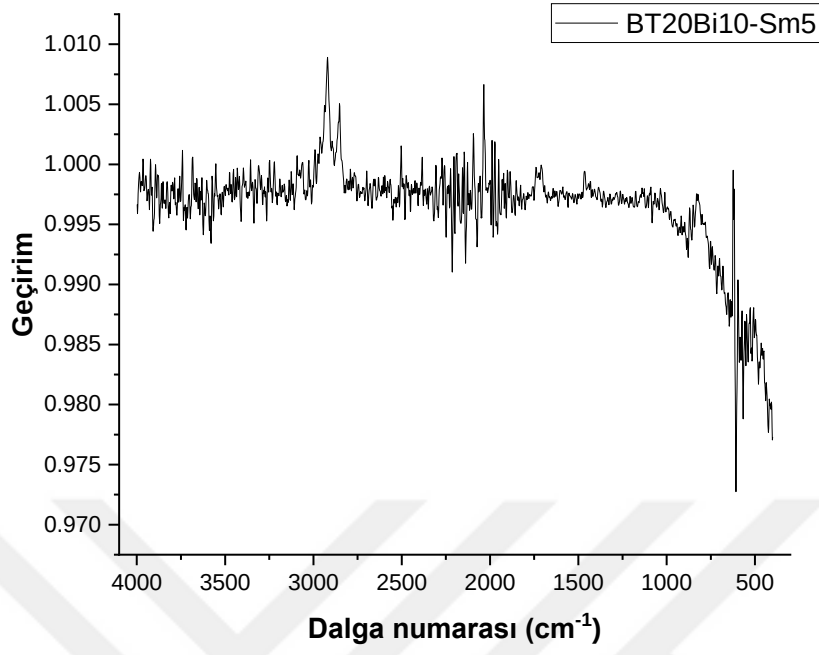
çeşitli tepelenmelerin TeO_{3+1} ve TeO_3 'ün germe titreşimleri olabileceği düşünülebilir (Lakshminarayana vd. 2018, Kaky vd. 2019). Sentezlenen cam serilerinde 634 ile 598 cm^{-1} arasında görülen farklı tepe oluşumları ise TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O'nun germe titreşimleri şeklinde yorumlanabilir (Lakshminarayana vd. 2017, Kilic vd. 2021). 598 ile 591 cm^{-1} arasında dar bir aralıkta gözlemlenen tepe oluşumları TeO_4 ve köprü oksijen arasındaki Te-O bağlarının titreşimleri şeklinde tahmin edilmektedir (Kilic vd. 2021, El-Deen vd. 2008). Diğer taraftan, 590 ile 570 cm^{-1} arasındaki tepe oluşumları TeO_4 trigonal bipiramidal (tbp) ünitesinde Te-O-Te'nin eğilme titreşimleri olarak anlamlandırılabilir (Kilic vd. 2021). Bor ve tellür elementlerinin bağ tiplerinin çoğunlukla tespit edilebilmesi sonrasında, daha düşük dalga numarasına doğru gidildikçe bizmut elementinin yaptığı bağ tiplerine yönelik yorumlamaların önünün açıldığı görülebilir. Öyle ki, 497 ile 493 cm^{-1} gibi dar bir aralıkta ortaya çıkan tepelenmelerin BiO_6 oktahedral birimlerin Bi-O ve Bi-O-Bi germe titreşimlerine ait olduğu farklı literatür kaynakları tarafından tahmin edilebilmektedir (Lakshminarayana vd. 2017b, Gaikwad vd. 2019b). Diğer taraftan, 480 ve 463 cm^{-1} aralığında görülen farklı tepe noktalarının ise Te-O-Te veya O-Te-O bağlantıları, Te-O-R ve/veya O-Te-R bağlantıları, BiO_6 ve/veya BiO_3 birimlerinde Bi-O eğilme titreşimleri, ya da BO_4 birimlerinin bükülmesine ait olabileceği düşünülebilir. Son olarak, 472 ve 449 cm^{-1} aralığında meydana gelen tepe oluşumlarının Bi-O'nun BiO_6 oktahedral birimlerdeki titreşimleri, ya da Te-O-Te ve/veya O-Te-O'nun bağlantı eğilme titreşimleri olabileceği düşünülebilir (Rada vd. 2009, Naseer vd. 2021). Yapılan tahminler dahilinde, *HMO* ilavelerine ilişkin oluşan herhangi bir bağ tipine mevcut durumda yorum getirilememiştir. 450 ile 400 cm^{-1} arasında açığa çıkan düşük şiddetteki sık tepelenmelerin B-O-R (R: Gd, Sm, Ta, Er, La, ve W) ve/veya Te-O-R (R: Gd, Sm, Ta, Er, La, ve W) şeklinde olabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.



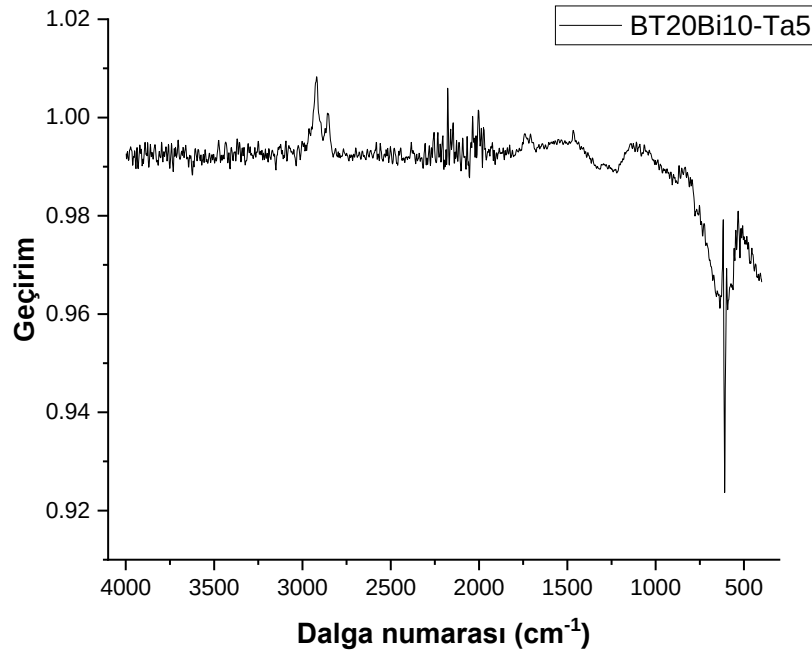
Şekil 5.65 BT20- Bi10 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



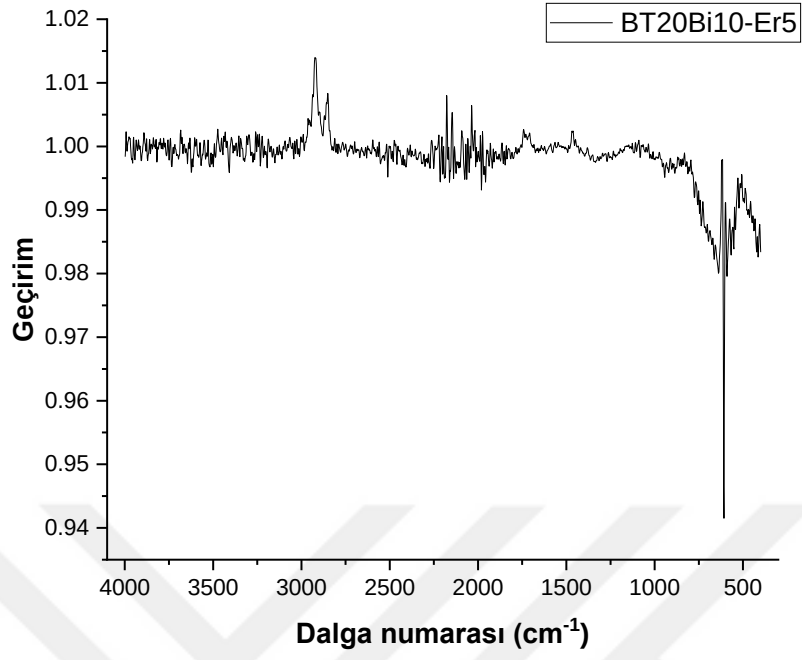
Şekil 5.0.66 BT20Bi10- Gd5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



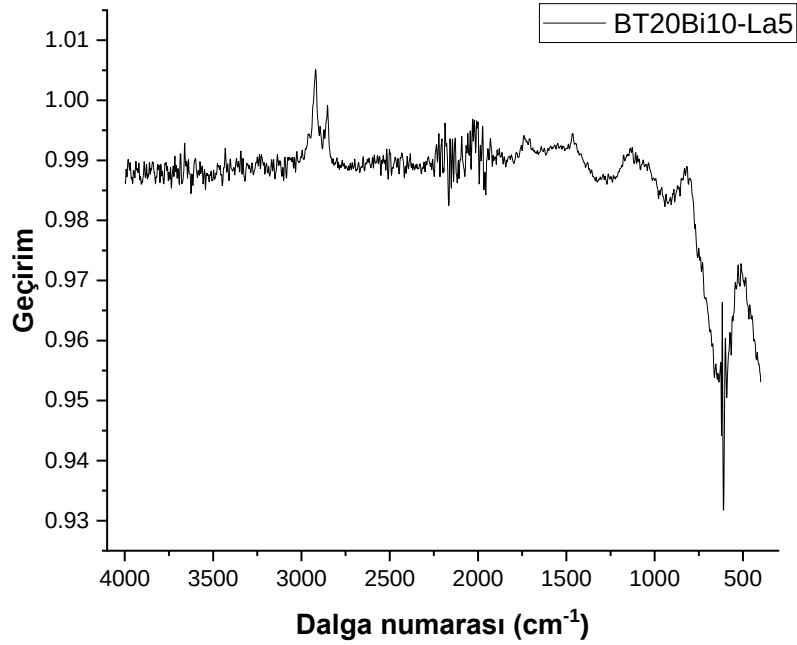
Şekil 5.67 BT20Bi10- Sm5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



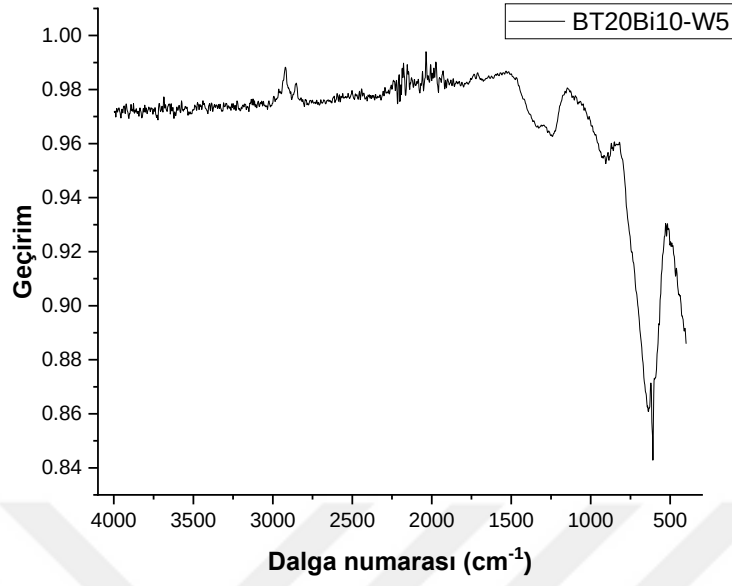
Şekil 5.68 BT20Bi10- Ta5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



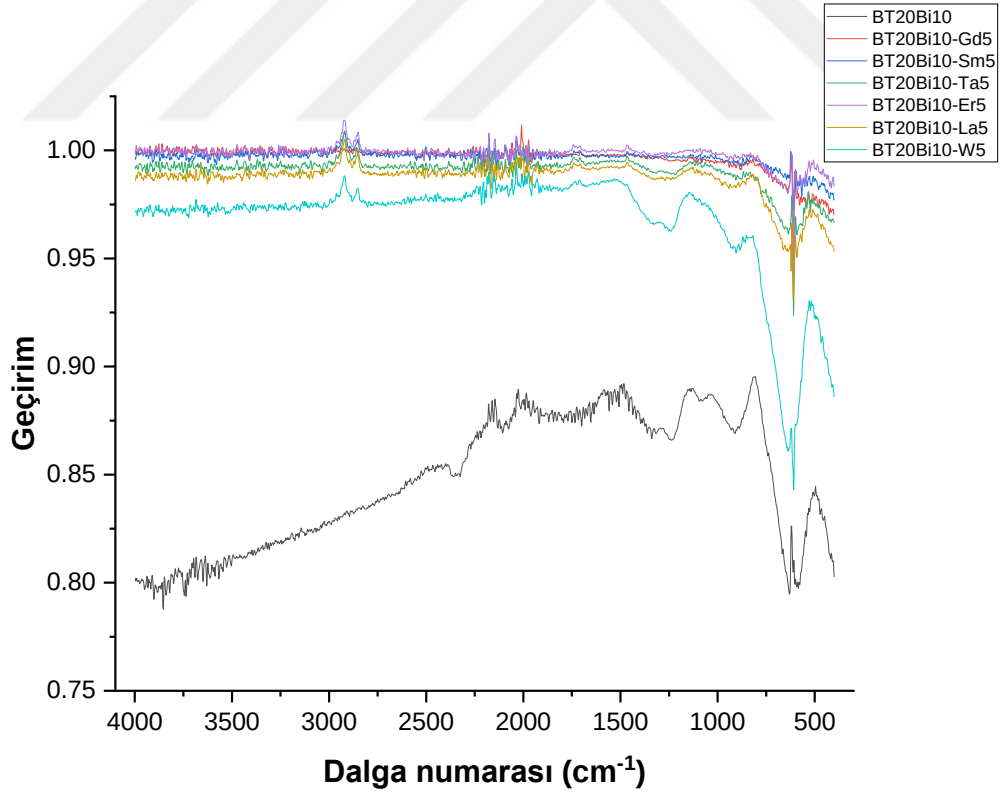
Şekil 5.69 BT20Bi10- Er5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.70 BT20Bi10- La5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



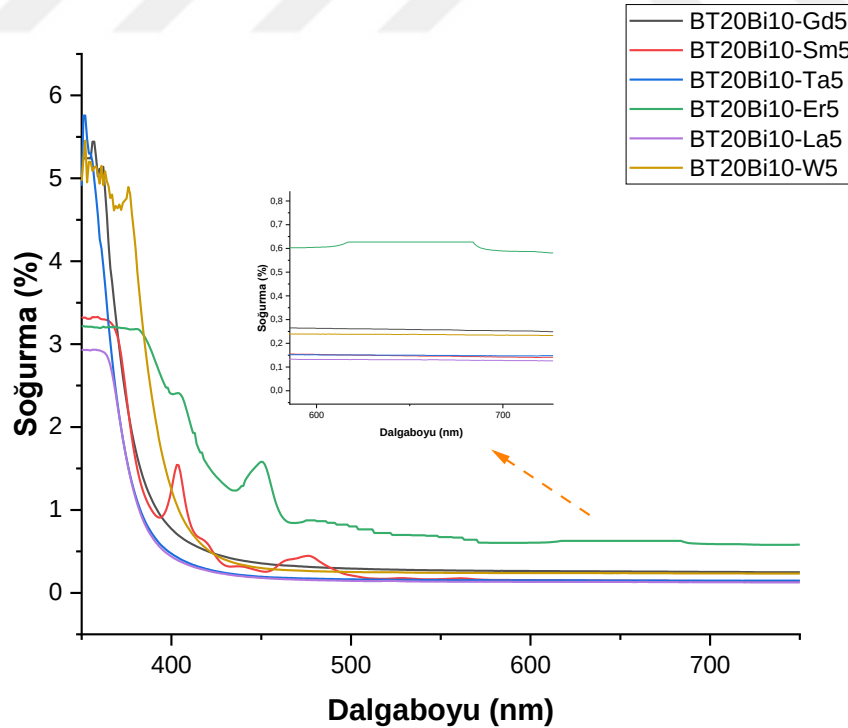
Şekil 5.71 BT20Bi10- W5 numunesi için FT- IR yöntemiyle elde edilen geçirim spektrumları.



Şekil 5.72 Sentezlenen BT20- Bi10 ve BT20Bi10- 5HMO numunelerine ilişkin FT- IR yöntemi ile elde edilen 4000- 400 cm⁻¹ arası geçirim spektrumları.

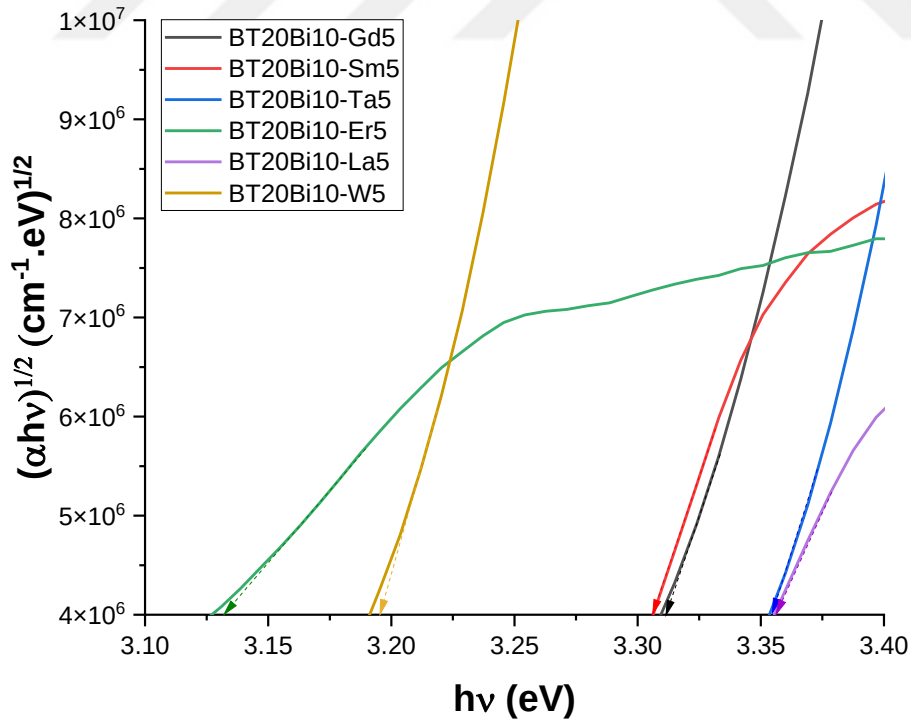
5.3.3 Optik Özellikler

Optik özellikler çerçevesinde, *BT20Bi10- HMO* serileri için elde edilen dalgaboyuna karşılık soğurma eğrileri Şekil 5.73'te verildi. Tüm eğriler genel olarak incelendiğinde, çarpıcı bir soğurma piki oluşmadığı görüldü. Sadece, *BT20Bi10- Sm5* ve *BT20Bi10- Er5* numunelerinde sırasıyla 400 ve 450 nm dalgaboylarında tepe noktaları görülmektedir. Öte yandan, *HMO* katkı oranına göre bir kıyaslama yapıldığında, 400 ile 600 nm dalgaboyu arasında soğurma kabiliyetlerine göre, şu şekilde bir sıralama elde edilir: *BT20Bi10- Er5* > *BT20Bi10- Gd5* > *BT20Bi10- W5* > *BT20Bi10- Sm5* > *BT20Bi10-Ta5* > *BT20Bi10- La5*. Gerek *HMO* katkıları dahilinde bulunan elementlerin atomik çapları göz önüne alındığında gerekse atomik ağırlıkları değerlendirildiğinde, elde edilen sıralamaya yönelik net bir açıklık sağlanamamıştır. Fakat, en iyi soğurma kabiliyetine sahip olarak Er_2O_3 katkılı numune verilebilirken en düşük soğurma kabiliyeti La_2O_3 katkısı vermekte olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Bu durum da, tıpkı yoğunluk artışında elde edilen bulgular gibi karşımıza çıktığından bahsedilebilir.



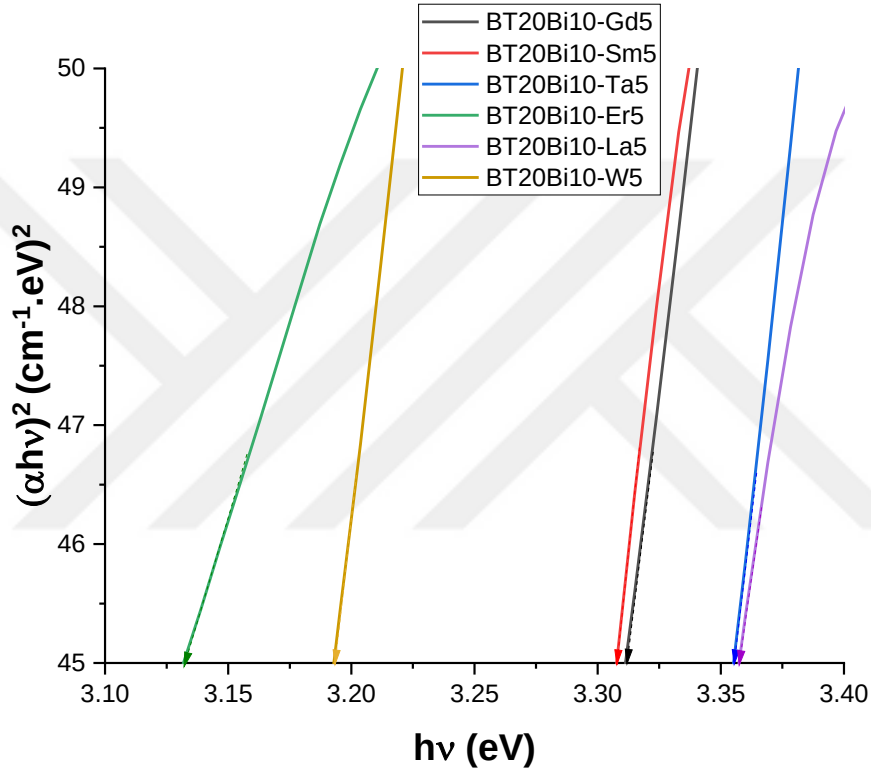
Şekil 5.73 *BT20Bi10- HMO* serilerine ait soğurma eğrileri.

Soğurma eğrilerinin kullanılması ile bazı önemli parametrelerin hesaplanması gerçekleştirildi. Şekil 5.74'te doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin, $(\alpha h\nu)^{1/2}$ vs. $h\nu$ kullanılarak, ne yönde değiştiği bulundu. Hatırlanacağı üzere, BT20- Bi10 serisine ait doğrusal enerji bant aralığı değeri 3.15 eV şeklinde bulunurken bu değer *HMO* ilavelerine göre BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 3.31, 3.30, 3.35, 3.13, 3.36 ve 3.19 eV olarak elde edildi. Buradan hareketle de, *HMO* ilavelerine göre düşükten yükseğe olarak şu sıralama karşımıza çıkar: Er < W < Sm < Gd < Ta < La. Anılan durum ışığında, katkısız olarak değerlendirilen BT20- Bi10 numunesinin sağladığı 3.15 eV değeri göz önüne alındığında, bu değeri daha da düşüren katkının Er_2O_3 olduğu, diğerlerinin ise artırır yönde katkı sağladığı görülür. Bu durum irdelendiğinde, düşük doğrusal enerji bant aralığı değerlerinin istendiği, böylelikle de ışıın-madde etkileşiminin artırılarak geçirimin azaltıldığı düşünüldüğünde, en iyi sonucun Er_2O_3 ilavesi ile sağlandığı bulunabilmektedir. Nitekim, soğurma kabiliyeti olarak da BT20Bi10- Er5 numunesi diğerlerine kıyasla yüksek netice sağlamaktaydı.



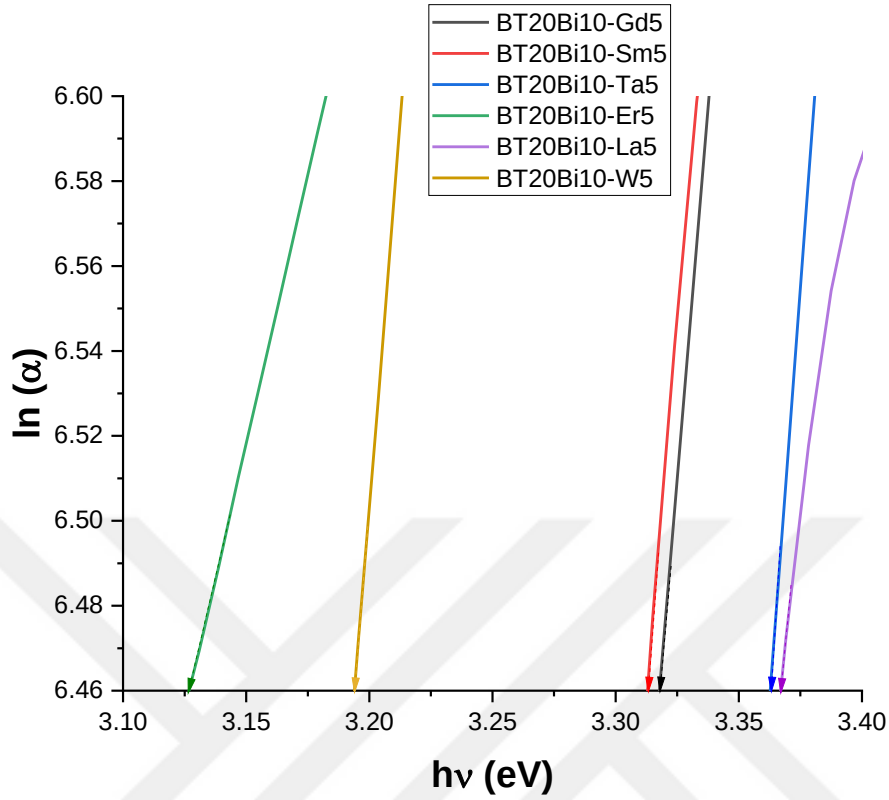
Şekil 5.74 Doğrusal enerji bant aralığı (E_g^d) değerlerinin farklı *HMO* katkılarına göre değişimi.

Öte yandan, doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) ilişkin kıyaslama Şekil 5.75'te verildi. Değerlere bakıldığında, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 3.32, 3.31, 3.35, 3.12, 3.36 ve 3.20 eV değerlerine sahip olduğu tespit edildi. Katkısız numune olan BT20- Bi10 numunesi hatırlandığında, 2.94 eV değerine sahip olduğu bulunur. Netice itibarıyla, tüm *HMO* katkılarının doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerini artırır nitelikte davranış sergilediği tespit edilebilmektedir.



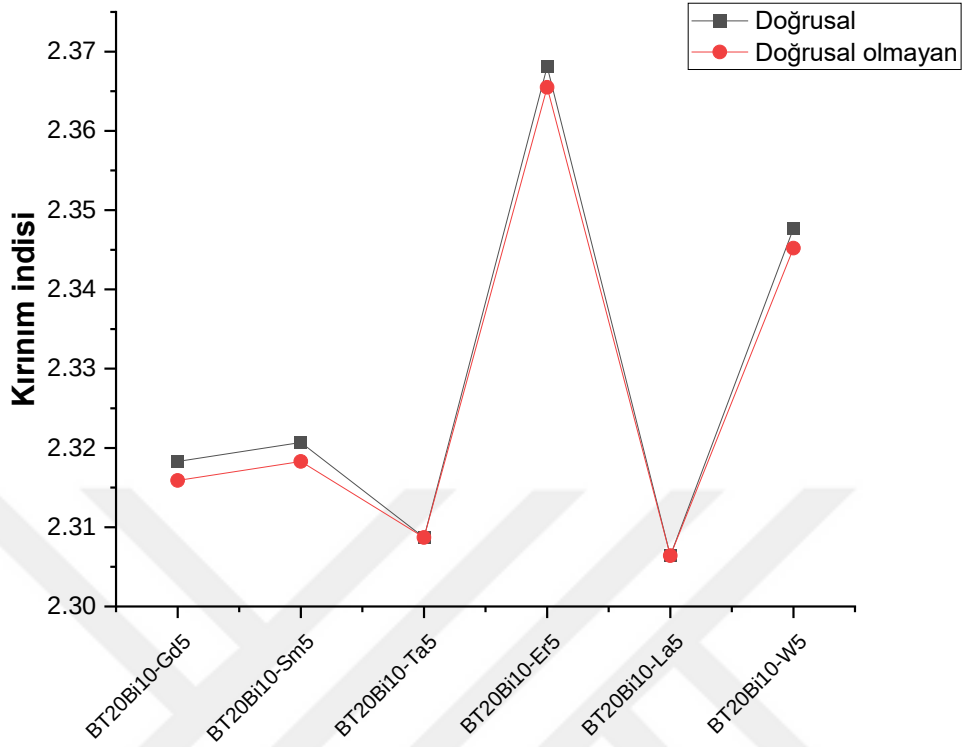
Şekil 5.75 Farklı *HMO* katkısına bağlı doğrusal olmayan enerji bant aralığı (E_g^{ind}) değerleri.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin sentezlenen cam serilerine ilişkin değerlendirilmesinin ardından Şekil 5.76'da Urbach (E_U) enerjilerinin ne yönde değiştiği irdelendi. BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 3.32, 3.31, 3.36, 3.11, 3.37 ve 3.20 eV değerleri elde edildi. Diğer cam serilerin değerleri ile kıyaslandığında, *HMO* ilaveleri ile birlikte E_U değerlerinin artış gösterdiği, dolayısıyla da yapısal bozunumun arttığı çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 5.76 Urbach enerji değerlerinin farklı HMO katkılandırması ile değişimi.

Doğrusal ve doğrusal olmayan enerji bant aralığı değerlerinin her bir numune için tespit edilmesi ile birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisleri (n) hesaplandı, ve hesaplanan değerler Şekil 5.77’de verildiği üzere sunuldu. Doğrusal n değerlerine bakıldığında BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 2.3183, 2.3207, 2.3087, 2.3681, 2.3064 ve 2.3477 şeklinde değerlerin elde edildiği görülürken, doğrusal olmayan n değerlerine bakıldığında ise sırasıyla 2.3159, 2.3183, 2.3087, 2.3655, 2.3064 ve 2.3452 değerlerinin elde edildiği görülür. BT20- Bi10 numunesinin doğrusal ve doğrusal olmayan n değerleri göz önüne alındığında, sırasıyla 2.3515 ve 2.4137, sadece Er_2O_3 ilavesinin doğrusal kırınım indisi değerini artırabildiğinden bahsedilebilir. Diğer HMO ilaveleri ile birlikte kırınım indisi değerlerinde bir artış görülmeyp, aksine azalış olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.77 Doğrusal ve doğrusal olmayan kırınım indisi parametrelerinin farklı HMO ilavesine karşılık değişimleri.

5.3.4 Teorik Radyasyon Soğurma Özellikleri

BT20Bi10- HMO cam sistemlerine dair *LAC* değerlerinin ne yönde değişim gösterdiğinin belirlenebilmesi amacıyla Phy- X/ PSD programı sayesinde Çizelge 5.7 elde edildi. Öncelikle, artan foton enerjisinin *LAC* değerleri üzerindeki etkisini irdelemek gerekir. Bu kapsamda, düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, *LAC* değerleri oldukça yüksek ($> 295 \text{ cm}^{-1}$) bulundu. Orta foton enerji seviyelerinde doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş ($< 15 \text{ cm}^{-1}$) yaşandı. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, *LAC* değerlerinin daha da düşüş sergilediği ($< 0.33 \text{ cm}^{-1}$) görüldü. Foton enerji seviyelerine göre yaşanan bu *LAC* değişimleri, genellikle iyi bilinen 3 tip mekanizmayla açıklanabilmektedir. Düşük, orta ve yüksek foton enerji seviyelerindeki hareketler sırasıyla fotoelektrik etki (*photoelectric*

effect), Compton saçılımı (*Compton scattering*) ve eşli oluşum süreci (*pair production process*) olarak anımlandırılabilir.

Foton enerji seviyelerindeki değişimlerin *LAC* değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde farklı *HMO* ilavelerinin ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiğinin açıklanması gerekir. Üçlü bizmut-borotellürit cam sistemi dahilinde molce % 5 oranında farklı *HMO* ilavelerinin yapılmasının, tüm numunelerin *LAC* değerlerinin artış yönünde hareket etmesine neden olduğu görülür. Zira, bu artışlar düşük, orta ve yüksek enerji seviyelerinde tüm numuneler için benzer şekildedir. Farklı *HMO* ilaveleri ile birlikte, *LAC* parametresi, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, BT20-Bi10, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 295.90, 316.94, 314.84, 339.17, 329.88, 301.25 ve 321.71 cm⁻¹ değerlerinin eldesi gerçekleşti. Bununla beraber, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, BT20- Bi10, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 12.71, 13.19, 13.16, 13.80, 13.61, 12.70 ve 13.39 cm⁻¹ değerleri elde edilirken, yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, BT20- Bi10, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde sırasıyla 0.333, 0.340, 0.342, 0.344, 0.345, 0.336 ve 0.341 cm⁻¹ elde edildi. Bu aşamada, farklı *HMO* katkılarının BT20- Bi10 serilerinin *LAC* değerleri üzerinde oldukça olumlu etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Yaşanılan bu durumun ardında ise *HMO* içeriklerinin BT20- Bi10 sistemine kıyasla daha yüksek yoğunluk değerlerine sahip olması verilebilir. Nitekim, çeşitli literatür çalışmalarında elde edilen bulgular da anılan durumu destekler niteliktedir. Son olarak ise, 0.03 MeV foton enerji seviyesi civarında *LAC* değerlerinde çarpıcı bir düşüş olduğu tespit edilirken, bu durumun Te elementinin karakteristik K- absorpsiyon enerjisi (0.031 MeV) olduğunu vurgulamak gerekir. Netice itibarıyla, artan foton enerji seviyelerinin nihai *LAC* değerlerini arttırır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber *HMO* ilaveleri ile birlikte benzer şekilde *LAC* değerlerini oldukça arttırdığı rapor edilebilir. Neticede, en iyi özelliğin ise Er₂O₃ ilavesiyle sağlandığı verilebilmektedir.

Çizelge 5.7 Farklı *HMO* katkılarına bağlı olarak *LAC* parametresi için 0.015 ile 15 MeV foton enerji seviyesinde elde edilen değerler.

Foton enerjisi (MeV)	BT20- Bi10	BT20Bi10- Gd5	BT20Bi10- Sm5	BT20Bi10- Ta5	BT20Bi10- Er5	BT20Bi10- La5	BT20Bi10- W5
0.015	295.90	316.940	314.843	339.171	329.882	301.254	321.710
0.02	182.99	189.331	188.715	199.324	195.742	181.932	193.190
0.03	63.491	65.557	65.339	69.110	67.791	63.004	67.013
0.04	78.200	75.376	75.704	76.218	76.628	82.929	77.588
0.05	43.565	41.999	48.641	42.472	42.695	46.250	43.231
0.06	26.967	30.415	30.153	26.312	31.846	28.634	26.773
0.08	12.698	14.346	14.203	15.542	15.035	13.471	14.339
0.10	12.708	13.193	13.161	13.801	13.608	12.704	13.387
0.15	4.699	4.861	4.851	5.081	5.009	4.690	4.939
0.20	2.460	2.538	2.535	2.644	2.610	2.456	2.577
0.30	1.146	1.178	1.179	1.217	1.207	1.147	1.193
0.40	0.757	0.777	0.778	0.796	0.792	0.760	0.784
0.50	0.586	0.601	0.603	0.613	0.611	0.590	0.605
0.60	0.492	0.504	0.506	0.512	0.512	0.496	0.506
0.80	0.390	0.399	0.401	0.403	0.404	0.393	0.400
1.00	0.333	0.340	0.342	0.344	0.345	0.336	0.341
1.50	0.261	0.266	0.268	0.268	0.270	0.264	0.266
2.00	0.229	0.234	0.236	0.236	0.237	0.232	0.234
3.00	0.202	0.207	0.208	0.209	0.210	0.205	0.207
4.00	0.192	0.197	0.198	0.199	0.200	0.195	0.197
5.00	0.189	0.194	0.195	0.196	0.197	0.192	0.194
6.00	0.189	0.195	0.196	0.196	0.197	0.192	0.194
8.00	0.193	0.199	0.200	0.201	0.202	0.196	0.199
10.00	0.200	0.207	0.208	0.209	0.210	0.203	0.206
15.00	0.218	0.226	0.227	0.228	0.230	0.222	0.225

Bu noktada, *BT20Bi10- HMO* cam sistemlerine ait *HVL* kalınlık değerlerinin tespiti açısından Çizelge 5.8 elde edildi. Düşük foton enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, *HVL* değerleri oldukça düşük (< 0.002 cm) bulundu. Orta foton enerji seviyelerinde doğru hareket edildikçe, örneğin 0.1 MeV, *HVL* değerlerinde bir artış (< 0.05 cm) gözlemlendi. Daha yüksek foton enerji seviyelerinde doğru gidildikçe de, örneğin 1 MeV, *HVL* değerlerinin daha da arttığı (< 2.08 cm) ortaya çıkmaktadır.

Diğer taraftan, foton enerji seviyelerindeki değişimlerin *HVL* değerlerini nasıl etkilediğinin irdelenmesi akabinde farklı *HMO* ilavelerinin ne yönde sonuçlara sebebiyet verdiğinin açıklanması gerekir. Üçlü bizmut-borotellürit cam sistemi dahilinde farklı *HMO* ilavelerinin yapılması *HVL* değerlerinin azalış yönünde hareket etmesine neden olduğu görülür. Farklı *HMO* ilaveleri ile birlikte *HVL* parametresi, düşük enerji seviyelerinde, örneğin 0.015 MeV, 0.0023'ten 0.0020 cm değerine, orta enerji seviyelerinde, örneğin 0.1 MeV, 0.0545'ten 0.0502 cm değerine, son olarak yüksek enerji seviyelerinde, örneğin 1 MeV, 2.082'den 2.011 cm değerine düştü. Böylelikle, farklı *HMO* ilavelerinin BT20- Bi10 serilerinin *HVL* değerleri üzerinde oldukça olumlu etkiye sahip olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Bununla beraber, farklı *HMO* ilaveleri birbiri ile kıyaslandığında *HVL* parametresi üzerinde verdikleri olumlu katkıya göre şu şekilde sıralanabilir: BT20Bi10- Er5> BT20Bi10- Ta5> BT20Bi10- Sm5> BT20Bi10- W5> BT20Bi10- Gd5> BT20Bi10- La5. Sonuç olarak, artan foton enerji seviyelerinin nihai *HVL* değerlerini arttırır yönde etkide bulunduğu, bununla beraber farklı *HMO* ilavelerinin ise tam tersine *HVL* değerlerini azalttığı rapor edilebilir.

Çizelge 5.8 Farklı *HMO* katkılarına bağlı olarak *HVL* parametresi için 0.015 ile 15 MeV foton enerji seviyesinde elde edilen değerler.

Foton Enerjisi (MeV)	BT20- Bi10	BT20Bi10- Gd5	BT20Bi10- Sm5	BT20Bi10- Ta5	BT20Bi10- Er5	BT20Bi10- La5	BT20Bi10- W5
0.015	0.0023	0.0022	0.0022	0.0020	0.0021	0.0023	0.0022
0.02	0.0038	0.0037	0.0037	0.0035	0.0035	0.0038	0.0036
0.03	0.0109	0.0106	0.0106	0.0100	0.0102	0.0110	0.0103
0.04	0.0089	0.0092	0.0092	0.0091	0.0090	0.0084	0.0089
0.05	0.0159	0.0165	0.0143	0.0163	0.0162	0.0150	0.0160
0.06	0.0257	0.0228	0.0230	0.0263	0.0218	0.0242	0.0259
0.08	0.0546	0.0483	0.0488	0.0446	0.0461	0.0515	0.0483
0.10	0.0545	0.0525	0.0527	0.0502	0.0509	0.0546	0.0518
0.15	0.1475	0.1426	0.1429	0.1364	0.1384	0.1478	0.1403
0.20	0.2818	0.2731	0.2734	0.2622	0.2656	0.2823	0.2690
0.30	0.6047	0.5883	0.5878	0.5696	0.5745	0.6042	0.5812
0.40	0.9154	0.8926	0.8904	0.8706	0.8748	0.9122	0.8846
0.50	1.182	1.154	1.150	1.131	1.134	1.175	1.146
0.60	1.408	1.376	1.370	1.354	1.354	1.398	1.369
0.80	1.778	1.738	1.729	1.718	1.714	1.762	1.734
1.00	2.082	2.037	2.025	2.018	2.011	2.061	2.034
1.50	2.660	2.602	2.586	2.583	2.571	2.630	2.601
2.00	3.026	2.958	2.940	2.938	2.923	2.990	2.959
3.00	3.431	3.347	3.328	3.324	3.306	3.388	3.351
4.00	3.606	3.512	3.493	3.485	3.467	3.558	3.519
5.00	3.666	3.565	3.546	3.536	3.518	3.615	3.574
6.00	3.667	3.562	3.544	3.532	3.513	3.614	3.572
8.00	3.585	3.476	3.459	3.445	3.426	3.531	3.489
10.00	3.465	3.355	3.340	3.324	3.305	3.410	3.369
15.00	3.174	3.067	3.054	3.037	3.020	3.121	3.082

6. DENEYSEL VE TEORİK GAMA SOĞURMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE TARTIŞMA

Teorik çerçevede, foton enerji aralığı olarak 0.015 ile 15 MeV arasında, *BT*, *BT20-Bi* ve *BT20Bi10-HMO* serilerinin tümü için bir radyasyon soğurma özelliği açısından *LAC*, *HVL* ve *Z_{eff}* parametreleri doğrultusunda irdelemeler ilgili başlıklar altında gerçekleştirildi. Her ne kadar cam serileri birbirleriyle karşılaştırılıp, aynı zamanda, çeşitli literatür çalışmalarının bulguları ile benzerlikleri atıflandırılrsa da, elde edilen verilerin daha geniş bir çerçevede anlamlandırılması oldukça kritiktir. Böylelikle de, *BT* cam sistemine dair elde edilen verilerin üstünlükleri ve gelişmeye açık yönleri değerlendirilebilir. Daha da önemlisi, teorik hesaplamaların yanı sıra, deneysel ölçümler neticesinde elde edilen bulguların tartışılması ve kıyaslamaların yapılması oldukça önemlidir. Bu bakış açısıyla, deneysel ölçümler için her bir cam serisinde en iyi özellik gösterdiği düşünülen *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri gama-ışını spektroskopisi vasıtasıyla analiz edilerek, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjilerindeki *LAC* değerleri ortaya çıkarıldı. Elde edilen deneysel *LAC* verileri ile teorik manada hesaplanan *LAC* değerleri Çizelge 6.1’de yer aldığı üzere sunuldu. Deneysel sonuçlar her bir cam numunesi için farklı gama enerji seviyelerinde irdelendiğinde, esasen, teorik hesaplamalara benzer nitelikte bulguların elde edildiği görülmektedir. Fark yüzdelerine bakıldığında en düşük % 0.59 oranı görülürken, en yüksek olarak % 2.91 hesaplanmaktadır. İlgili fark yüzdeleri mevcut literatür çalışmalar ile kıyaslandığında, oldukça makul ve kabul edilebilir düzeyde oldukları bilinmektedir. Deneysel olarak, 662 keV enerji seviyesinde, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri sırasıyla, 0.369, 0.461 ve 0.475 cm⁻¹ elde ederken; 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde, aynı numuneler için sırasıyla 0.269, 0.298 ve 0.311 cm⁻¹, ve 0.242, 0.274 ve 0.281 cm⁻¹ bulunmaktadır. Netice itibarıyla, söz konusu tez çalışması dahilinde ikili boro-tellürit cam sistemine ilave edilen bizmut oksit katkısının radyasyon soğurma özelliklerini iyileştirdiği, bununla beraber, karar kılınan üçlü bizmo-borotellürit cam sistemine de Ta₂O₅ ilavesinin yapılması radyasyon soğurma özelliklerini daha da fazla iyileştirdiği neticesine varılabilmektedir.

Çizelge 6.1 En iyi özellik gösteren 3 farklı cam nunumesinin, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde deneysel ve teorik *LAC* değerleri.

Numune Kodu	662 keV			1173 keV			1332 keV		
	Deneysel (cm ⁻¹)	Teorik (cm ⁻¹)	Fark (%)	Deneysel (cm ⁻¹)	Teorik (cm ⁻¹)	Fark (%)	Deneysel (cm ⁻¹)	Teorik (cm ⁻¹)	Fark (%)
BT20	0.369	0.376	1.77	0.269	0.267	0.77	0.242	0.249	2.91
BT20- Bi10	0.461	0.453	1.84	0.298	0.300	0.59	0.274	0.278	1.35
BT20Bi10- Ta5	0.475	0.470	1.11	0.311	0.309	0.68	0.281	0.286	1.77

Deneysel ve teorik *LAC* değerlerinin ortaya çıkarılması akabinde, önemli bir parametre olan *HVL* değerlerinin bu doğrultuda nasıl bir değişim gösterdiğinin irdelenmesi bakımından Çizelge 6.2 oluşturuldu. Esasen, *LAC* değerleri üzerinden türetilen *HVL* parametresinde, *LAC* parametresinde olduğu gibi bir değişimin mevcut olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Öyle ki, teorik *HVL* değerlerine paralel olacak nitelikte deneysel *HVL* değerlerinin hesaplandığı görülmektedir. Sayısal anlamda, 662 keV enerji seviyesinde, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri sırasıyla, 1.878, 1.503 ve 1.459 cm elde ederken; 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde, aynı numuneler için sırasıyla 2.576, 2.326 ve 2.228 cm, ve 2.864, 2.529 ve 2.466 cm bulundu. Yapılan ilavelerin bir sonucu olarak *HVL* değerinin azalış gösterdiği, bunun da istenilen bir durum olduğu bilinmektedir. Fark yüzdelere bakıldığında ise, en düşük fark yüzdesinin % 0.56 olduğu görülürken, en yüksek fark yüzdesinin % 2.81 olduğu karşımıza çıkmaktadır. Literatür çalışmaları ile kıyaslandığında, yine *LAC* parametresine benzer şekilde, makul ve kabul edilebilir fark yüzdelерinin elde edildiği söylenebilir. Dolayısıyla, *HVL* değerlerine yaşanan bu düşüşün, mevcut cam sistemlerinin tercih edilebilirliği noktasında potansiyel sunduğu şeklinde bir sonuca varılabilmektedir.

Çizelge 6.2 En iyi özellik gösteren 3 farklı cam numunesinin, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde deneysel ve teorik *HVL* kalınlıkları.

Numune Kodu	662 keV			1173 keV			1332 keV		
	Deneysel (cm)	Teorik (cm)	Fark (%)	Deneysel (cm)	Teorik (cm)	Fark (%)	Deneysel (cm)	Teorik (cm)	Fark (%)
BT20	1.878	1.846	1.71	2.576	2.597	0.79	2.864	2.783	2.81
BT20- Bi10	1.503	1.532	1.90	2.326	2.312	0.56	2.529	2.496	1.31
BT20Bi10- Ta5	1.459	1.476	1.14	2.228	2.244	0.71	2.466	2.424	1.71

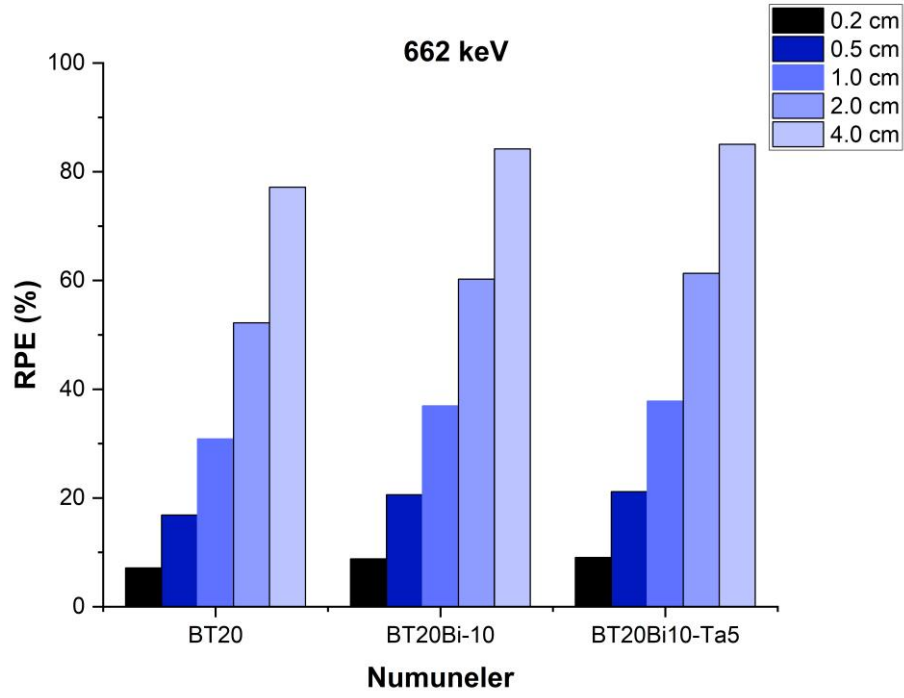
Deneysel *LAC* verilerinin kullanılmasıyla, diğer bir önemli parametre olan, radyasyon koruma verimliliği (*RPE*) farklı kalınlık değerlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Bu noktada, deneysel *LAC* ölçümleri sırasında *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri 0.2 ± 0.01 cm kalınlık değerine sahipti. *RPE* parametresi için ise, bu kalınlık değerine ek olarak, 0.5, 1.0, 2.0 ve 4.0 cm değerlerinde hesaplamalar yapılarak, kalınlık artışına bağlı olarak *RPE* için değerlerin ne yönde değişim sergilediği tespit edilmiştir. İlgili hesaplamalar neticesinde, Şekil 6.1 ile Şekil 6.3 arasında, sırasıyla, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerindeki *RPE* parametresinin yüzdesel değişimi gösterilmektedir. 662 keV dahilinde farklı kalınlık değerlerinin etkisine bakıldığında, her üç numunede de artan kalınlığa bağlı olarak *RPE* yüzdelerinin artış gösterdiği görülmektedir. Esasen, yaşanan bu durum beklenti dahilindedir, çünkü, Beer-Lambert eşitliği dahilinde *LAC* hesabı yapılırken, kalınlığın bir fonksiyonu olarak işlemler yapılmaktadır ve artan kalınlık değeri ile *LAC* değerinin artış gösterdiği bilinmektedir. Sayısal manada bakıldığında, *BT20* numunesi 0.2 cm değerinde % 7.11 değerinde bir koruma sağlarken, 4 cm değerinde *RPE* % 77.15 değerine yükselmektedir. Öte yandan, ilave edilen katkılar sayesinde ise *RPE* değeri daha da iyileştirilmektedir. Örneğin, *BT20- Bi10* numunesi 0.2 cm değerinde % 8.80 koruma sağlarken, *BT20Bi10- Ta5* numunesi % 9.06 koruma sağlamaktadır. 4 cm kalınlık değeri söz konusu olduğunda ise, *BT20- Bi10* numunesi % 84.18 koruma sunarken, *BT20Bi10- Ta5* numunesi % 85.04 oranında bir koruma sunmaktadır. Dolayısıyla, özet bir değerlendirme yapıldığında, artan kalınlık değerleri ile birlikte her üç numunede de *RPE* yüzdelerinin artış sergilediği, bununla beraber tasarlanan cam formülasyonları sayesinde *RPE* yüzdelerinin iyileşme gösterdiği net olarak görülebilmektedir. Ayrıca, farklı kalınlık değerlerinin tümünde en iyi korumayı

BT20Bi10- Ta5 numunesi sağlamaktadır.

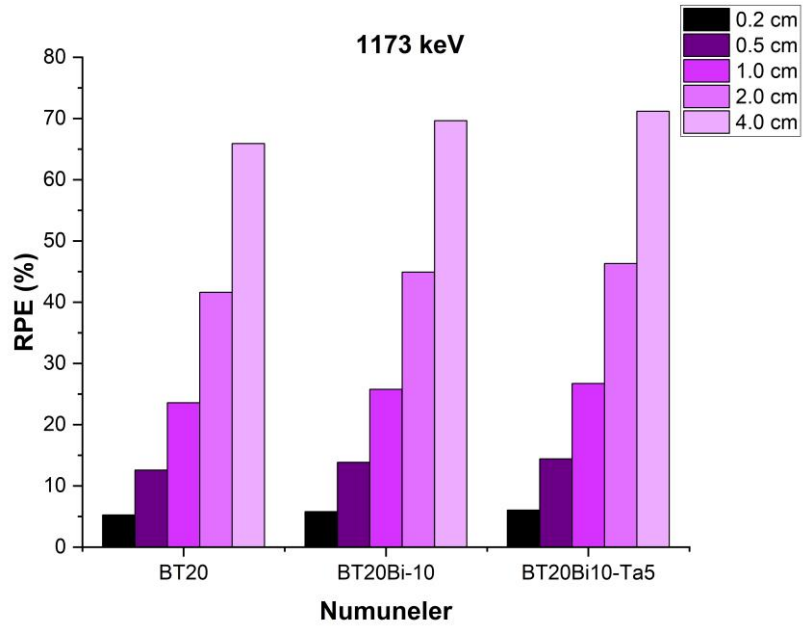
662 keV gama enerji seviyesinde *RPE* parametresi için yapılan değerlendirmelere benzer olarak, 1173 ve 1332 keV gama enerjilerinde de aynı durum söz konusu olmaktadır. Artan kalınlık değerlerine paralel olarak *RPE* yüzdelerinin iyileşme gösterdiği, bununla birlikte, tasarlanan cam formülasyonları sayesinde *RPE* yüzdelerinin daha da geliştirilebilir olduğu karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, 1173 keV gama enerjisinde, 0.2 cm kalınlık değerlendirildiğinde, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri, sırasıyla, % 5.24, % 5.79 ve % 6.04 koruma sağlarken, 4.0 cm kalınlık değerinde, sırasıyla, % 65.90, % 69.64 ve % 71.18 oranında koruma sağlamaktadırlar. Buna ek olarak, 1332 keV gama enerji seviyesinden bir örnek sunmak gerekirse, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri 0.2 ve 4.0 cm kalınlık değerlerinde, sırasıyla, % 4.73, % 5.33 ve % 5.47, ve % 62.02, % 66.58 ve % 67.51 oranlarında koruma verimliliği sunmaktadırlar. Görüleceği üzere, ilgili enerji seviyelerinde de *RPE* yüzdelerinde iyileşmeler elde edilebilmektedir. En iyi özelliği sunan numune ise *BT20Bi10- Ta5* şeklinde verilebilmektedir.

Son olarak, her bir gama enerji seviyesinde hem farklı kalınlık değerlerinin hem de farklı numunelerin sunduğu verimlilik yüzdeleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Artan gama enerji seviyeleri dahilinde bir değerlendirme yapmanın gerekliliği bulunmaktadır. 662 keV gama enerji seviyesinden 1332 keV değerine çıkıldığında, hem farklı kalınlık değerleri için hem de numuneler için *RPE* yüzdelerinde bir düşüş olduğu göze çarpmaktadır. Örnek ile desteklemek gerekirse, *BT20Bi10- Ta5* numunesi dahilinde, 0.2 cm kalınlık değerinde, 662 keV gama enerjisine karşı %9.06 oranında bir verimlilik sağlanırken, 1332 keV değerinde % 5.46 şeklinde bir koruma verimliliği elde edilmektedir. Benzer şekilde, 4 cm kalınlıkta bakıldığında, 662 keV gama enerjisi için % 85.04 verimliliği sağlanırken, 1332 keV değerinde % 67.50 verimlilik sağlanmaktadır. *RPE* yüzdelerinde, artan gama enerjisine bağlı olarak, yaşanan bu yöndeki düşüşler oldukça makul olmakla birlikte, gelen yüksek gama enerjileri madde-ışık etkileşimini zayıflatarak, cam sisteminin soğurma kabiliyetini düşürmektedir. Ancak, bu düşüşün önüne ağır oksit ilaveleri ile tasarlanan cam sistemleri kullanılarak, önüne geçilebilmektedir. Özet olarak, *BT20Bi10- Ta5* numunesinin tüm gama enerji seviyelerinde en yüksek radyasyon koruma verimliliği sağladığı görülürken, artan kalınlık değerleri sayesinde koruma verimliliğinin bir hayli

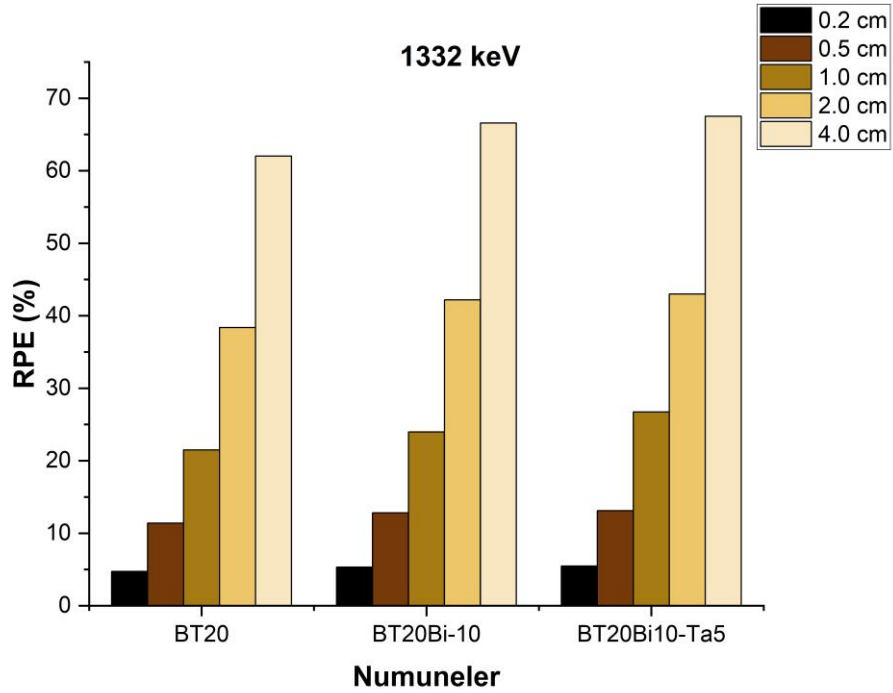
iyileştirilebildiği sonucundan bahsedilebilmektedir.



Şekil 6.1. Sentezlenen numuneler için deneysel *LAC* verileri ile hesaplanan *RPE* yüzdelерinin 662 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değişimi.



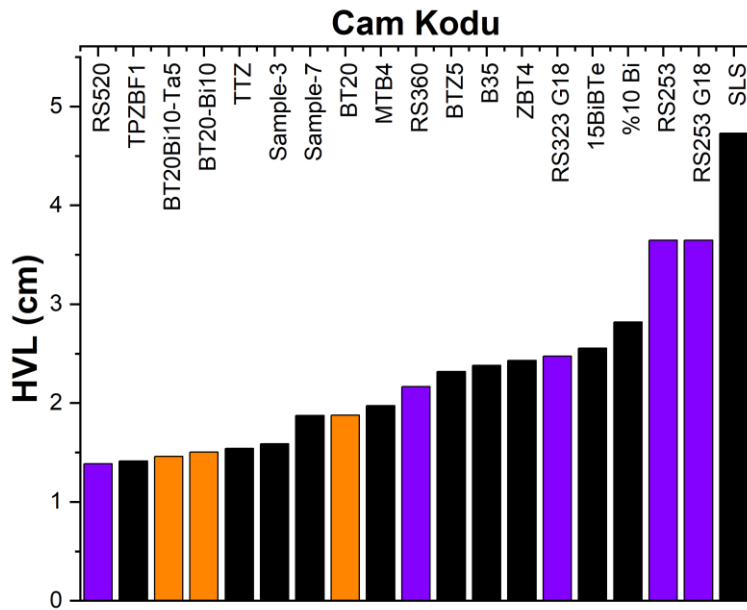
Şekil 6.2 Sentezlenen numuneler için deneysel *LAC* verileri ile hesaplanan *RPE* yüzdelерinin 1173 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değışimi.



Şekil 6.3 Sentezlenen numuneler için deneysel *LAC* verileri ile hesaplanan *RPE* yüzdelерinin 1332 keV gama enerjisinde farklı kalınlıklara göre değışimi.

Daha önceki başlıklar altında her bir cam serisi teorik radyasyon soğurma özellikleri açısından birbiri ile kıyaslanmıştı. Bu başlık altında ise, daha önceki kısımlarda deneysel veriler sunularak, teorik hesaplamalar ile olan uyumluluğu hususunda yine numunelerin birbiri ile kıyasına yer verildi. Esasen, elde edilen verilerin alternatif radyasyon soğurucu cam malzemeler ile, örneğin ticari veya literatür bulguları, kıyaslanarak anlamlandırılması oldukça önem arz etmektedir. Zira, üzerinde çalışılan cam sistemlerinin rekabet edebilir özelliklere sahip olup olmadığının irdelenmesi ve buna bağlı olarak mevcut literatüre katkısının vurgulanması son derece önemlidir. Bu bağlamda, Şekil 6.4 kapsamında yaygın olarak tercih edilen bir gama ışını enerjisi olan 662 keV değerinde (örneğin, medikal uygulamalarda) *HVL* kalınlıkları göz önüne alınarak bir kıyaslamaya verildi. Burada, ticari manada yaygın olarak bulunan ve Schott firması tarafından üretilen RS serisi radyasyon soğurucu cam malzemeler (*RS520*, *RS360*, *RS323 G18*, *RS253 G18*, *RS253*) (İnt. Kyn. 5), literatürde yapılan tellürit kapsamlı çalışmalar (*Sample-3* (Tekin vd. 2017), *Sample-7* (Issa vd. 2017), *B35* (Boonin vd. 2020), *15BiBTe* (Halimah vd. 2019), *BTZ5* (Abdelghany vd. 2022), *MTB4* (Sayyed vd. 2022), *TPZBF1* (Yin vd. 2022) ve *TTZ* (Rammah vd. 2020)), yine literatürde yer alan farklı kompozisyona sahip çalışmalar (*%10 Bi* (Madbouly vd. 2022) ve *ZBT4* (Ozturk vd. 2020)), ticari soda-kireç-kum camı (SLS) ve son olarak üzerinde durulan teze söz konusu en iyi özelliğe sahip 3 farklı cam numunesi arasında bir değerlendirmeye yer verilmiştir. Değerlendirme kapsamında, mor, siyah ve turuncu renkler, sırasıyla, ticari ürünleri, literatür çalışmalarını ve doktora tezi camlarını betimlemektedir. Bu noktada, önemle belirtilmesi gereken bir husus bulunmaktadır. Şöyle ki, sunulan ilgili çalışmalar dahilinde elde edilen *LAC* değerleri için, ilgili camların kalınlık değerleri göz önüne alınmalıdır. Zira, kalınlık değeri arttıkça, *LAC* değeri artmaktadır. Bu nedenle, ilgili camlar için kalınlık değerleri şu şekildedir: *Schott RS* serisi için 0.60 cm; *Sample-3* için 0.20 cm; *Sample-7* için 1.32 cm, *B35* için 0.30 cm; *15BiBTe* için 2.00 cm; *BTZ5* için 0.30 cm; *MTB4* için 0.49 cm; *TPZBF1* için 0.10 cm; *TTZ* için 0.20 cm; *%10 Bi* için 0.20 cm; *ZBT4* için 0.20 cm; *SLS* için 1.00 cm; son olarak *BT20*, *BT20-Bi10* ve *BT20Bi10-Ta5* için 0.20 cm. Sunulan bilgiler sonrasında *HVL* parametresinin kıyaslanmasına geçilebilir. Bilindiği üzere, *HVL* değeri ne kadar düşükse radyasyon soğurma kabiliyeti o kadar iyi olmaktadır. Tüm bu bilgilerin ışığında bir değerlendirme yapıldığında, en düşük *HVL* değerinin *RS520* ile elde edildiği, bununla beraber sonrasında *TPZBF1* ve *BT20Bi10-Ta5*

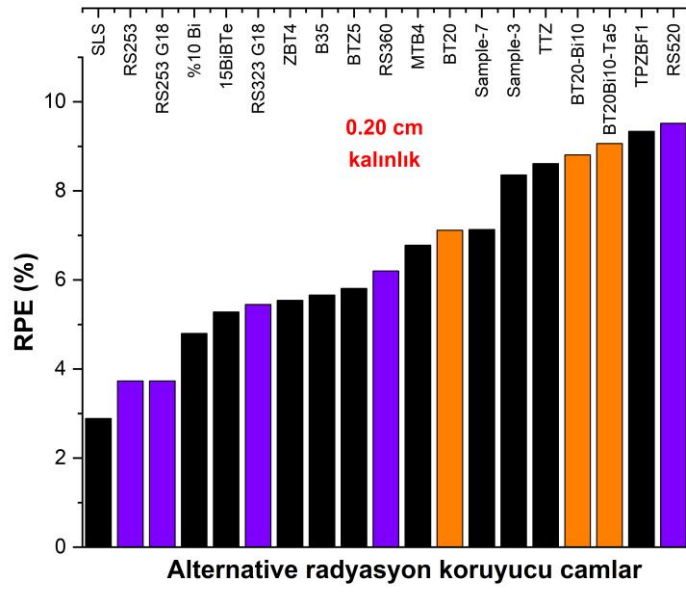
camlarının geldiği görülmektedir. Ayrıca, *BT20- Bi10* kodlu camın da yine geride kalan hem ticari ürünler hem de literatür çalışmalarından daha düşük *HVL* kalınlığı sunduğu karşımıza çıkabilmektedir. Bu noktada, mevcut teze söz konusu en iyi özelliği gösteren *BT20Bi10- Ta5* numunesinin, diğer iki cam kodundan daha yüksek *HVL* kalınlığı göstermesini irdelemekte fayda bulunmaktadır. Şöyle ki, *BT20Bi10- Ta5* camı, teze söz konusu diğer camlarda olduğu gibi kompozisyon dahilinde herhangi bir kurşun oksit içeriği bulundurmamaktadır. Tezin amaçlarında bildirildiği üzere çevre dostu bir cam sistemi üzerinde durulması istenildiğinden, kurşun oksit ilavesi hiç bir suretle yapılmadı. Ancak, önemle belirtilmelidir ki, RS520 ticari ürünü en az kütlece % 70 oranında kurşun oksit ilavesine sahipken, benzer şekilde literatür çalışması olan TPZBF1 de molce % 20 oranında kurşun oksit içermektedir. Dolayısıyla, her ikisi de çevre dostu ve zararsız bir konseptte sahip değildir. Bu durumda, *BT20Bi10- Ta5* camı oldukça rekabet edebilir özelliğe sahip olduğu sonucunu karşımıza çıkarmaktadır. Sonuç olarak, tez dahilinde amaçlanan çıktıların başarılı bir şekilde elde edilebildiği söylenebilmektedir.



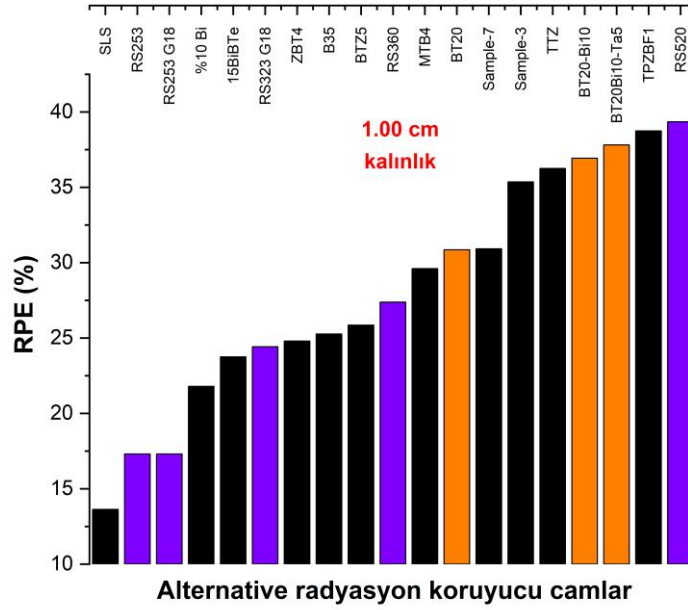
Şekil 6.4 Alternatif radyasyon soğurucu cam malzemeler ile mevcut tez çalışmasına söz konusu en iyi özellik gösteren 3 cam serisinin 662 keV gama enerjisinde *HVL* kalınlıkları açısından kıyaslanması.

Alternatif radyasyon koruyucu cam malzemeler için, *HVL* parametresi dahilinde bir kıyaslama yapılarak mevcut doktora tezine söz konusu cam serilerinin rekabet edebilirlik durumu ortaya konulmuştur. Diğer bir önemli parametre olan, radyasyon koruma verimliliği (*RPE*) açısından da bir kıyaslama yapılması, farklı kalınlık değerlerine bağlı olarak radyasyon soğurma özelliklerini anlayabilme noktasında oldukça değerlidir. Şekil 6.5'te, yine 662 keV gama enerji seviyesinde, tıpkı sentezlenen doktora tezi cam serilerinin aynı kalınlık değeri, 0.20 cm, alternatif malzemeler için de tanımlanarak, *RPE* yüzdeleri hesaplanmıştır. Bilindiği üzere, *RPE* yüzdesi ne kadar yüksek olursa radyasyon soğurma özellikleri o denli iyi olmaktadır. Buradan hareketle, *HVL* kalınlık değerlerine benzer nitelikte bir sıralama elde edildiği görülmektedir. Kalınlık değeri olarak 0.20 cm alınması durumunda, en düşük *RPE* değeri % 2.89 olarak SLS camıyla elde edilirken, en yüksek *RPE* değeri % 9.52 olarak RS520 camıyla sağlanmaktadır. Öte yandan, RS520 camını, % 9.34 ve % 9.06 değerleri ile TPZBF1 ile *BT20Bi10- Ta5* camları takip etmektedir. Elde edilen *RPE* yüzdelerinden hareketle, *BT20Bi10- Ta5* camının oldukça rekabet edebilir düzeyde koruma verimliliği sağladığı çıkarımı yapılabilmektedir. Bununla beraber, kalınlık değeri olarak 0.20 cm alınması durumunda oldukça düşük radyasyon koruma verimliliği elde edildiği ise göze çarpmaktadır.

Radyasyon koruma verimliliğinin 0.20 cam kalınlık değerinde, farklı camlar için değerlendirilmesine ek olarak, kalınlık değerinin 1.00 cm olması durumunda, verimlilik yüzdelerinin, yine 662 keV gama enerji seviyesinde, ne yönde değişim sergilediği tespit edilmiş olup, Şekil 6.6 kapsamında sunulmaktadır. Görüleceği üzere, benzer nitelikte bir sıralama elde edilmektedir. En düşük *RPE* değeri yine SLS camıyla % 13.63 şeklinde sağlanırken, yine RS520 camı en yüksek *RPE* değeri sunarak % 39.35 vermektedir. RS520 camını ise % 38.74 ve % 37.81 değerleri ile TPZBF1 ve *BT20Bi10- Ta5* camları izlemektedir. Dolayısıyla da kalınlık değerinin arttırılmasına paralel olarak radyasyon koruma verimliliğinin de çarpıcı biçimde artış sağladığı görülmektedir. Netice itibarıyla, kalınlık değerinin bir fonksiyonu olarak *RPE* değerlerinin artış gösterdiği, ayrıca, *BT20Bi10- Ta5* camının da alternatifleri ile oldukça rekabet edebilir bir düzeyde olduğu karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 6.5 RPE parametresi açısından alternatif radyasyon koruyucu camların, 662 keV gama enerjisinde ve 0.20 cm kalınlıkta vermiş olduğu değerlerin kıyaslanması.



Şekil 6.6 RPE parametresi açısından alternatif radyasyon koruyucu camların, 662 keV gama enerjisinde ve 1.00 cm kalınlıkta vermiş olduğu değerlerin kıyaslanması.

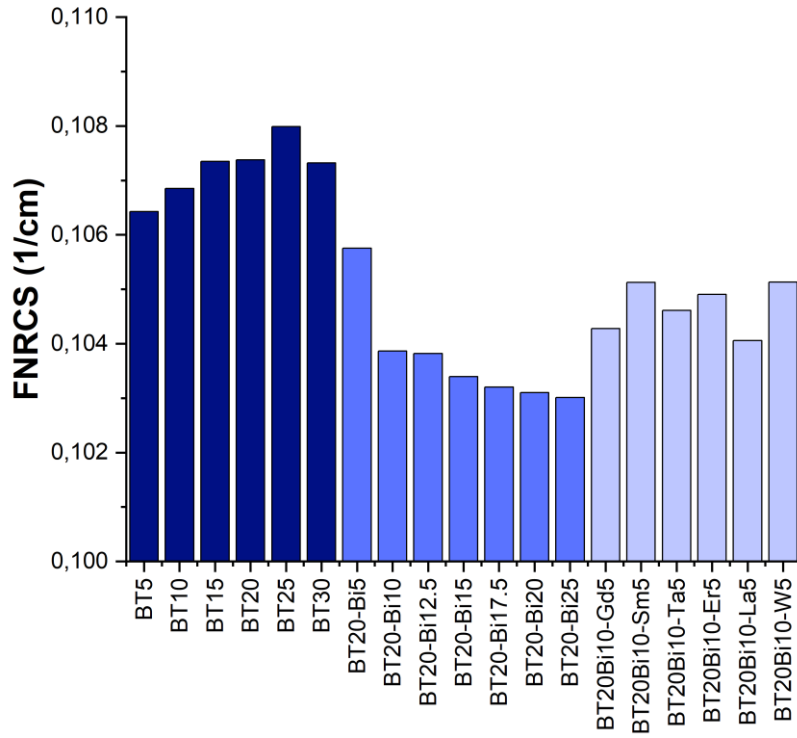
7. TEORİK NÖTRON SOĞURMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE TARTIŞMA

Radyasyon soğurma özellikleri kapsamında, gama ışını dahilinde, sentezlenen *BT*, *BT20-Bi* ve *BT20Bi10- HMO* serilerine ilişkin teorik ve deneysel manadaki değerlendirmeler bir önceki başlıklarda detaylıca aktarıldı. Buna ek olarak, daha geniş bir yelpazede radyasyon soğurma kabiliyetini ortaya koymak maksadıyla, Phy- X/ PSD teorik hesaplama programı vasıtasıyla elde edilen nötron soğurma özellikleri bu başlık altında irdelenmiştir. Bu bağlamda da hızlı nötron kesit giderme (*fast-neutrons removal cross-section, FN RCS*) parametresi dahilinde bir inceleme yapıldı. Tanımsal olarak *FN RCS* parametresi, radyasyon soğurucu malzemeden geçerken birim uzunluk başına belirli bir reaksiyona giren bir nötron parçacığının olasılığı şeklinde ifade edilir (Kurtuluş vd. 2021, Al-Buriah vd. 2022). Nükleer fizyon, nötron yakalama, nükleer parçalanma süreci, elastik ve elastik olmayan saçılım gibi nötron – madde etkileşim türleri bulunmaktadır (Sayyed vd. 2019c). İlgili denklem kapsamında sunulduğu üzere, *FN RCS* parametresi doğrudan elementel kompozisyona ve kısmi yoğunluklara bağlı halde değişim sergilemektedir. Genel bir deyişle, bir malzemenin etkin biçimde nötron soğurma amacıyla kullanılabilmesi için hem yüksek yoğunluk değerinde hem de bünyesinde küçük atomik çapa sahip elementleri barındırır nitelikte olması gerekmektedir.

Buradan hareketle, tez kapsamında sentezlenen tüm cam numunelerin *FN RCS* değerleri Phy- X/ PSD programından alınarak, Şekil 7.1’de verilen grafik ile gösterildi. Koyu mavi renk ile vurgulanan değerler *BT* serisini temsil ederken, daha açık ve en açık mavi renkler ile vurgulanan bulgular sırasıyla *BT20- Bi* ve *BT20Bi10- HMO* serilerini işaret etmektedir. Bahsedildiği üzere, *FN RCS* parametresi doğrudan kompozisyonel tasarım dahilinde bulunan elementlerin yoğunlukları ve sahip oldukları kütleli nötron kesit giderme (*mass removal cross section, MRCS*) değişkenlerine bağımlılık gösterir. *BT* serisi camlara bakıldığında, BT5’ten BT30’a kadar sırasıyla, 0.1064, 0.1068, 0.1073, 0.1074, 0.1080 ve 0.1073 1/cm değerleri hesaplandı. Elde edilen bulgular doğrultusunda, B₂O₃-TeO₂ sistemi göz önüne alınarak, bu sistem içerisinde B₂O₃ oranının molce % 25 seviyesine kadar artışı ile birlikte *FN RCS* değerlerinde doğru orantılı bir artış meydana geldiği görülmektedir. B₂O₃ oranı molce % 30 oranına ulaştığında ise molce % 15 katkı oranına benzer nitelikte bir sonuç karşımıza çıkmaktadır. Mevcut durumda, ilgili artışların ardında yatan sebebe bakılacak olursa, *MRCS_{bor}* değerinin 0.05747 cm²/g

olduğu görülürken, $MRC S_{\text{oksijen}}$ ve $MRC S_{\text{tellür}}$ değerlerinin sırasıyla 0.04053 ve 0.01341 cm^2/g olduğu ilgili literatür çalışmalarınca ortaya konulmuştur (Alzahrani vd. 2022), Al-Buriah vd. 2021). Dolayısıyla da *BT* cam sistemine, daha yüksek $MRC S$ değerine sahip B_2O_3 ilavesi yapıldıkça, $FNRC S$ değerlerinde artış olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Öte yandan, molce % 30 ilavesi ile birlikte bir düşüş meydana geliyor olması, toplam kompozisyonel tasarımda tellür elementi kaynaklı değişime bağlanabilir. Netice olarak, B_2O_3 ilavesi sayesinde *BT* cam sisteminin $FNRC S$ değerlerinde bir artış sağlanabildiği söylenebilmektedir.

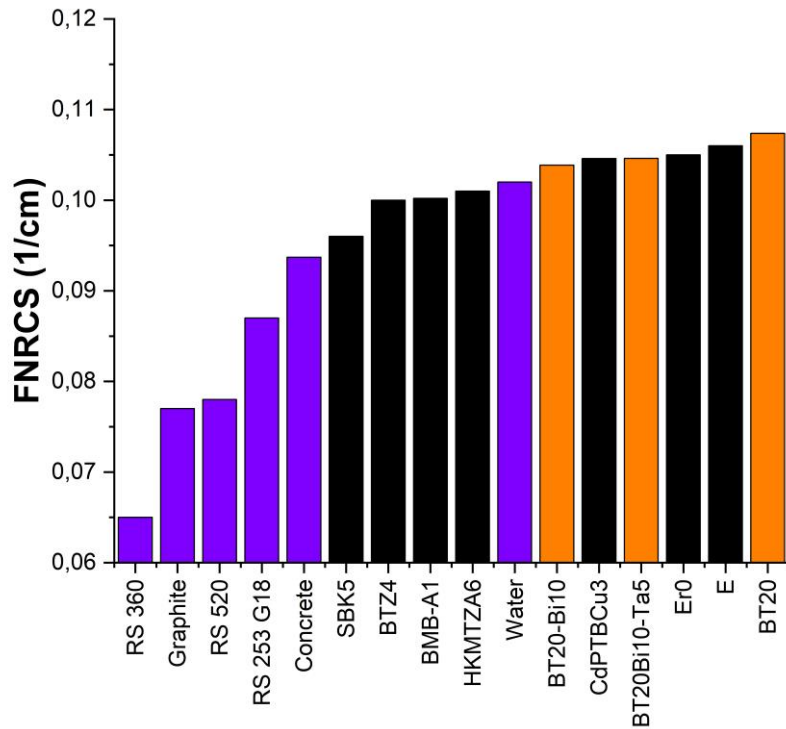
BT cam sisteminin yanı sıra, *BT20- Bi* cam sisteminde $FNRC S$ parametresindeki değişimler irdelendiğinde, Bi_2O_3 oranının molce % 5 değerinden 25 değerine çıkmasıyla $FNRC S$ değerinin 0.1058'den 0.1030 $1/\text{cm}$ değerine düştüğü gözlemlendi. Yaşanılan bu düşüş ile birlikte *BT* cam sisteminde bulunan cam serilerinin de gerisine gelindiği görüldü. Bu düşüşün ardında yatan sebebe bakıldığında ise, $MRC S_{\text{bizmut}}$ değerinin 0.1030 cm^2/g olduğu, halbuki bu değer hem bor hem de oksijen ve tellür elementlerinden daha düşük olduğu verilebilmektedir (Şakar vd. 2020). Bu nedenden dolayı, *BT20- Bi* cam sisteminde Bi_2O_3 ilavesinin $FNRC S$ değerlerini azaltır yönde bir etkide bulunduğu sonucuna varılabilmektedir. Son olarak, *BT20Bi10- HMO* cam serileri göz önüne alındığında, en yüksek $FNRC S$ değerini Sm_2O_3 ve WO_3 ilaveli cam sistemlerinin verdiği göze çarparken, en düşük değeri La_2O_3 ilaveli cam sisteminin verdiği görüldü. *BT* sistemi ile kıyaslandığında değerler daha düşük olsa da, *BT20- Bi* sistemi ile kıyaslandığında değerlerin artış gösterdiği karşına çıkmaktadır. Dolayısıyla, 3 farklı cam sisteminin en iyi özellik gösteren serileri arasında bir değerlendirme yapıldığında, $FNRC S$ değerleri açısından şu sıralama elde edilir: $BT20 > BT20Bi10- Ta5 > BT20- Bi10$. Netice olarak, nötron soğurma kabiliyetinin iyi olması gerektiği durumlar söz konusu olduğunda, yüksek B_2O_3 oranına sahip *BT20* cam serisinin etkin rol alabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.



Şekil 7.1 Sentezlenen tüm camlara ait hesaplanan hızlı nötron kesit giderme (*FNRCS*) değerleri.

Sentezlenen cam serilerinin hesaplanan *FNRCS* değerlerinin birbirleri içerisinde kıyaslanmasına ek olarak, alternatif malzeme sistemleri ile kıyaslanması oldukça önemlidir. Bu noktada, elde edilen bulgular çeşitli malzeme sistemleri ile değerlendirilerek, bulguların anlamlandırılması, mevcut tez çalışmasına destek sağlar nitelikte olacaktır. Bu bağlamda, Şekil 7.2 kapsamında, literatürde yapılan bazı çalışmalar, *BMB-A1* (Katubi vd. 2022), *BTZ4* (Abdelghany vd. 2022), *E* (Lakshminarayana vd. 2020a), *HKMTZA6* (An vd. 2022), *CdPTBCu3* (Al-Buriahi vd. 2022), *RS 253 G18*, *RS360*, *RS 520* ve *SBK5* (Soraya vd. 2022), ve *Er0* (Alrowaili vd. 2021), sunulurken, bazı geleneksel malzemeler olan *grafit*, *beton* ve *su* (Mohammedsaleh vd. 2022) için de değerler sunuldu. Ayrıca, gama soğurma özellikleri kapsamında da sunuluna Schott firmasına ait RS serisi camların bazıları da kıyaslama içerisine eklendi. Bununla beraber, her bir cam sisteminin en iyi özellik gösteren serisi göz önüne alınıp (turkuaz renk ile vurgulananlar), kıyaslama görseli elde edildi. Bilindiği üzere, nötron yakalama ve/veya soğurma aşamalarında *FNRCS* değerinin mümkün olduğunca yüksek olması beklenir. Genel bir bakışla, mevcut teze söz konusu en iyi özellik gösteren her üç cam serisinin de diğerlerine kıyasla yüksek *FNRCS* değeri sergilediği gözlemlendi.

RS360 ve RS520 gibi ticari manada yaygın olarak gama soğurma uygulamalarında tercih edilen camların, nötron soğurma uygulamalarında tercih edilebilirliğinin oldukça düşük olduğu, sunmuş oldukları düşük *FNRCs* değerlerinden görülebilmektedir. Halbuki, gama soğurma uygulamalarında RS520 ile rekabet edebilir sonuçlara sahip olan *BT20Bi10- Ta5* numunesi, nötron soğurma uygulamalarında bu cam sistemini bir hayli geride bırakmaktadır. Esasen, hem gama hem de nötron soğurma süreçleri söz konusu olduğunda, fazlasıyla umut verici sonuçlara sahip olduğu göze çarpmaktadır. Diğer taraftan, *BT20* cam serisi, diğer cam serileri arasında en iyi özelliği göstermesine ek olarak, çeşitli alternatif malzemeler ile de kıyaslandığında bu durumunu sürdürdüğü görülebilmektedir. Dolayısıyla da, mevcut teze bahis farklı cam sistemlerinin oldukça geniş bir yelpazede teknik ihtiyaçlara yüksek performans değerleri ile cevap verebileceği şeklinde bir çıkarım yapılabilir.

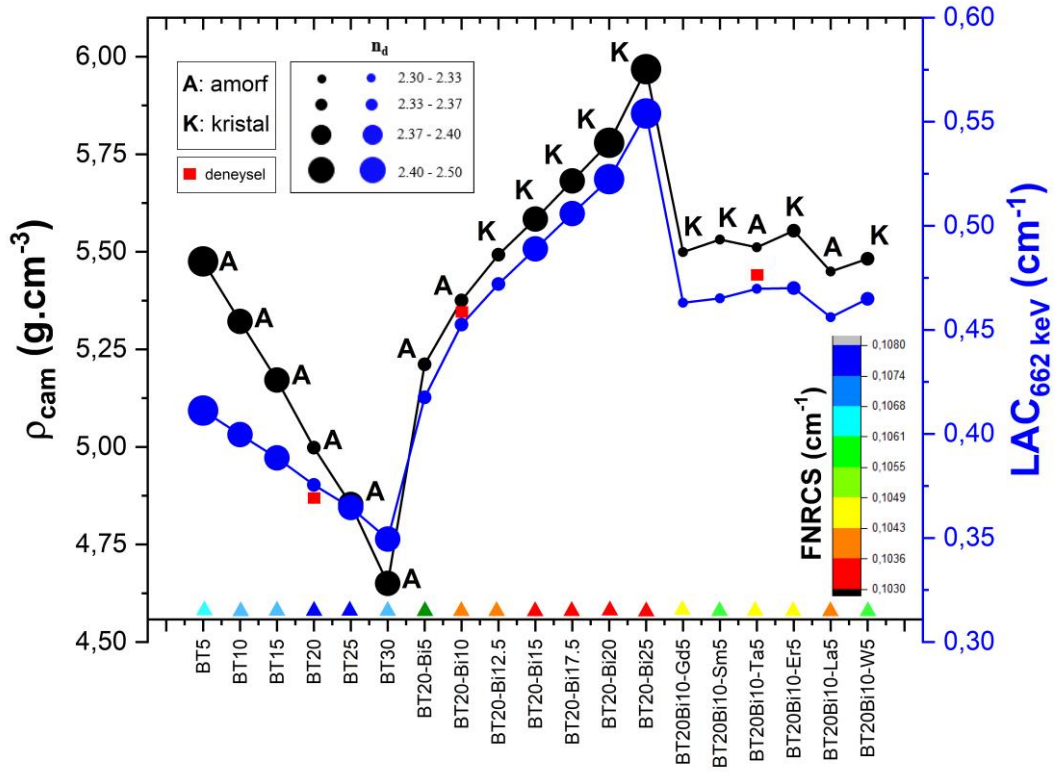


Şekil 7.2 *FNRCs* parametresi bakımından mevcut teze söz konusu en iyi özellik gösteren üç farklı cam sisteminin alternatif malzemeler ve ticari ürünler ile kıyaslanması.

8. CAM SERİLERİNİN BİRBİRİ İLE GENİŞ YELPAZEDE KIYASI

Sentezlenen tüm cam serilerine ait değerlendirmeler, farklı alt başlıklar altında, ilgili cam serileri için ayrı ayrı değerlendirildi. Bununla birlikte, sentezlenen cam serilerinde en iyi performansı gösteren cam numuneleri, yine ticari ürünler ve alternatif literatür çalışmaları ile kıyaslandı. Bu aşamada ise, mevcut doktora tezine söz konusu tüm cam serilerinin, fiziksel, yapısal, optik ve radyasyon soğurma özellikleri bakımından ne gibi değişimler sergilediğinin tespiti, bununla birlikte, farklı katkılara ve bu katkıların oranlarına göre, anılan özelliklerde meydana gelen değişimler Şekil 8.1 çerçevesinde 5 boyutlu olarak kıyaslanmaktadır. Öncelik olarak, ilgili şekil dahilinde, yatay eksen sentezlenen cam numunelerini temsil ederken, sol dikey eksen cam yoğunluğunu (ρ_{cam}) ve sağ dikey eksen ise doğrusal soğurma katsayısını (LAC) gösterdiği bilinmelidir. Bununla birlikte, A ve K harfleri, sırasıyla, XRD sonuçlarına göre tespit edilen amorf ve kristal yapı varlığını işaret etmektedir. Öte yandan, optik özelliğin vurgulanması amacıyla doğrusal kırınım indisi (n_d) parametresi seçilmiş olup, dairesel şeklin küçükten büyüğe doğru gitmesiyle, bu parametre değerinin artış gösterdiği bilinmelidir. Son olarak, nötron soğurma kabiliyetindeki değişimlerin irdelenmesi amacıyla bir renk haritalaması oluşturuldu. Yatay eksenin hemen üzerine konumlandırılan üçgen şekillerin renkleri, bu renk haritalaması uyarınca farklılık göstererek, $FNRC$ S parametresi değişimlerini temsil etmektedir. Tüm bu açıklamalardan yola çıkılarak yorumlamaya başlanırsa, öncelikli olarak ρ_{cam} ve LAC parametrelerinin birbiri ile doğru orantılı bir ilişki sergilediği göze çarpmaktadır. Nitekim, her iki parametre arasında gerçekleşen bu hareket, hemen hemen tüm literatür çalışmaları ile doğrulanabilir durumdadır. Dolayısıyla da mevcut teze söz konusu cam serilerinde bu durumun elde edilmesi oldukça makul değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, en düşük ρ_{cam} değeri 4.6504 g.cm^{-3} olarak BT30 numunesi ile elde edilirken, en yüksek değer olan 5.9679 g.cm^{-3} BT20- Bi25 numunesi ile sağlanmaktadır. Benzer şekilde, LAC parametresi açısından da en düşük ve en yüksek değerler, sırasıyla, 0.3495 ve 0.5539 cm^{-1} şeklinde BT30 ve BT20- Bi25 numuneleri ile elde edilmektedir. Bunun yanı sıra, deneysel manada elde edilen LAC değerleri ise (*kırmızı kare*) en yüksek olarak BT20Bi10- Ta5 ile sağlanırken, en düşük olarak BT20 numunesi ile sağlandığı görülmektedir. Fiziksel özellikler ve gama soğurma kabiliyeti açısından yapılan değerlendirmelerden sonra, yapısal manadaki durumun tespiti yapıldığında, tüm BT serilerinin ve BT20- Bi5, BT20- Bi10, BT20Bi10- Ta5 ve BT20Bi10- La5 numunelerinin

amorf yapıda olduğu, geriye kalanların ise kristal yapı varlığı gösterdiği karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan, optik özellikler doğrusal kırınım indisi çerçevesinde irdelendiğinde, genel olarak *BT* serilerinde > 2.37 şeklinde olduğu, bununla birlikte, *BT20-Bi* serilerinde, artan Bi_2O_3 oranına paralel olarak bir artış katederek > 2.40 değerine ulaşabildiği görülebilmektedir. *HMO* ilaveleri yapıldığında ise, n_d değerlerinin genel olarak 2.30'lu seviyelerde değişkenlik gösterdiği karşımıza çıkmaktadır. Son olarak, nötron soğurma kabiliyeti bakımından irdelenen *FNRCs* parametresine bakıldığında, koyu mavi renk ile temsil edilen *BT20* ve *BT25* numunelerinin en yüksek değeri verdiği göze çarparken, kırmızı renk ile temsil edilen en düşük değerlerin Bi_2O_3 ilavesinin molce % 12.5 üzerinde olduğu durumlarda geçerli olduğu tespit edilmektedir. Netice itibarıyla, sentezlenen tüm cam serilerine ait fiziksel, yapısal, optik ve radyasyon soğurma özelliklerinin birbiri ile geniş bir yelpazede 5 boyutlu bir görsellik yaklaşımıyla kıyaslanmasıyla, oldukça kıymetli ve çarpıcı sonuçların gözlemlenebilir olduğu meydana çıkmaktadır. Farklı uygulama alanları için ihtiyaç olabilecek cam formülasyonlarının seçimini kolaylaştırabilecek nitelikte malzeme özelliklerinin bu yönde sunulabiliyor olması, mevcut tez çalışmasının fonksiyonel biçimde kullanılabilmesinin önünü açabilmektedir.



Şekil 8.1 Sentezlenen tüm cam serilerine ait fiziksel (ρ_{cam}), yapısal (amorf- kristal), optik (n_d) ve radyasyon soğurma (LAC ve $FNRCS$) özelliklerinin kıyaslanması.

9. SONUÇLAR

Mevcut tez çalışması kapsamında, farklı ağır oksitler ile katkılanırılmış B_2O_3 - TeO_2 cam sisteminin yapısal, optik ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir. Yapılan detaylı incelemeler neticesinde, radyasyon soğurma uygulamalarında kullanılmak üzere, ikili, üçlü ve dörtlü cam formülasyonları geliştirilerek çeşitli açılardan özellikler irdelenmiştir. Elde edilen bulguların uygun bir biçimde tartışılması sonrasında, aşağıda listelenen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlar sunulurken, sırasıyla, ikili, üçlü ve dörtlü cam formülasyonları şeklinde verilerek, özelliklerin sonuçları ayrı ayrı verilmiştir.

Borotellürit cam sistemi

- Cam yoğunluk değerleri, BT5 numunesinde 5.4751 g.cm^{-3} olurken, BT10- BT30 cam numunelerinde, sırasıyla, 5.3214, 5.1711, 4.9982, 4.8524 ve 4.6504 g.cm^{-3} değerlerinde olduğu görüldü. Yoğunluk değerlerinde yaşanan bu düşüş, daha düşük yoğunluklu B_2O_3 içeriğinin (2.46 g.cm^{-3}) daha yüksek yoğunluklu TeO_2 içeriği (5.67 g.cm^{-3}) ile yer değiştirmesine atfedildi. B_2O_3 ilave oranı artışı ile V_m değerlerinde kademeli nispi bir artış olduğu görüldü. Nispeten az oranda artış olduğu görölse de BT5- BT30 numuneleri sırasıyla 28.33, 28.30, 28.25, 28.33, 28.26 ve $28.52 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ değerleri hesaplandı. Bulunan değerlerden hareketle cam ağ yapısında hafif genleşme eğilimi olduğu şeklinde yorum getirilebilmektedir. Artan B_2O_3 oranı ile V_O değerlerinin azaldığı ve OPD değerlerinin arttığı bulundu. Öyle ki, V_O değerleri BT5- BT30 numunelerine kadar, sırasıyla, 13.82, 13.48, 13.14, 12.88, 12.56 ve $12.40 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ değerlerine sahipken, OPD değerleri, sırasıyla, 72.37, 74.20, 76.10, 77.65, 79.63 ve $80.66 \text{ cm}^{-3}.\text{mol}^{-1}$ şeklinde hesaplandı. Ayrıca, artan B_2O_3 oranı cam ağ yapı içinde ağ yapıcı rolü üstlendiğinden hem n_c parametresinin azaldığı hem de azalan $NBOs$ nedeniyle n_b azalım gösterdiği tespit edilebilmektedir.
- BT5- BT30 numunelerine kadar, her bir cam serisinde amorf yapının varlığı tespit edildi. Bu tespitin ardında yatan gerçeklikler ise keskin tepe noktalarının bulunmayışı ve aynı zamanda $2\theta = 15- 35$ derece arasında yayvan bir hareket bulunması olarak düşünülebilir.

- Bağ tiplerinin ve titreşim modlarının tespiti amacıyla 4000 ile 400 cm^{-1} aralığında gerçekleştirilen FT- IR analizine göre, temel olarak, tüm BT serisi camlarda, BO_3 , BO_4 ve TeO_4 yapılarına rastlandı. Özelde ise, B-O, B-O-B, Te-O, Te-O-Te ve O-Te-O bağ tiplerinin olabileceği üzerine tahminler gerçekleştirildi. Artan B_2O_3 oranına bağlı olarak, bağ tiplerinin ve titreşim modlarının hemen hemen değişmediği, bununla birlikte, BO_3 - BO_4 dönüşümünün meydana geldiği görülmektedir.
- Isıl özellikler bakımından yapılan irdellemelere göre, B_2O_3 ilave oranının molce %5'ten %20'ye artmasıyla beraber T_g noktasının, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında, 321 $^{\circ}\text{C}$ 'den 331 $^{\circ}\text{C}$ 'ye çıktığı, bununla birlikte, 10 ve 20 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızlarında ise, sırasıyla, 322 $^{\circ}\text{C}$ 'den 341 $^{\circ}\text{C}$ 'ye ve 327 $^{\circ}\text{C}$ 'den 348 $^{\circ}\text{C}$ 'ye çıktığı tespit edildi. Ayrıca, ısıtma hızının 5 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ değerinden 20 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ değerine çıkarılması ise, BT5-BT20 arası numunelerin T_g noktasının, sırasıyla, 321 $^{\circ}\text{C}$ 'den 327 $^{\circ}\text{C}$ 'ye, 325 $^{\circ}\text{C}$ 'den 343 $^{\circ}\text{C}$ 'ye, 327 $^{\circ}\text{C}$ 'den 340 $^{\circ}\text{C}$ 'ye ve 331 $^{\circ}\text{C}$ 'den 348 $^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkmasına sebebiyet verdiği bulundu. Bunun ardında yatan sebep olarak ise, ilgili katkı oranına kadar B_2O_3 ilavesinin cam yapıcı rolde bulunuyor olması söylenebilir.
- Isıl özellikler dahilinde yapılan kristalizasyon kinetiği çalışmalarına göre, α - TeO_2 kristal fazının ortaya çıkabildiği tespit edildi. Yürütülen ısı analizlere ek olarak, kristalizasyon kinetiği kapsamında kristallenme için gerekli olan aktivasyon enerjisi (E_a^c) ve viskoz akış için gereken aktivasyon enerjisi (E_a^v) miktarları 3 farklı yaklaşım (Ozawa, Kissenger ve Augis-Bennet) kullanılarak hesaplandı. BT5- BT20 arası numuneler için Ozawa, Kissenger ve Augis-Bennet ile elde edilen E_a^c değerleri, sırasıyla, 172.4, 161.5 ve 166.9 kJ/ mol; 231.3, 223.5 ve 229.1 kJ/ mol; 303.2, 240.5 ve 246.3; ve 251.3, 246.2 ve 241.3 kJ/ mol olarak bulundu. B_2O_3 katkısının molce % 15 oranına kadar cam yapıcı rolde bulunduğu, bununla birlikte, molce % 20 oranı söz konusu olduğunda ağ düzenleyici rol aldığı çıkarımı yapılabilmektedir. Sentezlenen cam serilerinin E_a^v değerleri ise, BT5 ile BT20 arasındaki numuneler için, sırasıyla, 587.0 ile 596.9 kJ/ mol, 221.6 ile 231.4 kJ/ mol, 315.1 ile 325.2 kJ/ mol ve 65.7 ile 80.0 kJ/ mol değerleri arasında değişim gösterdiği bulundu. Viskoz akışa karşı direncin yüksek B_2O_3 ilave oranı ile kırılabilirdiği ve cam sisteminde eriyik oluşumunun desteklendiği sonucuna

varılabilmektedir.

- Optik özellikler açısından soğurma eğrileri incelendiğinde, 400 ile 700 nm arasında, artan B_2O_3 katkı oranı ile birlikte soğurma oranları $BT15 > BT10 > BT5$ şeklinde elde edildi. BT20 ile BT30 numuneleri kendi içinde katkı oranlarına göre kıyaslandığında, 400 ile 500 nm arasında, artan B_2O_3 ilavesinin soğurma özelliklerini iyileştirdiği görüldü. Netice olarak, B_2O_3 katkı oranının molce %15 üzerine çıktığında, soğurma spektrumunda azalıma yol açtığı ve optik özellikleri olumsuz etkilediği görüldü. Soğurma spektrumlarının Tauc eğrileri kapsamında hesaplanmasıyla, BT5- BT20 numuneleri için, E_g^d değerlerinde, sırasıyla 2.93, 3.03, 3.07 ve 3.22 eV şeklinde artış elde edilirken, BT25 ve BT30 numuneleri için sırasıyla 2.99 ve 2.40 eV olarak elde edildi. Buradan hareketle, sistemden TeO_2 içeriğinin çıkarak B_2O_3 içeriğinin girmesi ile birlikte enerji bant aralığının B_2O_3 katkı oranı açısından molce % 20 olana kadar arttığı, sonrasında ise molce % 30 katkı oranına kadar düştüğü bulunabilmektedir. Ayrıca, BT5 ile BT20 arası numuneler için, E_g^{ind} parametresi, sırasıyla, 2.39, 2.52, 2.58 ve 3.03 eV olurken, BT25 ve BT30 için, sırasıyla, 2.88 ve 2.47 eV elde edildi. Buradan hareketle, E_g^{ind} azaltılması için B_2O_3 katkısının ya molce % 10 altında ya da molce % 20 üzerinde olmasının faydalı olduğu sonucuna varılabilmektedir. Son olarak, doğrusal kırınım indisi değerlerine bakıldığında artan B_2O_3 ilave oranıyla birlikte 2.4154'ten 2.3791 değerine düşüş olduğu, benzer şekilde, doğrusal olmayan kırınım indisi değerlerinde 2.5854'ten 2.5398 değerine düşüş olduğu görüldü. Dolayısıyla, BT cam sisteminde ya en düşük ya da en yüksek B_2O_3 oranları takip edilerek yüksek kırınım indisi değerlerine ulaşılacağı söylenebilir.
- Teorik açıdan radyasyon soğurma özellikleri, 0.015 ile 15 MeV enerji aralığı için değerlendirildiğinde, LAC , HVL ve Z_{eff} parametrelerinin, sırasıyla, artan foton enerjisine bağlı olarak, azaldığı, arttığı ve azaldığı tespit edildi. İlave edilen B_2O_3 içeriğinin ise bu değişikliklere etki gösteremediği ve daha da olumsuz bir neticeyi beraberinde getirdiği görüldü. Bu durumun ardında yatan sebep olarak B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içeriğinin TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) içeriğine kıyasla daha düşük yoğunluk değerine sahip olması şeklinde yorum getirilebilmektedir.

- Fiziksel, yapısal, ısı, optik ve teorik radyasyon soğurma özellikleri açısından gerçekleştirilen kapsamlı irdelemeler neticesinde, ikili borotellürit cam sistemi dahilinde, $20B_2O_3$ - $80TeO_2$ kompozisyonu, diğer cam formülasyonları arasında en ideal sonuçları beraberinde getirdiği sonucuna varılabilmektedir.

Bizmut-borotellürit cam sistemi

- Fiziksel özellikler bakımından, cam yoğunluk değerlerine detay olarak bakıldığında katkısız BT20- Bi0 (diğer adıyla BT20 numunesi) numunesinin 4.9982 g.cm^{-3} yoğunluk değerine sahipken, sırasıyla molce %5'ten 25'e doğru katkılı BT20- Bi serisi cam numunelerin ise 5.2117, 5.3754, 5.4925, 5.5837, 5.6815, 5.7793, ve 5.9679 g.cm^{-3} elde ettiği görüldü. Yoğunluk değerlerinde görülen bu artış daha yüksek yoğunluklu Bi_2O_3 içeriğinin (8.90 g.cm^{-3}) daha düşük yoğunluklu TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) ve B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içerikleri ile yer değiştirmesine bağlandı. Bi_2O_3 ilave oranı artışı ile V_m değerlerinde de bir artış olduğu tespit edildi. BT20- Bi0'dan BT20- Bi25 numuneleri, sırasıyla, 28.33, 30.28, 32.38, 33.16, 34.07, 34.35, 35.73, ve $37.32 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ değerleri verdiği hesaplandı ve bulunan değerlerden hareketle de cam ağ yapısının genişlediği ve NBOs artış gösterdiği çıkarımı yapılabilir. Bu parametrelere ek olarak, artan Bi_2O_3 oranı ile V_O değerlerinin arttığı ve OPD değerlerinin azaldığı, yani, Bi_2O_3 içeriğinin ağ yapıyı düzenleyici rolünü aldığı şeklinde bir yorum getirilebilmektedir.
- Yapısal özelliklerin ne yönde değişiklik sergilediğinin tespiti açısından gerçekleştirilen XRD sonuçlarına göre, BT20- Bi0'dan BT20- Bi10 numunelerine kadar, her bir cam serisinde amorf yapının varlığı tespit edilip, herhangi bir kristal faza rastlanmadı. Öte yandan, BT20- Bi12.5'ten BT20- Bi25 serilerinde ise şiddetli piklerin varlığı gözlemlenirken, bu piklerin $Bi_2Te_6O_{15}$ (bizmut tellür oksit), Bi_2O_3 (bizmut oksit) ve $Bi_{16}Te_5O_{34}$ (bizmut tellür oksit) oldukları bulunabilmektedir.
- Bağ tiplerinin ve titreşim modlarının tespiti amacıyla 4000 ile 400 cm^{-1} aralığında

gerçekleştirilen FT- IR analizine göre, temel olarak, tüm BT serisi camlarda, BO_3 , BO_4 , TeO_4 , TeO_{3+1} , TeO_3 , BiO_3 ve BiO_6 yapılarına rastlandı. Özelde ise, B-O, B-O-B, Te-O, Te-O-Te, O-Te-O ve Bi-O bağ tiplerinin olabileceği üzerine tahminler gerçekleştirildi. Dolayısıyla da Bi_2O_3 içeriğinin bağ tiplerinin zenginleştirilmesi ve böylelikle de geçirim yüzdeleri düşürmesi açılarından bizmut-borotellürit üçlü cam sisteminde var olması gerekliliği olduğu sonucuna varılabilmektedir.

- Isıl özelliklerin Bi_2O_3 ilave oranıyla birlikte BT20- Bi5, BT20- Bi15 ve BT20- Bi25 numunelerinin göstermiş olduğu değişimlere bakıldığında, T_g , sırasıyla 346.1, 352.1 ve 391.9 °C şeklinde bulunurken; T_m noktası değerleri irdelendiğinde, sırasıyla, 622, 583.9 ve 666 °C değerleri bulundu. Bi_2O_3 ilavesinin molce % 15 seviyesini aştığında bir nevi ağ yapıcı rol üstlendiği, bunun aksine, molce % 5 ile % 15 arasında ilave edildiğinde ağ yapıcı düzenleyici bir rol alarak, eriyiğin düşük sıcaklıklarda eldesine imkân tanıdığı düşünülmektedir.
- Optik özelliklerin değişimi soğurma eğrileri açısından incelendiğinde, BT20- Bi0 numunesinin en düşük soğurma kabiliyetine sahip olduğu, bunun tersi olarak, en yüksek soğurma oranının, BT20- Bi25 numunesi ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni ise, daha düşük atom çaplı bor ($0.85 \text{ \AA}$) ve tellür ($2.1 \text{ \AA}$) içeriklerine göre iri atom çaplı bizmut ($2.3 \text{ \AA}$) elementinin sisteme dahil edilmesi ile madde-ışın etkileşiminin iyileştirmesi olarak düşünülebilir. E_g^d değerleri artan Bi_2O_3 katkı oranı ile birlikte düşüş gösterirken, BT20-Bi0'dan BT20-Bi25 numuneleri için, sırasıyla, 3.22, 3.21, 3.18, 3.12, 3.06, 3.01, 2.84 ve 2.63 eV bulundu. Diğer yandan, artan Bi_2O_3 katkı oranı, E_g^{ind} değerlerinin düşüş göstermesine sebebiyet vermiş olup, BT20- Bi0'dan BT20- Bi25 numunelerine kadar, sırasıyla, 3.03, 2.98, 2.94, 2.90, 2.81, 2.77, 2.69 ve 1.85 eV bulundu. Bu durumun ardında yatan sebep değerlendirildiğinde, Bi_2O_3 içeriğinin daha düşük enerji bant aralığı değerine sahip olduğu, 2.80 eV, TeO_2 içeriğinin ise 3.32 eV değerinde olması düşünülebilmektedir. Son olarak, parametre- n_d değerlerine bakıldığında 2.3412'den 2.5052 değerine artış ve parametre- n_{ind} değerlerinde ise 2.3902'den 2.8029 değerine yükseliş olduğu görülebilmektedir.
- Teorik açıdan radyasyon soğurma özellikleri, 0.015 ile 15 MeV enerji aralığı için

değerlendirildiğinde, LAC , HVL ve Z_{eff} parametrelerinin, sırasıyla, artan foton enerjisine bağlı olarak, azaldığı, arttığı ve azaldığı tespit edildi. İlave edilen Bi_2O_3 içeriğinin ise bu değişikliklere oldukça olumlu etki gösterdiği ve foton enerjilerine karşı soğurma kabiliyetini beraberinde getirdiği görüldü. Bu durumun ardında yatan sebep olarak Bi_2O_3 (8.90 g.cm^{-3}) içeriğinin, TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) ve B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içeriklerine kıyasla daha yüksek yoğunluk değerine sahip olması şeklinde yorum getirilebilmektedir.

- Fiziksel, yapısal, ısı, optik ve teorik radyasyon soğurma özellikleri açısından gerçekleştirilen kapsamlı irdemeler neticesinde, üçlü bizmut-borotellürit cam sistemi kapsamında, $18B_2O_3-72TeO_2-10Bi_2O_3$ kompozisyonu, diğer cam tasarımları arasında en ideal sonuçları sağladığı tespit edilebilmektedir.

Bizmut-borotellürit-HMO cam sistemi

- Fiziksel özelliklerin farklı HMO ilaveleri ile değişimleri irdelendiğinde, cam yoğunluk değerlerinin katkısız BT20- Bi10 numunesinde 5.3754 g.cm^{-3} , farklı HMO katkılı BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 cam numunelerinde ise, sırasıyla, 5.4991, 5.5312, 5.5117, 5.5541, 5.4493, ve 5.4823 g.cm^{-3} şeklinde olduğu bulundu. Yüksek yoğunluk değerine sahip olan bu HMO içerikleri, katkısız cam sisteminin yoğunluğunu artırır nitelikte bir sonucu beraberinde getirirken, en yüksek yoğunluk molce % 5 oranında Er_2O_3 ilavesiyle elde edildi. Diğer taraftan, V_m değerleri, farklı HMO katkılı BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 cam numuneleri için, sırasıyla, 33.36, 33.04, 34.01, 33.21, 33.33 ve $32.27 \text{ cm}^3.\text{mol}^{-1}$ şeklinde hesaplandı. Bulunan değerlerden hareketle cam ağ yapısının farklı HMO ilaveleri ile genişlediği ve bağlanmamış oksijen sayısının artış gösterdiği söylenebilir.
- Yapısal özelliklerin değişimine bakıldığında, BT20Bi10- Ta5 ve BT20Bi10- La5 numunelerinde, amorf yapının varlığı tespit edilirken, BT20Bi10- Gd5,

BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Er5 ve BT20Bi10- W5 serilerinde ise şiddetli piklerin varlığı tespit edildi. Bu piklerin $\text{Bi}_2\text{Te}_6\text{O}_{15}$ (bizmut tellür oksit), Bi_2O_3 (bizmut oksit) ve $\text{Bi}_{16}\text{Te}_5\text{O}_{34}$ (bizmut tellür oksit) olduklarından bahsedilebilir. Netice olarak Ta_2O_5 ve La_2O_3 ilavelerinin yapılması durumunda, amorf yapının elde edilebileceği sonucuna varılabilmektedir.

- Bağ tiplerinin ve titreşim modlarının tespiti açısından yapılan FT- IR analizine göre, *HMO* ilaveleri kaynaklı bariz bir değişimin meydana gelmediği, bununla beraber, üçlü bizmut-borotellürit cam sistemine benzer nitelikte bağ tipleri ve titreşim modları görüldü. Sadece, 450 ile 400 cm^{-1} arasında açığa çıkan düşük şiddetteki sık tepelenmelerin B-O-R (R: Gd, Sm, Ta, Er, La ve W) ve/veya Te-O-R (R: Gd, Sm, Ta, Er, La ve W) şeklinde olabileceği çıkarımı yapılabilmektedir.
- Optik özellikler açısından değerlendirildiğinde, farklı *HMO* ilavelerine göre göre bir kıyaslama yapıldığında, 400 ile 600 nm dalga boyu arasında soğurma kabiliyetlerine göre, şu şekilde bir sıralama elde edildi: BT20Bi10- Er5 > BT20Bi10- Gd5 > BT20Bi10- W5 > BT20Bi10- Sm5 > BT20Bi10- Ta5 > BT20Bi10- La5. Soğurma spektrumlarından hareketle hesaplanan E_g^d ve E_g^{ind} değerleri BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde, sırasıyla 3.31, 3.30, 3.35, 3.13, 3.36 ve 3.19 eV; 3.32, 3.31, 3.35, 3.12, 3.36 ve 3.20 eV elde edildi. Bununla beraber, Parametre- n_d değerlerine bakıldığında, BT20Bi10- Gd5, BT20Bi10- Sm5, BT20Bi10- Ta5, BT20Bi10- Er5, BT20Bi10- La5 ve BT20Bi10- W5 numunelerinde, sırasıyla, 2.3183, 2.3207, 2.3087, 2.3681, 2.3064 ve 2.3477 şeklinde değerlerin elde edildiği görülürken; parametre- n_{ind} değerlerine bakıldığında ise, sırasıyla, 2.3159, 2.3183, 2.3087, 2.3655, 2.3064 ve 2.3452 değerleri bulundu. Tüm bu belirlemelerin neticesinde, *HMO* içeriklerinin sahip olduğu atom yarıçapları ve moleküler ağırlıkları göz önüne alındığında, net bir ilişkilendirme yapılamadığı tespit edilmiştir. Sadece, en yüksek ve en düşük soğurma yüzdelarını sağlayan içerikler olarak, sırasıyla, Er_2O_3 ve La_2O_3 içeriklerinin kıyaslanabilir sonuçlar verdiği bulundu. Özetle, farklı *HMO* ilaveleri ile özellikler iyileştirilebilir nitelikte bulunmuş olup, *HMO* özelliklerine göre belirli bir çıkarım ortaya konulamamıştır.

- Teorik radyasyon soğurma özelliklerine bakıldığında, farklı *HMO* ilavelerinin tümü, performansın iyileştirilmesine olanak tanıdığı tespit edildi. Farklı *HMO* ilaveleri ile birlikte, *LAC*, *HVL* ve Z_{eff} parametreleri, sırasıyla, artış, azalış ve artış göstererek, beklenildiği gibi neticeleri beraberinde getirdi. Artan foton enerjisine karşılık cam sistemlerinin koruyuculuğu geliştirilmiş oldu. Bu durumun ardında yatan sebep olarak, farklı *HMO* ilavelerinin, özellikle, TeO_2 (5.67 g.cm^{-3}) ve B_2O_3 (2.46 g.cm^{-3}) içeriklerine kıyasla daha yüksek yoğunluk değerine sahip olmasına atfedilebilmektedir.
- Fiziksel, yapısal, optik ve teorik radyasyon soğurma özellikleri açısından gerçekleştirilen kapsamlı irdelemeler neticesinde, dörtlü bizmut-borotellürit-*HMO* cam sistemlerinde, $17.1B_2O_3$ - $68.4TeO_2$ - $9.5Bi_2O_3$ - $5Ta_2O_5$ kompozisyonu, diğer cam karışımları arasında en ideal sonuçların alınmasına olanak tanıdığı söylenebilmektedir.

Deneysel ve teorik gama soğurma özellikleri

- Her cam serisinde en iyi özellik gösteren *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneler, deneysel radyasyon soğurma testine tabi tutularak, 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjilerindeki davranışları incelendi. Esasen, deneysel manada elde edilen bulgular teorik hesaplamalar ile benzerlik göstererek, bağıl fark yüzdesi % 0.59 ile % 2.91 arasında değişkenlik sergiledi.
- Deneysel olarak, 662 keV enerji seviyesinde, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri, sırasıyla, 0.369, 0.461 ve 0.475 cm^{-1} *LAC* değeri elde ederken; 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde, aynı numuneler için, sırasıyla, 0.269, 0.298 ve 0.311 cm^{-1} , ve 0.242, 0.274 ve 0.281 cm^{-1} değerleri bulundu. Bu sonuçlar ile birlikte, özellikle Bi_2O_3 ve Ta_2O_5 ilaveleri sayesinde, her bir gama enerji seviyesinde, *LAC* değerlerinin artırılabilir nitelikte olduğu tespit edilebilmektedir.
- Deneysel *HVL* açısından değerlendirildiğinde, 662 keV enerji seviyesinde, *BT20*,

BT20- Bi10 ve *BT20Bi10- Ta5* numuneleri, sırasıyla, 1.878, 1.503 ve 1.459 cm elde ederken; 1173 ve 1332 keV enerji seviyelerinde, aynı numuneler için sırasıyla 2.576, 2.326 ve 2.228 cm ve 2.864, 2.529 ve 2.466 cm bulundu. Görüleceği üzere, Bi_2O_3 ve Ta_2O_5 ilaveleri, *HVL* değerlerinin azaltılmasına olanak tanıyabilmektedir.

- Radyasyon koruma verimliliği açısından irdelenen *RPE* parametresinde, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0 ve 4.0 cm kalınlıklar göz önüne alınarak, ilgili koruma yüzdeleri ortaya konuldu. Kalınlık değerinin 0.2 cm'den 4.0 cm'ye artırılmasıyla, *BT20* numunesinin 662 keV gama enerjisindeki *RPE* değeri % 7.11'den % 77.14 değerine yükseldi. Benzer şekilde, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* numunelerinde, sırasıyla, % 8.81'den % 84.18'e ve % 9.06'dan % 85.04'e yükseliş gerçekleştiği tespit edildi. 1173 ve 1332 keV gama enerjilerinde de aynı şekilde iyileşmeler ile karşılaşıldı. Dolayısıyla, cam formülasyonları sayesinde iyileştirilebilen radyasyon soğurma özellikleri, farklı kalınlık değerleri doğrultusunda da iyileştirilebilir konumda olduğu ortaya konulabilmektedir. Bu denli yüksek gama enerji seviyelerinde 4.0 cm gibi bir kalınlık ile ortalama % 85 oranında bir radyasyon koruma verimliliği elde edebilmenin önemli bir gelişme olduğu düşünülebilmektedir.

Teorik nötron soğurma özellikleri

- Phy-X/PSD programı vasıtasıyla hesaplanan *FNRCs* değerleri dahilinde sentezlenen cam serileri için bir değerlendirme yapıldı.
- *BT* serisi camlara bakıldığında, *BT5*'ten *BT30*'a kadar sırasıyla, 0.1064, 0.1068, 0.1073, 0.1074, 0.1080 ve 0.1073 1/cm değerleri hesaplandı. *BT* cam sistemine, daha yüksek *MRCs* değerine sahip B_2O_3 ilavesi yapıldıkça, *FNRCs* değerlerinde artış olduğu söylenebilmektedir.
- *BT20- Bi* cam sisteminde *FNRCs* parametresindeki değişimler irdelendiğinde, Bi_2O_3 oranının molce % 5 değerinden %25 değerine çıkmasıyla, *FNRCs* değerinin 0.1058'den 0.1030 1/cm değerine düştüğü gözlemlendi. Bu düşünün

ardında yatan sebebe bakıldığında ise, *MRCsbizmut* değerinin $0.1030 \text{ cm}^2/\text{g}$ olduğu, halbuki bu değer hem bor hem de oksijen ve tellür elementlerinden daha düşük olduğu görülebilmektedir.

- *BT20Bi10- HMO* cam serileri göz önüne alındığında, en yüksek *FNRCs* değerini Sm_2O_3 ve WO_3 ilaveli cam sistemlerinin verdiği göze çarparken, en düşük değeri La_2O_3 ilaveli cam sisteminin verdiği görüldü. *BT* sistemi ile kıyaslandığında değerler daha düşük olsa da *BT20- Bi* sistemi ile kıyaslandığında değerlerin artış gösterdiği söylenebilmektedir.
- *FNRCs* değerlerinin cam serileri dahilinde değerlendirilmesine ek olarak, *BT20*, *BT20- Bi10* ve *BT20Bi10- Ta5* ile alternatif malzemeler ve bazı literatür çalışmalar ile kıyaslamalar yapıldı. Literatürde yapılan bazı çalışmalar, *BMB-A1*, *BTZ4*, *E*, *HKMTZA6*, *CdPTBCu3*, *RS253 G18*, *RS360*, *RS520*, *SBK5* ve *Er0* ele alınırken, bazı geleneksel malzemeler olan *grafit*, *beton* ve *su* de göz önüne alındı.
- Mevcut teze söz konusu en iyi özellik gösteren her üç cam serisinin de diğerlerine kıyasla yüksek *FNRCs* değeri sergilediği gözlemlendi. Gama ışını soğurma uygulamalarında *RS520* ile rekabet edebilir sonuçlara sahip olan *BT20Bi10- Ta5* numunesi, nötron soğurma uygulamalarında bu cam sistemini bir hayli geride bırakmaktadır. Diğer taraftan, *BT20* cam serisi, diğer cam serileri arasında en iyi özelliği göstermesine ek olarak, çeşitli alternatif malzemeler ile de kıyaslandığında bu durumunu sürdürdüğü görülebilmektedir.

Deneysel sonuçların alternatif koruyucu camlar ile kıyaslanması

- Ticari manada yaygın olarak bulunan ve Schott firması tarafından üretilen *RS520*, *RS360*, *RS323 G18*, *RS253 G18*, *RS253* radyasyon soğurucu camlar; literatürde yapılan tellürit kapsamlı çalışmalar *Sample-3*, *Sample-7*, *B35*, *15BiBTe*, *BTZ5*, *MTB4*, *TPZBF1* ve *TTZ*; yine literatürde yer alan farklı kompozisyona sahip çalışmalar *%10 Bi* ve *ZBT4*; ticari soda-kireç-kum camı (SLS) ve son olarak üzerinde durulan teze söz konusu en iyi özelliğe sahip 3 farklı cam numunesi

arasında bir kıyaslamaya *HVL* parametresi açısından yer verildi.

- Yapılan kıyaslama neticesinde, yüksek oranda $> \%70$, PbO içeriğine sahip ticari ürün olan RS520 camı, en düşük *HVL* değerini sağlarken, bunun ardından, yine yüksek oranda PbO oranına sahip TPZBF1 literatür çalışması izledi. Tez çalışmasına söz konusu *BT20Bi10- Ta5* numunesi ise, hemen ardından gelerek, *HVL* değeri açısından düşük kalınlık sunmaktadır. Yüksek oranda PbO içeren her iki cam ile de oldukça rekabet edebilir durumda olduğu ortaya çıkarılabilmektedir. Halbuki, *BT20Bi10- Ta5* numunesi insan ve çevre açısından zehirli etkisi bulunan PbO içeriğini bulundurmuyarak, son derece çevreci ve sürdürülebilirliği yüksek bir cam formülasyonu sağladığı düşünülmektedir.
- Farklı kalınlık değerleri, 0.20 ve 1.00 cm, dahilinde yapılan radyasyon koruma verimliliği çerçevesinde, tüm camlar göz önüne alındığında 0.20 cm kalınlık için en yüksek $\%10$ oranında *RPE* elde edildi. Öte yandan, kalınlık değeri 1.00 cm olduğunda, RS520, TPZBF1 ve *BT20Bi10- Ta5* camları, sırasıyla, $\% 39.35$, $\% 38.74$ ve $\% 37.81$ *RPE* değerlerini sunmaktadır. Bu durumda da oldukça rekabet edebilir düzeyde sonuçların mevcut teze söz konusu cam serisi ile elde edilebilir olduğu açığa çıkabilmektedir.

Genel değerlendirme

BT, *BT20- Bi* ve *BT20Bi10- HMO* şeklinde tasarlanan cam serileri başarılı bir şekilde sentezlendi. İkili borotellürit cam sistemi dahilinde *BT20* camı, en ideal sonuçları sergilediğinden, bir sonraki aşamanın temel cam formülasyonu oldu. Üçlü bizmut-borotellürit cam sisteminde ise *BT20- Bi10* camı, en ideal neticeleri gösterdiğinden, son aşamanın temel cam kompozisyonu olarak yerini almıştır. Son olarak, bizmut-borotellürit-*HMO* cam sistemi dahilinde *BT20Bi10- Ta5* camı, en ideal sonuçları beraberinde getirmiştir. Tüm bu cam serilerinin ideal olarak nitelendirilmesi ise, sistematik ve kapsamlı şekilde yürütülen fiziksel, yapısal, ısı, optik ve radyasyon soğurma testleri neticesinde belirlendi. Her bir cam serisinin birbirleri ile detaylı olarak kıyaslaması yapılarak bulgular tartışıldı. Nihayetinde, en ideal sonuçları sağlayan *BT20*,

BT20- Bi10 ve BT20Bi10- Ta5 numuneleri 662, 1173 ve 1332 keV gama enerji seviyelerinde deneysel açıdan radyasyon soğurma kabiliyetlerinin ölçümüne tabi tutuldu. Deneysel bulguların teorik hesaplamalar ile paralellik gösterdiği açıkça ortaya konuldu. Ayrıca, deneysel sonuçların, ticari radyasyon soğurucu cam malzemeler, bazı tellürit cam kapsamlı literatür çalışmaları ve bazı diğer cam tiplerini içeren literatür çalışmalar ile kıyaslanması sonrasında olumlu ve olumsuz yönler meydana çıkarıldı.

Tüm bunların neticesinde ise, gama ışını soğurma uygulamalarında BT20Bi10- Ta5 cam formülasyonlarının oldukça rekabet edebilir özelliklere sahip olduğu tespit edilirken, nötron soğurma uygulamalarında BT20 cam serisinin üstün özellikleri beraberinde getirerek rakiplerini geride bırakabilir durumda olduğu söylenebilmektedir. Dolayısıyla da, hem gama hem de nötron soğurma uygulamalarında, mevcut teze söz konusu cam serilerinin ihtiyaçları karşılayabilecek nitelikte özellikleri beraberinde getirdiklerinden bahsedilebilir.

Sonuç olarak, doktora tezinin başta sunduğu amaçlar olan; “(i) Literatüre dahilinde kısıtlı bulunan borotellürit cam sistemi çalışmalarının sistematik olarak ilgili doktora tezinde çalışılması ve üçlü ve dörtlü sistemlerin irdelenerek farklı cam kompozisyonlarının sentezlenmesi”, “(ii) Ulusal düzeyde üretimi yapılmayan ve direk ithalat yolu ile tedarik edilen radyasyon soğurucu cam malzemelerin, yürütülecek doktora tezi doğrultusunda özgün ve yenilikçi cam kompozisyonu ile tıbbi tanı, teşhis ve tedavi merkezlerinde, araştırma enstitülerinde, endüstriyel uygulamalarda ve nükleer enerji tesislerinde kullanılmak üzere üretiminin sağlanması” ve “(iii) Sentezlenen cam serilerinin sistematik olarak fiziksel, yapısal, ısı, optik ve radyasyon soğurma kabiliyetleri bakımından (gama ve nötron) irdelenerek optimum reçetelerin ortaya çıkarılması” maddeleri başarıyla yerine getirilmiş olduğundan bahsedilebilmektedir.

Bu noktada, belirlenen amaçlara ulaşmak maksadıyla ortaya konulan hedefler olan “(i) $x\text{B}_2\text{O}_3$ - $(100-x)\text{TeO}_2$ ikili cam sisteminde optimum x oranının saptanması, sonrasında, $y\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $[(100-y)(x\text{B}_2\text{O}_3 - (100-x)\text{TeO}_2)]$ sisteminde optimum y oranının saptanması, son olarak ise, $(100-z)[y\text{Bi}_2\text{O}_3 - ((100-y)(x\text{B}_2\text{O}_3 - (100-x)\text{TeO}_2))]$ - $z\text{HMO}$, sisteminde z : molce %5, oranının farklı HMO'lara göre (HMO: Gd_2O_3 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , La_2O_3 , Sm_2O_3)

cam sisteminin sentezlenmesi”, “(ii) Amorf yapıya sahip olacak nitelikte borotellürit esaslı cam sistemlerini üretmek”, “(iii) En az 5.00 g.cm⁻³ yoğunluk değerine sahip olan borotellürit esaslı cam sistemlerini elde etmek, artan katkı oranları ile bu değeri en az 5.50 g.cm⁻³ değerine taşımak”, “(iv) 662, 1173 ve 1332 keV gama ışını enerji seviyelerinde en az sırasıyla 0.45, 0.30 ve 0.25 cm⁻¹ değerlerinde LAC elde etmek, böylelikle ticari ürün spesifikasyonlarını sağlamak” ve “(v) Düşük ergime noktasına sahip (650- 850 °C), yüksek kırınım indisli (> 2.25), düşük enerji bant aralığı olan (< 3.5 eV) ve görünür ışıktaki yüksek şeffaflık sunan (geçirim > 85%) borotellürit esaslı cam sistemlerini elde etmek” maddeleri ayrı ayrı olarak başarıyla elde edildiği söylenebilmektedir.



10. GELECEK GÖRÜNÜMÜ

Farklı uygulama alanlarında etkin bir biçimde kullanılmakta olan radyoaktif izotoplar, sağlamış oldukları değerli kazanımlar sayesinde pek çok bilimsel ve teknolojik gelişimin anahtarı niteliğini korumaktadır. Bu uygulamalar esnasında, zararlı ışımlar kaynaklı insan üzerinde geri dönüşü olmayan sağlık sorunlarının önlenmesi amacıyla, özellikle son çeyrek asırda radyasyon soğurucu malzemelere olan ilgi ve talep artar şekilde devam etmektedir. Bilhassa, şeffaflığın zaruri olduğu uygulama alanlarında hem teknik kabiliyeti sağlayabilecek hem de şeffaflık özelliği sunabilecek malzemeler irdelendiğinde, cam malzemelerin vazgeçilmez bir yer aldığı açıkça görülebilmektedir. Buradan hareketle de, radyasyon soğurucu cam malzemeler konusunda, günümüzde yapılan çalışmaların yanı sıra, geleceğe yönelik çalışmaların da kıymeti son derece fazladır. Nitekim, radyasyon soğurucu cam malzemeler konusunda, çeşitli uygulamaların gereklilikleri doğrultusunda, cam formülasyonu, üretim teknikleri ve uzun dönem kullanım şartları bakımından yapılması gereken pek çok gelişim karşımıza çıkmaktadır. Cam formülasyonu çerçevesinde, kurşun oksit ve benzeri zehirli içerikleri bünyesinde barındırmayan, sera gazı etkisi düşük ve sürdürülebilir hammaddelerden oluşan kompozisyonel tasarımlar gelecek dönemde bilimsel topluluk tarafından öncelik kazanacaktır. Üretim teknikleri bakımından, düşük maliyetli ve cam hatalarından uzak, aynı zamanda, düşük ergitme sıcaklıklarında sentezlenebilen cam sistemlerinin üzerinde durulması oldukça olası görülmektedir. Diğer taraftan, bir ışıma enerjisine belirli bir süre maruz kalan cam sisteminin, uzun dönemde yapısal, optik ve soğurma kabiliyetleri açılarından ne gibi değişiklikler sergilediğinin tespiti oldukça önem kazanacaktır. Bir nevi radyasyon yorulması şeklinde söylenebilecek bu durum, özellikle, radyasyon maruziyeti ile birlikte cam sisteminde meydana gelen renk değişimlerinin azaltılması ve hatta ortadan kaldırılması gündemde olacaktır. Tüm bunların yanında, bir ışıma maruz kalınmadan önceki ve sonraki durumun, çok farklı malzeme özellikleri bakımından değerlendirilmesi, üzerinde durulacak cam sistemi çerçevesinde bir hayli mühim olacaktır. Netice itibarıyla, anılan gelecek görüşmeleri ışığında, mevcut doktora tezine söz konusu cam formülasyonlarının geliştirilmesi ve daha ileriye taşınması yönünde çalışmalar sürdürülecektir.

11. KAYNAKÇA

- Abdelghany Y A, Kassab M M, Radwan M M, Abdel-Latif M A, 2022, Borotellurite Glass System Doped with ZrO_2 , Potential Use For Radiation Shielding, *Progress in Nuclear Energy*, 149, Article number 104256.
- Abouhaswa A S, Kalecik S, Kavaz E, 2022, Newly Designed Borate Glass System for Optical and Radiation Shielding Applications: Multiple Effects of CdS on Structural, Magnetic, Optical, Mechanical and Photon Shielding Features, *Ceramics International*, 48, 27120–27129.
- Agar O, Kavaz E, Altunsoy E E, Kilicoglu O, Tekin H O, Sayyed M I, vd., 2019, Er_2O_3 Effects on Photon and Neutron Shielding Properties of $\text{TeO}_2\text{-Li}_2\text{O-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$ Glass System, *Results in Physics*, 13, Article number 102227.
- Akkurt I, Akyildirim H, Mavi B, Kilincarslan S, Basyigit C, 2010, Gamma-Ray Shielding Properties of Concrete Including Barite at Different Energies, *Progress in Nuclear Energy*, 52, 620–623.
- Akkurt I, El-Khayatt A M, 2013, The Effect of Barite Proportion on Neutron and Gamma-Ray Shielding, *Annals of Nuclear Energy*, 51, 5–9.
- Al-Buriahi M S, Rammah Y S, 2019, Electronic Polarizability, Dielectric, and Gamma-Ray Shielding Properties of Some Tellurite-Based Glasses, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 125, Article number 678.
- Al-Buriahi M S, Rashad M, Alalawi A, Sayyed M I, 2020a, Effect of Bi_2O_3 on Mechanical Features and Radiation Shielding Properties of Boro-Tellurite Glass System, *Ceramics International*, 46, 16452–16458.
- Al-Buriahi M S, Bakhsh E M, Tonguc B, Khan S B, 2020b, Mechanical and Radiation Shielding Properties of Tellurite Glasses Doped with ZnO and NiO, *Ceramics International*, 46, 19078–19083.
- Al-Buriahi M S, Tonguç B, Perişanoğlu U, Kavaz E, 2020c, The Impact of Gd_2O_3 on Nuclear Safety Proficiencies of $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Nb}_2\text{O}_5$ Glasses: A GEANT4 Monte

- Carlo Study, *Ceramics International*, 46, 23347–23356.
- Al-Buriahi M S, Rammah Y S, 2020d, Radiation Sensing Properties of Tellurite Glasses Belonging to ZnO–TeO₂–PbO System Using Geant4 Code, *Radiation Physics and Chemistry*, 170, Article number 108632.
- Al-Buriahi M S, Sayyed M I, Al-Hadeethi Y, 2020e, Role of TeO₂ In Radiation Shielding Characteristics of Calcium Boro-Tellurite Glasses, *Ceramics International*, 46, 13622–13629.
- Al-Buriahi M S, Hegazy H H, Alresheedi F, Somaily H H, Sriwunkum C, Olarinoye I O, 2021, Effect of Sb₂O₃ Addition on Radiation Attenuation Properties of Tellurite Glasses Containing V₂O₅ and Nb₂O₅, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127, Article number 106.
- Al-Buriahi M S, Kavas T, Kavaz E, Kurtulus R, Olarinoye I O, 2022a, Recycling Potential of Cathode Ray Tubes (CRTs) Waste Glasses Based on Bi₂O₃ Addition Strategies, *Waste Management*, 148, 43–49.
- Al-Buriahi M S, Tamam N, Somaily H H, Alrowaili Z A, Saleh H H, Olarinoye I O, vd., 2022b, Estimation of Radiation Protection Ability of Borate Glass System Doped with CdO, PbO, and TeO₂, *Radiation Physics and Chemistry*, 193, Article number 109996.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, 2019a, The Influence of PbO on the Radiation Attenuation Features of Tellurite Glass, *Ceramics International*, 45, 24230–24235.
- Al-Hadeethi Y, Tijani S A, 2019b, The Use of Lead-Free Transparent 50BaO-(50-X)Borosilicate-XBi₂O₃ Glass System as Radiation Shields in Nuclear Medicine, *Journal of Alloys and Compounds*, 803, 625–630.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, 2020a, A Comprehensive Study on the Effect of TeO₂ on the Radiation Shielding Properties of TeO₂–B₂O₃–Bi₂O₃–LiF–SrCl₂ Glass System Using Phy-X / PSD Software, *Ceramics International*, 46, 6136–6140.

- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, 2020b, A Comprehensive Study on the Effect of TeO_2 on the Radiation Shielding Properties of $\text{TeO}_2\text{--Bi}_2\text{O}_3\text{--LiF--SrCl}_2$ Glass System Using Phy-X / PSD Software, *Ceramics International*, 46, 6136–6140.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, 2020c, Radiation Attenuation Properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O--V}_2\text{O}_5\text{--TiO}_2\text{--TeO}_2$ Glass System Using Phy-X / PSD Software, *Ceramics International*, 46, 4795–4800.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, 2020d, Using Phy-X/PSD to Investigate Gamma Photons in $\text{SeO}_2\text{--Ag}_2\text{O--TeO}_2$ Glass Systems for Shielding Applications, *Ceramics International*, 46, 12416–12421.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, Agar O, 2020e, Ionizing Photons Attenuation Characterization of Quaternary Tellurite–Zinc–Niobium–Gadolinium Glasses Using Phy-X/PSD Software, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 538, Article number 120044.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, Rammah Y S, 2020f, Fabrication, Optical, Structural and Gamma Radiation Shielding Characterizations of $\text{GeO}_2\text{--PbO--Al}_2\text{O}_3\text{--CaO}$ Glasses, *Ceramics International*, 46, 2055–2062.
- Al-Hadeethi Y, Ahmed M, Al-Heniti S H, Sayyed M I, Rammah Y S, 2020g, Rare Earth Co-Doped Tellurite Glass Ceramics: Potential Use in Optical and Radiation Shielding Applications, *Ceramics International*, 46), 19198–19208.
- Al-Hadeethi Y, Sayyed M I, Raffah B M, 2022, The Role of Bi_2O_3 on the Gamma Ray Attenuation Competence of Lead-Free Silica Borotellurite Glasses Between 0.284 and 1.275 MeV, *Optik*, 270, Article number 169912.
- Alalawi A, Al-Buriahi M S, Sayyed M I, Akyildirim H, Arslan H, Zaid M H M, vd., 2020, Influence of Lead and Zinc Oxides on the Radiation Shielding Properties of Tellurite Glass Systems, *Ceramics International*, 46, 17300–17306.
- Ali A M, Rammah Y S, Sayyed M I, Smailly H H, Algarni H, Rashad M, 2020, The Impact of Lead Oxide on the Optical and Gamma Shielding Properties of Barium Borate Glasses, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article

number 280.

- Almatari M, Agar O, Altunsoy E E, Kilicoglu O, Sayyed M I, 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.
- Almeida Junior T A, Nogueira M S, Vivolo V, Potiens M P A, Campos L L, 2017, Mass Attenuation Coefficients of X-Rays in Different Barite Concrete Used in Radiation Protection as Shielding Against Ionizing Radiation, *Radiation Physics and Chemistry*, 140, 349–354.
- Alotaibi B M, Sayyed M I, Kumar A, Alotiby M, Sharma A, Al-Yousef H A, vd., 2021, Optical and Gamma-Ray Shielding Effectiveness of a Newly Fabricated P_2O_5 – CaO – Na_2O – K_2O – PbO Glass System, *Progress in Nuclear Energy*, 138, Article number 103798.
- Alrowaili Z A, Taha T A, Brahim M I, Saron K M A, 2021, Synthesis, Optical Absorption and Radiation Shielding Performance of Sodium Zinc Borate- Er_2O_3 Glasses, *Journal of Electronic Materials*, 50, 1102–1109.
- Alshahrani B, Alrowaili Z A, J. Alsufyani S, Olarinoye I O, Mutuwong C, Al-Buriahi M S, 2022, Determining the Optical Properties and Simulating the Radiation Shielding Parameters of Dy^{3+} Doped Lithium Yttrium Borate Glasses, *Optik*, 250, Article number 168318.
- Altowyan A S, Sayyed M I, Al-Hadeethi Y, 2020, The Impact of TeO_2 on the Gamma Attenuation Features of Oxyfluoro Boro-Tellurite Glasses, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article number 464.
- Altunsoy E E, Tekin H O, Mesbahi A, Akkurt I, 2020, MCNPX Simulation for Radiation Dose Absorption of Anatomical Regions and Some Organs, *Acta Physica Polonica A*, 137, 561–565.
- Alzahrani J S, Nazrin S N, Eke C, Kebaili I, Al-Buriahi M S, Joesry Syaiwan A S, 2022a, Effect of Strontium Oxide on Radiation Shielding Features and Elastic Properties on

- Zinc Borotellurite Glass System, Radiation Physics and Chemistry, 199, Article number 110304.
- Alzahrani J S, Sharma A, Nazrin S N, Alrowaili Z A, Al-Buriahi M S, 2022b, Optical and Radiation Shielding Effectiveness of a Newly Fabricated WO_3 Doped $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3$ Glass System, Radiation Physics and Chemistry, 193, Article number 109968.
- An J M, Lin H, Pun E Y B, Li D S, 2021, Synthesis, Gamma and Neutron Attenuation Capacities of Boron-Tellurite Glass System Utilizing Phy-X/PSD Database, Materials Chemistry and Physics, 274, Article number 125166.
- An J M, Lin H, Pun E Y B, Li D S, 2022, Evaluation of Gamma and Neutron Shielding Capacities of Tellurite Glass System with Phy-X Simulation Software, Physica B: Condensed Matter, 634, Article number 413433.
- Aşkın A, Sayyed M I, Sharma A, Dal M, El-Mallawany R, Kaçal M R, 2019, Investigation of the Gamma Ray Shielding Parameters of $(100\text{-X})[0.5\text{Li}_2\text{O--}0.1\text{B}_2\text{O}_3\text{--}0.4\text{P}_2\text{O}_5]\text{-XTeO}_2$ Glasses Using Geant4 and FLUKA Codes, Journal of Non-Crystalline Solids, 521, Article number 119489.
- ASTM C162 - 04, 2017, Standard Terminology of Glass and Glass Products, ASTM, Philadelphia.
- Augis J A, Bennett J E, 1978, Calculation of the Avrami Parameters for Heterogeneous Solid State Reactions Using a Modification of the Kissinger Method, Journal of Thermal Analysis, 13, 283–292.
- Aygün B, Şakar E, Cinan E, Yorgun N Y, Sayyed M I, Agar O, vd., 2020, Development and Production of Metal Oxide Doped Glasses for Gamma Ray and Fast Neutron Shielding, Radiation Physics and Chemistry, 174, Article number 108897.
- Aygün B, Şakar E, Agar O, Sayyed M I, Karabulut A, Singh V P, 2021, Development of New Heavy Concretes Containing Chrome-Ore for Nuclear Radiation Shielding Applications, Progress in Nuclear Energy, 133, Article number 103645.
- Başaran C, Toplan N, Toplan H Ö, 2018, The Crystallization Kinetics of the Bi_2O_3 -Added $\text{MgO--Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--TiO}_2$ Glass Ceramics System Produced from Industrial Waste,

- Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 134, 313–321.
- Belhouche H, Hamidouche M, Torrecillas R, Fantozzi G, 2014, The Non-Isothermal Kinetics of Mullite Formation in Boehmite-Zircon Mixtures, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 116, 795–803.
- Boonin K, Yasaka P, Limkitjaroenporn P, Rajaramakrishna R, Askin A, Sayyed M I, vd., 2020, Effect of BaO on Lead Free Zinc Barium Tellurite Glass for Radiation Shielding Materials in Nuclear Application, Journal of Non-Crystalline Solids, 550, Article number 120386.
- Boukhris I, Kebaili I, Al-Buriahi M S, Sriwunkum C, Sayyed M I, 2020a, Effect of Lead Oxide on the Optical Properties and Radiation Shielding Efficiency of Antimony-Sodium-Tungsten Glasses, Applied Physics A: Materials Science and Processing, 126, Article number 763.
- Boukhris I, Kebaili I, Sayyed M I, Askin A, Rammah Y S, 2020b, Linear, Nonlinear Optical and Photon Attenuation Properties of La^{3+} Doped Tellurite Glasses, Optical Materials, 108, Article number 110196.
- Boukhris I, Kebaili I, Al-Buriahi M S, Sayyed M I, 2021, Radiation Shielding Properties of Tellurite-Lead-Tungsten Glasses Against Gamma and Beta Radiations, Journal of Non-Crystalline Solids, 551, Article number 120430.
- Bürger H, Vogel W, Kozhukharov V, Marinov M, 1984, Phase Equilibrium, Glass-Forming, Properties and Structure of Glasses in the $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ System, Journal of Materials Science 19:2, 19, 403–412.
- Çelikkbilek Ersundu M, Ersundu A E, Sayyed M I, Lakshminarayana G, Aydın S, 2017a, Evaluation of Physical, Structural Properties and Shielding Parameters for $\text{K}_2\text{O-WO}_3\text{-TeO}_2$ Glasses for Gamma Ray Shielding Applications, Journal of Alloys and Compounds, 714, 278–286.
- Çelikkbilek Ersundu M, 2017b, Geçiş Metal Oksit Katkılı $\text{PbCl}_2\text{-TeO}_2$ Camların Yapısal ve Optik İncelenmesi, AKU J. Sci. Eng, 17, 015705, 218-226.

- D'Souza A N, Prabhu N S, Sharmila K, Sayyed M I, Somshekarappa H M, Lakshminarayana G, vd., 2020, Role of Bi_2O_3 in Altering the Structural, Optical, Mechanical, Radiation Shielding and Thermoluminescence Properties of Heavy Metal Oxide Borosilicate Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 542, Article number 120136.
- D'Souza A N, Sayyed M I, Karunakara N, Al-Ghamdi H, Almuqrin A H, Elsafi M, vd., 2022, $\text{TeO}_2\text{--SiO}_2\text{--B}_2\text{O}_3$ Glasses Doped with CeO_2 for Gamma Radiation Shielding and Dosimetry Application, *Radiation Physics and Chemistry*, 200, Article number 110233.
- Divina R, Marimuthu K, Mahmoud K A, Sayyed M I, 2020a, Physical and Structural Effect of Modifiers on Dysprosium Ions Incorporated Boro-Tellurite Glasses for Radiation Shielding Purposes, *Ceramics International*, 46, 17929–17937.
- Divina R, Sathiyapriya G, Marimuthu K, Askin A, Sayyed M I, 2020b, Structural, Elastic, Optical and γ -Ray Shielding Behavior of Dy^{3+} Ions Doped Heavy Metal Incorporated Borate Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 545, Article number 120269.
- Dong M, Elbashir B O, Sayyed M I, 2017, Enhancement of Gamma Ray Shielding Properties by PbO Partial Replacement of WO_3 in Ternary $60\text{TeO}_2\text{--}(40\text{--}x)\text{WO}_3\text{--}x\text{PbO}$ Glass System, *Chalcogenide Letters*, 14, 113-118.
- Donya H, Sulami S, 2019, Photon Shielding Characterization of a Modified Titania-Bismuth-Borotellurite Glass System for Medical Applications, *Journal of the Korean Physical Society*, 75, 871–877.
- El-bashir B O, Sayyed M I, Zaid M H M, Matori K A, 2017, Comprehensive Study on Physical, Elastic and Shielding Properties of Ternary $\text{BaO--Bi}_2\text{O}_3\text{--P}_2\text{O}_5$ glasses as a Potent Radiation Shielding Material, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 468, 92–99.
- El-Deen L M S, Salhi M S A, Elkholy M M, 2008, IR and UV Spectral Studies for Rare Earths-Doped Tellurite Glasses, *Journal of Alloys and Compounds*, 465, 333–339.
- El-Mallawany R, 2018, *Tellurite Glass Smart Materials*, Springer, 301p, Switzerland.

- El-Mallawany R, Sayyed M I, Dong M G, 2017, Comparative Shielding Properties of Some Tellurite Glasses: Part 2, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 474, 16–23.
- El-Mallawany R, Rammah Y S, El-Agawany F I, Lima S M, Mutuwong C, Al-Buriahi M S, 2020, Evaluation of Optical Features and Ionizing Radiation Shielding Competences of $\text{TeO}_2\text{--Li}_2\text{O}$ (TL) Glasses via Geant4 Simulation Code and Phy-X/PSD Program, *Optical Materials*, 108, Article number 110394.
- El-Mallawany R, Abou-Taleb W M, Naeem M A, Kotb S M, Krar M E, Talaat S, 2022, Impact of B_2O_3 on Physical, Optical Characteristics and Radiation Attenuation Factors of Borotellurite Glasses, *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2531–2545.
- Elkhoshkhany N, Abbas R, El-Mallawany R, Fraih A J, 2014, Optical Properties of Quaternary $\text{TeO}_2\text{--ZnO--Nb}_2\text{O}_5\text{--Gd}_2\text{O}_3$ Glasses, *Ceramics International*, 40, 14477–14481.
- Elkhoshkhany N, Abbas R, El-Mallawany R, Hathot S F, 2017, Optical Properties and Crystallization of Bismuth Boro-Tellurite Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 476, 15–24.
- Elmahroug Y, Almatari M, Sayyed M I, Dong M G, 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.
- Ersundu A E, Çelikbilek M, Aydın S, 2012, Characterization of B_2O_3 and/or WO_3 Containing Tellurite Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 641–647.
- Ersundu A E, Büyükyıldız M, Çelikbilek Ersundu M, Şakar E, 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.
- Eshghi M, 2020, Investigation of Radiation Protection Features of the $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--Bi}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O--NdCl}_3$ Glass Systems, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 16479–16497.

- Fatmi M, Ghebouli B, Ghebouli M A, Chihi T, Abdul Hafiz M, 2011, The Kinetics of Precipitation in Al-2.4 wt% Cu Alloy by Kissinger, Ozawa, Bosswel And Matusita Methods, *Physica B: Condensed Matter*, 406, 2277–2280.
- Frischat G H, 1977, Glasstruktur: Glass Structure By Spectroscopy, *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium*, 25, 250–250.
- Gaikwad D K, Obaid S S, Sayyed M I, Bhosale R R, Awasarmol V V., Kumar A, vd., 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.
- Gaikwad D K, Sayyed M I, Botewad S N, Obaid S S, Khattari Z Y, Gawai U P, vd., 2019, Physical, Structural, Optical Investigation and Shielding Features of Tungsten Bismuth Tellurite Based Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 503, 158–168.
- Geidam I G, Matori K A, Halimah M K, Chan K T, Muhammad F D, Ishak M, vd., 2022, Oxide Ion Polarizabilities and Gamma Radiation Shielding Features of $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ Glasses Containing Bi_2O_3 Using Phy-X/PSD Software, *Materials Today Communications*, 31, Article number 103472.
- Glinicki M A, Jaskulski R, Dąbrowski M, Ranachowski Z, 2016, Determination of Thermal Properties of Hardening Concrete for Massive Nuclear Shielding Structures, *Sustainable Construction, Materials and Technologies*, 1-9.
- Gupta N, Kaur A, Khanna A, González F, Pesquera C, Iordanova R, vd., 2017, Structure-Property Correlations in $\text{TiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 470, 168–177.
- Halimah M K, Azuraída A, Ishak M, Hasnimulyati L, 2019, Influence of Bismuth Oxide on Gamma Radiation Shielding Properties of Boro-Tellurite Glass, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 512, 140–147.
- Hendi A A, Rashad M, Sayyed M I, 2020, Gamma Radiation Shielding Study of Tellurite Glasses Containing V_2O_5 and Bi_2O_3 Using Geant4 Code, *Ceramics International*, 46, 28870–28876.

- Hlavač Z, Zatloukalová J, Košťál M, Losa E, 2021, Study of a Gamma Radiation Impact on Concrete Properties Under Severe Accident Conditions, Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science, 7, Article number 022001.
- Hulbert S M, Carlson K A, 2009, Is Lead Dust Within Nuclear Medicine Departments a Hazard to Pediatric Patients?, Journal of Nuclear Medicine Technology, 37, 170–172.
- Ilik E, Kilic G, Issever U G, Issa S A M, Zakaly H M H, Tekin H O, 2022, Cerium (IV) Oxide Reinforced Lithium-Borotellurite Glasses: A Characterization Study Through Physical, Optical, Structural and Radiation Shielding Properties, Ceramics International, 48, 1152–1165.
- ISO 4037-1:2019 - Radiological Protection- X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy- Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods, ISO, Switzerland.
- ISO 4037-2:2019 - Radiological Protection- X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosemeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy- Part 2: Dosimetry for Radiation Protection over the Energy Ranges From 8 KeV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV, ISO, Switzerland.
- Issa S A M, Mostafa A M A, 2017a, Effect of Bi_2O_3 in Borate-Tellurite-Silicate Glass System for Development of Gamma-Rays Shielding Materials, Journal of Alloys and Compounds, 695, 302–310.
- Issa S A M, Sayyed M I, Kurudirek M, 2017b, Study of Gamma Radiation Shielding Properties of $\text{ZnO}-\text{TeO}_2$ Glasses, Bulletin of Materials Science, 40, 841–857.
- Issa S A M, Sayyed M I, Mostafa A M A, Lakshminarayana G, Kityk I V., 2019a, Investigation of Mechanical and Radiation Shielding Features of Heavy Metal Oxide Based Phosphate Glasses for Gamma Radiation Attenuation Applications, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 30, 12140–12151.
- Issa S A M, Tekin H O, Elsaman R, Kilicoglu O, Saddeek Y B, Sayyed M I, 2019b,

- 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.
- Issa S A M, Rashad M, Hanafy T A, Saddeek Y B, 2020, Experimental Investigations on Elastic and Radiation Shielding Parameters of $\text{WO}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 544, Article number 120207.
- İşsever U G, Kilic G, Peker M, Ünaldi T, Aybek A Ş, 2019, Effect of Low Ratio V^{5+} Doping on Structural and Optical Properties of Borotellurite Semiconducting Oxide Glasses, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30, 15156–15167.
- J. E. Shelby, 2005, *Introduction to Glass Science and Technology*, The Royal Society of Chemistry, 292p, United Kingdom.
- Kaewjaeng S, Kothan S, Chaiphaksa W, Chanthima N, Rajaramakrishna R, Kim H J, vd., 2019, High Transparency $\text{La}_2\text{O}_3\text{-CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ Glass for Diagnosis X-Rays Shielding Material Application, *Radiation Physics and Chemistry*, 160, 41–47.
- Kaky K M, Sayyed M I, Laariedh F, Abdalsalam A H, Tekin H O, Baki S O, 2019, Stuctural, Optical and Radiation Shielding Properties of Zinc Boro-Tellurite Alumina Glasses, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 125, Article number 32.
- Kaky K M, Sayyed M I, Ati A A, Mhareb M H A, Mahmoud K A, Baki S O, vd., 2020a, Germanate Oxide Impacts on the Optical and Gamma Radiation Shielding Properties of $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Li}_2\text{O}$ Glass System, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 546, Article number 120272.
- Kaky K M, Sayyed M I, Mhareb M H A, Abdalsalam A H, Mahmoud K A, Baki S O, vd., 2020b, Physical, Structural, Optical and Gamma Radiation Attenuation Properties of Germanate-Tellurite Glasses for Shielding Applications, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 545, Article number 120250.
- Kamislioglu M, Altunsoy Guclu E E, Tekin H O, 2020, Comparative Evaluation of Nuclear Radiation Shielding Properties of $\text{XTeO}_2\text{+(100-X)Li}_2\text{O}$ Glass System, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article number 95.

- Katubi K M, Olarinoye I O, Alrowaili Z A, Al-Buriahi M S, 2022, Optical Transmission, Polarizability, and Photon/Neutron Shielding Properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{MnO}/\text{B}_2\text{O}_3$ Glass System, *Optik*, 268, Article number 169695.
- Kaur P, Singh K J, Thakur S, Kurudirek M, 2020, Investigation of a Competent Non-Toxic $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{O--CeO}_2\text{--MoO}_3\text{--B}_2\text{O}_3$ Glass System for Nuclear Radiation Security Applications, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 545, Article number 120235.
- Kaur S, Pandey O P, Jayasankar C K, Chopra N, 2021, Effect of Gamma Irradiation on Physical, Optical, Spectroscopic and Structural Properties of Er^{3+} -Doped Vitreous Zinc Borotellurite, *Journal of Luminescence*, 235, Article number 118031.
- Kavaz E, Tekin H O, Kilic G, Susoy G, 2020, Newly Developed Zinc-Tellurite Glass System: An Experimental Investigation on Impact of Ta_2O_5 on Nuclear Radiation Shielding Ability, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 544, Article number 120169.
- Khalaf M A, Cheah C B, Ramli M, Ahmed N M, Al-Shwaiter A, 2021, Effect of Nano Zinc Oxide and Silica on Mechanical, Fluid Transport and Radiation Attenuation Properties of Steel Furnace Slag Heavyweight Concrete, *Construction and Building Materials*, 274, Article number 121785.
- Kharita M H, Yousef S, Alnassar M, 2011, Review on the Addition of Boron Compounds to Radiation Shielding Concrete, *Progress in Nuclear Energy*, 53, 207–211.
- Kilic G, Issever U G, Ilik E, 2019, Characterization of Er^{3+} Doped ZnTeTa Semiconducting Oxide Glass, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30, 8920–8930.
- Kilic G, Issa S A M, Ilik E, Kilicoglu O, Tekin H O, 2020, A Journey for Exploration of Eu_2O_3 Reinforcement Effect on Zinc-Borate Glasses: Synthesis, Optical, Physical and Nuclear Radiation Shielding Properties, *Ceramics International*, 47, 2572-2583.
- Kilic G, Ilik E, Issa S A M, Issa B, Al-Buriahi M S, Issever U G, vd., 2021a, Ytterbium (III) Oxide Reinforced Novel $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--V}_2\text{O}_5$ Glass System: Synthesis and Optical, Structural, Physical and Thermal Properties, *Ceramics International*, 47,

18517–18531.

Kilic G, Ilik E, Issa S A M, Issa B, Issever U G, Zakaly H M H, vd., 2021b, Fabrication, Structural, Optical, Physical and Radiation Shielding Characterization of Indium (III) Oxide Reinforced 85TeO_2 -(15-X) ZnO -X In_2O_3 Glass System, *Ceramics International*, 47, 27305–27315.

Kilic G, Issa S A M, Ilik E, Kilicoglu O, Issever U G, El-Mallawany R, vd., 2021c, Physical, Thermal, Optical, Structural and Nuclear Radiation Shielding Properties of Sm_2O_3 Reinforced Borotellurite Glasses, *Ceramics International*, 47, 6154–6168.

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.

Kurtulus R, Kavas T, Akkurt I, Gunoglu K, 2020, An Experimental Study and WinXCom Calculations on X-Ray Photon Characteristics of Bi_2O_3 - and Sb_2O_3 -Added Waste Soda-Lime-Silica Glass, *Ceramics International*, 46, 21120–21127.

Kurtulus R, Kavas T, 2021a, The Role of B_2O_3 in Lithium-Zinc-Calcium-Silicate Glass for Improving the Radiation Shielding Competencies, *Journal of Boron*, 6, 236–242.

Kurtulus R, Kurtulus C, Kavas T, 2021b, Physical, Optical, Thermal, Mechanical, and Photon Shielding Properties of Rb_2O -Reinforced SiO_2 - Na_2O - CaO - MgO - Al_2O_3 Glass System, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 7801–7814.

Kurtuluş R, Kavas T, Agar O, Turhan M F, Kaçal M R, Dursun I, vd., 2021c, Study on Recycled Er-Incorporated Waste CRT Glasses for Photon and Neutron Shielding, *Ceramics International*, 47, 26335–26349.

Laariedh F, Alatawi O, Al-Buriahi M S, Sayyed M I, Badeche T B, 2020, TeO_2 - TiO_2 - ZnO Glasses: Potential Use in Radiation Protection, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article number 1.

Lakshminarayana G, Baki S O, Kaky K M, Sayyed M I, Tekin H O, Lira A, vd., 2017a,

- 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.
- Lakshminarayana G, Baki S O, Lira A, Sayyed M I, Kityk I V., Halimah M K, vd., 2017b, 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.
- Lakshminarayana G, Kaky K M, Baki S O, Lira A, Nayar P, Kityk I V, vd., 2017c, Physical, Structural, Thermal, and Optical Spectroscopy Studies of $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--MoO}_3\text{--ZnO--R}_2\text{O}$ ($\text{R} = \text{Li, Na, And K}$)/ MO ($\text{M} = \text{Mg, Ca, And Pb}$) Glasses, *Journal of Alloys and Compounds*, 690, 799-816.
- Lakshminarayana G, Baki S O, Sayyed M I, Dong M G, Lira A, Noor A S M, vd., 2018, Vibrational, Thermal Features, and Photon Attenuation Coefficients Evaluation for $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--BaO--ZnO--Na}_2\text{O--Er}_2\text{O}_3\text{--Pr}_6\text{O}_{11}$ Glasses as Gamma-Rays Shielding Materials, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 481, 568–578.
- Lakshminarayana G, Sayyed M I, Baki S O, Lira A, Dong M G, Bashar K A, vd., 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.
- Lakshminarayana G, Dong M G, Al-Buriahi M S, Kumar A, Lee D E, Yoon J, vd., 2020a, $\text{B}_2\text{O}_3\text{--Bi}_2\text{O}_3\text{--TeO}_2\text{--BaO}$ and $\text{TeO}_2\text{--Bi}_2\text{O}_3\text{--BaO}$ Glass Systems: A Comparative Assessment of Gamma-Ray and Fast and Thermal Neutron Attenuation Aspects, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article number 202.
- Lakshminarayana G, Elmahroug Y, Kumar A, Rekik N, Lee D E, Yoon J, vd., 2020b, Reckoning of Nuclear Radiation Attenuation Capabilities for Binary $\text{GeO}_2\text{--Ti}_2\text{O}$, $\text{GeO}_2\text{--Bi}_2\text{O}_3$, and Ternary $\text{GeO}_2\text{--Ti}_2\text{O--Bi}_2\text{O}_3$ Glasses Utilizing Pertinent Theoretical and Computational Approaches, *Optical Materials*, 108, Article number 110113.
- Lakshminarayana G, Kebaili I, Dong M G, Al-Buriahi M S, Dahshan A, Kityk I V, vd.,

- 2020c, Estimation of Gamma-Rays, and Fast and the Thermal Neutrons Attenuation Characteristics for Bismuth Tellurite and Bismuth Boro-Tellurite Glass Systems, *Journal of Materials Science*, 55, 5750–5771.
- Lakshminarayana G, Kumar A, Lira A, Dahshan A, Hegazy H H, Kityk I V., vd., 2020d, Comparative Study of Gamma-Ray Shielding Features and Some Properties of Different Heavy Metal Oxide-Based Tellurite-Rich Glass Systems, *Radiation Physics and Chemistry*, 170, Article number 108633.
- Lakshminarayana G, Tekin H O, Dong M G, Al-Buriah M S, Lee D E, Yoon J, vd., 2022, Comparative Assessment of Fast and Thermal Neutrons and Gamma Radiation Protection Qualities Combined with Mechanical Factors of Different Borate-Based Glass Systems, *Results in Physics*, 37, Article number 105527.
- Lee C M, Lee Y H, Lee K J, 2007, Cracking Effect on Gamma-Ray Shielding Performance in Concrete Structure, *Progress in Nuclear Energy*, 49, 303–312.
- Madbouly A M, Sallam O I, Issa S A M, Rashad M, Hamdy A, Tekin H O, vd., 2022, Experimental and FLUKA Evaluation on Structure and Optical Properties and γ -Radiation Shielding Capacity of Bismuth Borophosphate Glasses, *Progress in Nuclear Energy*, 148, Article number 104219.
- Maddalena R, Roberts J J, Hamilton A, 2018, Can Portland Cement Be Replaced by Low-Carbon Alternative Materials? A Study on the Thermal Properties and Carbon Emissions of Innovative Cements, *Journal of Cleaner Production*, 186, 933–942.
- Mahmoud I S, Issa S A M, Zakaly H M H, Saudi H A, Ali A S, Saddeek Y B, vd., 2021, Material Characterization of $\text{WO}_3/\text{Bi}_2\text{O}_3$ Substituted Calcium-Borosilicate Glasses: Structural, Physical, Mechanical Properties and Gamma-Ray Resistance Competencies, *Journal of Alloys and Compounds*, 888, Article number 161419.
- Mann K S, 2017, γ -Ray Shielding Behaviors of Some Nuclear Engineering Materials, *Nuclear Engineering and Technology*, 49, 792–800.
- Manning S, Ebendorff-Heidepriem H, Monro T M, Wang J S, Vogel E M, Snitzer E, vd., 2012, Ternary Tellurite Glasses for the Fabrication of Nonlinear Optical Fibres,

Optical Materials Express, 2, 140–152.

Mhareb M H A, Slimani Y, Alajerami Y S, Sayyed M I, Lacomme E, Almessiere M A, 2020, Structural and Radiation Shielding Properties of BaTiO₃ Ceramic with Different Concentrations of Bismuth and Ytterbium, *Ceramics International*, 46, 28877–28886.

Mhareb M H A, Sayyed M I, Flemban T, Dwaikat N, Ashiq M G B, Alajerami Y S M, 2022a, Experimental Shielding Properties for a Novel Glassy System, *Applied Radiation and Isotopes*, 189, Article number 110408.

Mhareb M H A, Sayyed M I, Hamad M K, Almousa N, Dwaikat N, Prabhu N S, vd., 2022b, The Role of Different Modifiers on Radiation Shielding, Optical, and Physical Properties for Strontium Boro-Tellurite Glass, *Ceramics International*, 48, 15984–15991.

Millstone E, Russell J, 1995, Lead Toxicity and Public Health Policy, *Journal of the Royal Society of Health*, 115, 347–350.

Mirji R, Lobo B, 2017, Radiation Shielding Materials : A Brief Review on Methods, Scope and Significance, National Conference on Advances in VLS and Microelectronics, 27th January 2017, P.C. Jabin Science College, Huballi, India,.

Mohammedsaleh K, Kurtulus R, Alrowaili Z A, Kavas T, Kavaz E, Al-buriah M S, 2022, Optical Properties, Elastic Moduli, and Radiation Shielding Performance of Some Waste Glass Systems Treated by Bismuth Oxide, *Optik*, 266, Article number 169567.

Munoz-Martín D, Villegas M A, Gonzalo J, Fernández-Navarro J M, 2009, Characterisation of Glasses in the TeO₂–WO₃–PbO System, *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 2903–2913.

Musgraves J D, Hu J, Calvez L, 2019, *Springer Handbook of Glass*, 1851p, Switzerland.

Naqi A, Jang J G, 2019, Recent Progress in Green Cement Technology Utilizing Low-Carbon Emission Fuels and Raw Materials: A Review, *Sustainability*, 11, Article number 537.

- Naseer K A, Marimuthu K, Al-Buriahi M S, Alalawi A, Tekin H O, 2021, Influence of Bi_2O_3 Concentration on Barium-Telluro-Borate Glasses: Physical, Structural and Radiation-Shielding Properties, *Ceramics International*, 47, 329–340.
- Nazrin S N, Sharma A, Muhammad S, Alghamdi N A, Wageh S, 2022, Mechanical and Radiation Shielding Properties of CuO Doped $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3$ Glass System, *Radiation Physics and Chemistry*, 198, Article number 110222.
- Nidzam N N S, Kamari H M, Sukari M S M, Alauddin F A M, Laoding H, Azlan M N, vd., 2021, Comparison Study of Elastic, Physical and Structural Properties for Strontium Oxide and Manganese Oxide in Borotellurite Glasses for High Strength Glass Application, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32, 353-364.
- TOBB, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Cam ve Cam Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu, 2012, Ankara.
- Okafor C E, Okonkwo U C, Okokpujie I P, 2021, Trends in Reinforced Composite Design for Ionizing Radiation Shielding Applications: A Review, *Journal of Materials Science*, 56, 11631-11655.
- Oto B, Gür A, Kaçal M R, Doğan B, Arasoglu A, 2013, Photon Attenuation Properties of Some Concretes Containing Barite and Colemanite in Different Rates, *Annals of Nuclear Energy*, 51, 120–124.
- Ouda A S, 2015, Development of High-Performance Heavy Density Concrete Using Different Aggregates for Gamma-Ray Shielding, *Progress in Nuclear Energy*, 79, 48–55.
- Ozan Tekin H, Sayyed M I, Manici T, 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.
- Ozturk S, Ilik E, Kilic G, Issever U G, 2020, Ta_2O_5 -Doped Zinc-Borate Glasses: Physical, Structural, Optical, Thermal, and Radiation Shielding Properties, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 126, Article number 844.

- Piotrowski T, 2021, Neutron Shielding Evaluation of Concretes and Mortars: A Review, Construction and Building Materials, 277, Article number 122238.
- Poojha M K K, Marimuthu K, Teresa P E, Almousa N, Sayyed M I, 2022, Role of Modifiers on the Structural, Mechanical, Optical and Radiation Protection Attributes of Eu^{3+} Incorporated Multi Constituent Glasses, Nuclear Engineering and Technology, 54, 3841–3848.
- Prabhu N S, Hegde V, Wagh A, Sayyed M I, Agar O, Kamath S D, 2019, Physical, Structural and Optical Properties of Sm^{3+} Doped Lithium Zinc Alumino Borate Glasses, Journal of Non-Crystalline Solids, 515, 116-124.
- Rada S, Culea M, Culea E, 2008, Structure of $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ Glasses Inferred from Infrared Spectroscopy and DFT Calculations, Journal of Non-Crystalline Solids, 354, 5491–5495.
- Rada S, Culea E, Rada M, Pascuta P, Maties V, 2009, Structural and Electronic Properties of Tellurite Glasses, Journal of Materials Science, 44, 3235–3240.
- Rada S, Culea E, Neumann M, 2010, Experimental and Theoretical Studies of the Structure of Tellurate-Borate Glasses Network, Journal of Molecular Modeling, 16, 1333–1338.
- Rammah Y S, 2019, Evaluation of Radiation Shielding Ability of Boro-Tellurite Glasses: $\text{TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SrCl}_2\text{-LiF-Bi}_2\text{O}_3$, Applied Physics A: Materials Science and Processing, 125, Article number 587.
- Rammah Y S, Al-Buriahi M S, Sriwunkum C, Shams M S, Yousef E S, 2020a, Influence of Er^{3+} -Doped Ions on the Linear/Nonlinear Optical Characteristics and Radiation Shielding Features of $\text{TeO}_2\text{-ZnO-Er}_2\text{O}_3$ Glasses, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 31, 21431-21443.
- Rammah Y S, El-Agawany F I, El Soad A M A, Yousef E, El-Mesady I A, 2020b, Ionizing Radiation Attenuation Competences of Gallium Germanate-Tellurite Glasses Utilizing MCNP5 Simulation Code and Phy-X/PSD Program, Ceramics International, 46, 22766–22773.

- Rammah Y S, El-Agwany F I, Mahmoud K A, Novatski A, El-Mallawany R, 2020c, Role of ZnO on TeO₂-Li₂O-ZnO Glasses for Optical and Nuclear Radiation Shielding Applications Utilizing MCNP5 Simulations and WINXCOM Program, Journal of Non-Crystalline Solids, 544, Article number 120162.
- Rammah Y S, Kavaz E, Perişanoğlu U, Kilic G, El-Agawany F I, Tekin H O, 2020d, Charged Particles and Gamma-Ray Shielding Features of Oxyfluoride Semiconducting Glasses: TeO₂-Ta₂O₅-ZnO/ZnF₂, Ceramics International, 46, 25035–25042.
- Rammah Y S, Olarinoye I O, El-Agawany F I, El-Adawy A, Gamal A, Yousef E S, 2020e, Elastic Moduli, Photon, Neutron, and Proton Shielding Parameters of Tellurite Bismo-Vanadate (TeO₂-V₂O₅-Bi₂O₃) Semiconductor Glasses, Ceramics International, 46, 25440–25452.
- Rammah Y S, Sayyed M I, El-bashir B O, Asiri S M, Al-Hadeethi Y, 2021, Linear Optical Features and Radiation Shielding Competence of ZnO-B₂O₃-TeO₂-Eu₂O₃ Glasses: Role of Eu³⁺ Ions, Optical Materials, 111, Article number 110525.
- Şakar E, Özpolat Ö F, Alım B, Sayyed M I, Kurudirek M, 2020, Phy-X / PSD: Development of a User Friendly Online Software for Calculation of Parameters Relevant to Radiation Shielding and Dosimetry, Radiation Physics and Chemistry, 166, Article number 108496.
- Saleh E E, Algrade M A, El-Fiki S A, Youssef G M, 2022, Fabrication of Novel Lithium Lead Bismuth Borate Glasses for Nuclear Radiation Shielding, Radiation Physics and Chemistry, 193, Article number 109939.
- Sangwaranatee N, Cheewasukhanont W, Limkitjaroenporn P, Borisut P, Wongdamnern N, Khongchaiyaphum F, vd., 2021, Development of Bismuth Alumino Borosilicate Glass for Radiation Shielding Material, Radiation Physics and Chemistry, 186, Article number 109542.
- Santos J A M, Bastos A L, Lencart J, Dias A G, Carrasco M F, 2009, Low Cost Alternative to Lead Glass Shielding in PET/CT Control/Scanner Room Window,

World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. 447–450.

Sayed El-Ahll L, Salama E, Saudi H A, Alazab H A, Ghany H A A, 2022, The Effect of Barium on the Nuclear Radiation Shielding Capabilities of Nickel-Reinforced Borosilicate Glasses, *Silicon*, 14, 8909-8917.

Sayyed M I, 2016, Bismuth Modified Shielding Properties of Zinc Boro-Tellurite Glasses, *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 111–117.

Sayyed M I, 2017a, Half Value Layer, Mean Free Path and Exposure Buildup Factor for Tellurite Glasses with Different Oxide Compositions, *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 3191–3197.

Sayyed M I, Elhouichet H, 2017b, Variation Of Energy Absorption And Exposure Buildup Factors With Incident Photon Energy And Penetration Depth For Boro-Tellurite ($\text{B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$) Glasses, *Radiation Physics and Chemistry*, 130, 335–342.

Sayyed M I, Lakshminarayana G, Mahdi M A, 2017c, Evaluation of Radiation Shielding Parameters for Optical Materials, 2017, *Chalcogenide Letters*, 14, 43-47.

Sayyed M I, Çelikbilek Ersundu M, Ersundu A E, Lakshminarayana G, Kostka P, 2018a, Investigation of Radiation Shielding Properties for $\text{MeO-PbCl}_2\text{-TeO}_2$ ($\text{MeO} = \text{Bi}_2\text{O}_3, \text{MoO}_3, \text{Sb}_2\text{O}_3, \text{WO}_3, \text{ZnO}$) Glasses, *Radiation Physics and Chemistry*, 144, 419–425.

Sayyed M I, Issa S A M, Büyükyıldız M, Dong M, 2018b, Determination of Nuclear Radiation Shielding Properties of Some Tellurite Glasses Using MCNP5 Code, *Radiation Physics and Chemistry*, 150, 1–8.

Sayyed M I, Lakshminarayana G, Moghaddasi M, Kityk I V., Mahdi M A, 2018c, Physical Properties, Optical Band Gaps and Radiation Shielding Parameters Exploration for Dy^{3+} -Doped Alkali/Mixed Alkali Multicomponent Borate Glasses, *Glass Physics and Chemistry*, 44, 279–291.

Sayyed M I, Tekin H O, Altunsoy E E, Obaid S S, Almatari M, 2018d, 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.

Sayyed M I, Kaky K M, Mhareb M H A, Abdalsalam A H, Almousa N, Shkoukani G, vd., 2019a, Borate Multicomponent of Bismuth Rich Glasses for Gamma Radiation Shielding Application, Radiation Physics and Chemistry, 161, 77–82.

Sayyed M I, Mhareb M H A, Abbas Z Y, Almousa N, Laariedh F, Kaky K M, vd., 2019b, Structural, Optical, and Shielding Investigations of $\text{TeO}_2\text{--GeO}_2\text{--ZnO--Li}_2\text{O--Bi}_2\text{O}_3$ Glass System for Radiation Protection Applications, Applied Physics A: Materials Science and Processing, 125, Article number 417.

Sayyed M I, Tekin H O, Agar O, 2019c, Gamma Photon And Neutron Attenuation Properties of $\text{MgO--BaO--B}_2\text{O}_3\text{--TeO}_2\text{--Cr}_2\text{O}_3$ Glasses: The Role of TeO_2 , Radiation Physics and Chemistry, 163, 58–66.

Sayyed M I, Al-Hadeethi Y, AlShammari M M, Ahmed M, Al-Heniti S H, Rammah Y S, 2020a, Physical, Optical and Gamma Radiation Shielding Competence of Newly Boro-Tellurite Based Glasses: $\text{TeO}_2\text{--B}_2\text{O}_3\text{--ZnO--Li}_2\text{O}_3\text{--Bi}_2\text{O}_3$, Ceramics International, 47, 611–618.

Sayyed M I, Akyildirim H, Al-Buriahi M S, Lacomme E, Ayad R, Bonvicini G, 2020b, Oxyfluoro-Tellurite-Zinc Glasses and the Nuclear-Shielding Ability Under the Substitution of AlF_3 By ZnO , Applied Physics A: Materials Science and Processing, 126, Article number 88.

Sayyed M I, Ati A A, Mhareb M H A, Mahmoud K A, Kaky K M, Baki S O, vd., 2020c, Novel Tellurite Glass $(60\text{--}X)\text{TeO}_2\text{--}10\text{GeO}_2\text{--}20\text{ZnO--}10\text{BaO--}X\text{Bi}_2\text{O}_3$ for Radiation Shielding, Journal of Alloys and Compounds, 844.

Sayyed M I, Rashad M, Rammah Y S, 2020d, Impact of Ag_2O on Linear, Nonlinear Optical and Gamma-Ray Shielding Features of Ternary Silver Vanadio-Tellurite Glasses: $\text{TeO}_2\text{--V}_2\text{O}_5\text{--Ag}_2\text{O}$, Ceramics International, 46, 22964–22972.

Sayyed M I, Dwaikat N, Mhareb M H A, D'Souza A N, Almousa N, Alajerami Y S M, vd., 2022, Effect of TeO_2 Addition on the Gamma Radiation Shielding Competence and Mechanical Properties of Boro-Tellurite Glass: An Experimental Approach,

- Journal of Materials Research and Technology, 18, 1017–1027.
- Sidek H A A, Rosmawati S, Talib Z A, Halimah M K, Daud W M, 2009, Synthesis and Optical Properties of ZnO-TeO₂ Glass System, American Journal of Applied Sciences, 6, 1489–1494.
- Singh K J, Singh N, Kaundal R S, Singh K, 2008, Gamma-Ray Shielding and Structural Properties of PbO-SiO₂ Glasses, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 266, 944–948.
- Singh K J, Kaur S, Kaundal R S, 2014, Comparative Study of Gamma Ray Shielding and Some Properties of PbO-SiO₂-Al₂O₃ and Bi₂O₃-SiO₂-Al₂O₃ Glass Systems, Radiation Physics and Chemistry, 96, 153–157.
- Singh G P, Singh J, Kaur P, Kaur S, Arora D, Kaur R, vd., 2020, Comparison of Structural, Physical and Optical Properties of Na₂O-B₂O₃ And Li₂O-B₂O₃ Glasses to Find an Advantageous Host for CeO₂ Based Optical and Photonic Applications, Journal of Non-Crystalline Solids, 546, Article number 120268.
- Somaily H H, Algarni H, Alraddadi S, Rammah Y S, Nutaro T, Al-Buriahi M S, 2020, Mechanical, Optical, and Beta/Gamma Shielding Properties of Alkali Tellurite Glasses: Role of ZnO, Ceramics International, 46, 28594–28602.
- Somaily H H, Algarni H, Rammah Y S, Alalawi A, Mutuwong C, Al-Buriahi M S, 2021, The Effects of V₂O₅/K₂O Substitution on Linear and Nonlinear Optical Properties and the Gamma Ray Shielding Performance of TVK Glasses, Ceramics International, 47, 1012–1020.
- Soraya M M, Ahmed F B M, Mahasen M M, 2022, Enhancing the Physical, Optical and Shielding Properties for Ternary Sb₂O₃-B₂O₃-K₂O Glasses, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 33, 22077-22091.
- Stalin S, Gaikwad D K, Samee M A, Edukondalu A, Ahmmad S K, Joshi A A, vd., 2020, Structural, Optical Features and Gamma Ray Shielding Properties of Bi₂O₃-TeO₂-B₂O₃-GeO₂ Glass System, Ceramics International, 46, 17325–17334.

- Stalin S, Edukondalu A, Boukhris I, Alrowaili Z A, Al-Baradi A M, Olarinoye I O, vd., 2021, Effects of $\text{TeO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ Substitution on Synthesis, Physical, Optical and Radiation Shielding Properties of $\text{ZnO-Li}_2\text{O-GeO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ Glasses, *Ceramics International*, 47, 30137-30146.
- Tekin H O, Sayyed M I, Manici T, Altunsoy E E, 2017, Photon Shielding Characterizations of Bismuth Modified Borate-Silicate-Tellurite Glasses using MCNPX Monte Carlo Code, *Materials Chemistry and Physics*, 211, 9-16.
- Tekin H O, Issa S A M, Ahmed E M, Rammah Y S, 2021, The Impact of Nd^{3+} Ions on Linear/Nonlinear and The Ionizing Radiation Attenuation Parameters of $\text{TeO}_2\text{-PbO-Y}_2\text{O}_3$ Glasses, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 17200-17219.
- Tekin H O, Ali F T, Almisned G, Susoy G, Issa S A M, Ene A, vd., 2022a, Multiple Assessments on the Gamma-Ray Protection Properties of Niobium-Doped Borotellurite Glasses: A Wide Range Investigation Using Monte Carlo Simulations, *Science and Technology of Nuclear Installations*, Article number 5890896.
- Tekin H O, Issa S A M, Ahmed E M, Rammah Y S, 2022b, Lithium-Fluoro Borotellurite Glasses: Nonlinear Optical, Mechanical Characteristics and Gamma Radiation Protection Characteristics, *Radiation Physics and Chemistry*, 190, Article number 109819.
- Tijani S A, Kamal S M, Al-Hadeethi Y, Arib M, Hussein M A, Wageh S, vd., 2018, Radiation Shielding Properties of Transparent Erbium Zinc Tellurite Glass System Determined at Medical Diagnostic Energies, *Journal of Alloys and Compounds*, 741, 293–299.
- Tijani S A, Al-Hadeethi Y, 2019, The Influence of TeO_2 and Bi_2O_3 on the Shielding Ability of Lead-Free Transparent Bismuth Tellurite Glass at Low Gamma Energy Range, *Ceramics International*, 45, 23572–23577.
- Uosif M A M, Mostafa A M A, Issa S A M, Tekin H O, Alrowaili Z A, Kilicoglu O, 2020, Structural, Mechanical and Radiation Shielding Properties of Newly Developed

- Tungsten Lithium Borate Glasses: An Experimental Study, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 532, Article number 119882.
- Vani P, Vinitha G, Sayyed M I, Elbashir B O, 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.
- Varshneya A K, Mauro J C, 2010, Comment on Misconceived ASTM Definition of Glass by A.C. Wright, *Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology Part A*, 51, 28–30.
- Varshneya A K, Mauro J C, 2019, *Fundamentals of inorganic glass making*, Academic Press, 570p, UK.
- Vedavyas S, Sekhar K C, Ahammed S, Ramadevudu G, Chary M N, Shareefuddin M, 2021, Physical and Structural Studies of Cadmium Lead Boro-Tellurite Glasses Doped with Cu^{2+} Ions, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 3083-3091.
- Wani A L, Ara A, Usmani J A, 2015, Lead Toxicity: A Review, *Interdisciplinary Toxicology*, 8, 55–64.
- Wright A C, 2010, Borate Structures: Crystalline and Vitreous, *European Journal of Glass Science and Technology Part B*, 51, 1-39.
- Yin S, Wang H, Li A, Ma Z, He Y, 2022a, Study on Radiation Shielding Properties of New Barium-Doped Zinc Tellurite Glass, *Materials*, 15, 2117.
- Yin S, Wang H, Wang S, Zhang J, Zhu Y, 2022b, Effect of B_2O_3 on the Radiation Shielding Performance of Telluride Lead Glass System, *Crystals*, 12, Article number 178.
- Zakaly H M H, Saudi H A, Issa S A M, Rashad M, Elazaka A I, Tekin H O, vd., 2021, Alteration of Optical, Structural, Mechanical Durability and Nuclear Radiation Attenuation Properties of Barium Borosilicate Glasses Through BaO

Reinforcement: Experimental and Numerical Analyses, *Ceramics International*, 47, 5587–5596.

Zanotto E D, Mauro J C, 2017, The Glassy State of Matter: Its Definition and Ultimate Fate, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 471, 490–495.

Zhao G, Tian Y, Fan H, Zhang J, Hu L, 2013, Properties and Structures of Bi₂O₃-B₂O₃-TeO₂ Glass, *Journal of Materials Science and Technology*, 29, 209–214.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.tenmak.gov.tr>, 04/04/2021
- 2- <http://www.ualberta.ca>, 20/04/2021
- 3- <http://www.tigermoon.co.uk>, 30/04/2021
- 4- <http://www.webofscience.com>, 15/02/2023
- 5- http://www.schott.com/advanced_optics/english/products/opticalmaterials/special-materials/radiation-shielding-glasses/index.html, 10/07/2022
- 6- http://www.skuld.bmsc.washington.edu/scatter/AS_periodic.html, 06/08/2022

Yayınlar

Uluslararası Hakemli SCI ve SCI-Exp Kapsamlı Yayınlar

A1. Kurtulus, R., Kavas, T., Akkurt, I., Gunoglu, K., An experimental study and WinXCOM calculations on X-ray photon characteristics of Bi₂O₃- and Sb₂O₃- added waste soda-lime-silica glass, *Ceramics International*, vol. 46, 13, pp. 21120-21127, 2020. (Q1)

A2. Kurtulus, R., Kavas, T., Investigation on the physical properties, shielding parameters, glass formation ability, and cost analysis for waste soda-lime-silica (SLS) glass containing SrO, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 176, 2020. (Q1)

A3. Kurtulus, R., Kavas, T., Akkurt, I., Gunoglu, K., Theoretical and Experimental Gamma-rays Attenuation Characteristics of Waste Soda-lime Glass Doped with La₂O₃ and Gd₂O₃, *Ceramics International*, vol. 47, 6, pp. 8432-8440, 2021. (Q1)

A4. Kurtulus, R., Kavas, T., Mahmoud, K. A., Akkurt, I., Gunoglu, K., Sayyed, M. I., Evaluation of gamma-rays attenuation competences for waste soda-lime glass containing MoO₃: Experimental study, XCOM computations, and MCNP-5 results, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 557, 120572, 2021. (Q1)

A5. Kurtulus, R., M. I. Sayyed, Taner Kavas, K.A. Mahmoud, O.L. Tashlykov, Mayeen Uddin Khandaker, D. A. Bradley, A lanthanum-barium-borovanadate glass containing Bi₂O₃ for radiation shielding applications, *Radiation Physics and Chemistry*, 186, 109557, 2021. (Q1)

A6. Kurtulus, C., Kurtulus, R., Kavas, T., Foam glass derived from ferrochrome slag and waste container glass: synthesis and characterization, *Ceramics International*, 2021. (Q1)

A7. Kurtulus, R., Kavas, T., Agar, O., Turhan, M. F., Kacal, M. R., Dursun, I., Akman, F., Study on recycled Er-incorporated waste CRT glasses for photon and neutron shielding, *Ceramics International*, 2021. (Q1)

A8. Kurtulus, R., Kavas, T., Mahmoud, K. A., Akkurt, I., Gunoglu, K., Sayyed, M. I., The effect of Nb₂O₅ on waste soda-lime glass in gamma-rays shielding applications, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 4903-4915, 2021. (Q2)

A9. Kurtulus, R., Kurtulus, C., Kavas, T., Physical, optical, thermal, mechanical, and photon shielding properties of Rb₂O-reinforced SiO₂-Na₂O-CaO-MgO-Al₂O₃ glass system, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 7801-7814, 2021. (Q2)

A10. Nuha Al-Harbi, M. I. Sayyed, Kurtulus, R., Miraç Kamışlıoğlu, Ashok Kumar, Abdullah M.S Alhuthali, Taner Kavas, Yas Al-Hadeethi, Understanding the role of Bi₂O₃ in the P₂O₅-CaO-Na₂O-K₂O glass system in terms of physical, structural and radiation shielding properties, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32: 11649-11665, 2021. (Q2)

- A11. Kurtulus, R., Kavas, T., Akkurt, I., Gunoglu, K., Tekin, H.O., Kurtulus, C., A comprehensive study on novel alumino-borosilicate glass reinforced with Bi_2O_3 for radiation shielding applications: Synthesis, spectrometer, XCOM, and MCNP-X works, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32: 13882-13896, 2021. (Q2)
- A12. Dalal Abdullah Aloraini, M.I. Sayyed, Ashok Kumar, Kurtulus, R., Aljawhara H. Almuqrin, Taner Kavas, Synthesis, structural investigation, mechanical calculations and photon shielding properties of $\text{CaO-K}_2\text{O-Na}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ glass system, *Optical Materials*, 117, 111178, 2021. (Q2)
- A13. Jamila S. Alzahrani, Taner Kavas, Kurtulus, R., I.O. Olarinoye, M. S. Al-Buriahi, Physical, structural, mechanical, and radiation shielding properties of the $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$ glass system, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2021. (Q2)
- A14. M. I. Sayyed, Ashok Kumar, Badriah Albarzan, J. F. M. Jecong, Kurtulus, R., Aljawhara H. Almuqrin, Taner Kavas, Investigation of the optical, mechanical, and radiation shielding features for strontium-borotellurite glass system: Fabrication, characterizations, and EPICS2017 computations, *Optik*, 243, 167468, 2021. (Q2)
- A15. Alothman, M. A., Kurtulus, R., Olarinoye, O. I., Kavas, T., Mutuwong, C., Al-Buriahi, M. S., Optical, elastic, and radiation shielding properties of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ glass system: A role of SnO_2 addition, *Optik*, 248, 168047, 2021. (Q2)
- A16. Jamila S. Alzahrani, Kavas, T., Kurtulus, R., M. S. Al-Buriahi, Evaluations of physical and mechanical properties, and photon attenuation characteristics on lithium-germanate glass containing ZnO, *Optik*, 248, 168078, 2021. (Q2)
- A17. Miysoon A. Alothman, Ateyyah M. Al-Baradi, Samia ben Ahmed, Kurtulus, R., I.O. Olarinoye; Taner Kavas; M.S. Al- Buriahi, Physical, optical, and ionising radiation shielding parameters of $\text{Al(PO}_3)_3$ doped $\text{PbO - Bi}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$ glass system, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32: 27744 - 27761, 2021. (Q2)
- A18. Kurtulus, R., Kavas, T., Kavaz, E., Tekin, H.O., Kurucu, Y., Synthesis and characterization of waste CRT glasses through physical, optical and structural properties: A comprehensive study on recycling, *Optik*, 248, 168167, 2021. (Q2)
- A19. Akkurt, I., Gunoglu, K., Kurtulus, R., Kavas, T., X-ray shielding parameters of lanthanum oxide added waste soda-lime glass, *X-Ray Spectrometry*, 50 (3), 168 - 179, 2021. (Q3)
- A20. Kurtulus, R., Kavas, T., Mahmoud, K. A., Sayyed, M. I., A comprehensive examination of zinc-boro-vanadate glass reinforced with Ag_2O in physical, optical, mechanical, and radiation shielding aspects, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127, 97, 2021. (Q3)

- A21. Kavas, T., Kurtulus, R., Mahmoud, K. A., Sayyed, M. I., Akkurt, I., Gunoglu, K., Radiation shielding competencies for waste soda-lime-silicate glass reinforced with Ta₂O₅: Experimental, computational, and simulation studies, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127, 164, 2021. (Q3)
- A22. M. I. Sayyed, Aljawhara H. Almuqrin, Kurtulus, R., Abigaile Mia V. Javier-Hila, Kawa Kaky, Kavas Taner, X-ray shielding characteristics of P₂O₅-Nb₂O₅ glass doped with Bi₂O₃ by using EPICS2017 and Phy-X/PSD, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127, 243, 2021. (Q3)
- A23. Kurtulus, R., Kavas, T., Akkurt, I., Gunoglu, K., A significant study for radiation shielding applications: synthesis of waste CRTs-derived glass systems containing CoO, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127:737, 2021. (Q3)
- A24. Sayyed, M. I., Kurtulus, R., Olarinoye, O. I., Almuqrin, A. H., Kumar, A., Kavas, T., Mechanical and photon shielding aspects of PbO-BaO-WO₃-Na₂O-B₂O₃ glass systems, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127:747, 2021. (Q3)
- A25. Sayyed, M. I., Kurtulus, R., Balderas, C. V., Kavas, T., Almuqrin, A. H., X-ray shielding behavior of TeO₂-Li₂O-GeO₂-ZnO-Bi₂O₃ glass system using EPICS2017 library and Phy-X software, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 127:757, 2021. (Q3)
- A26. Kavas T., Kurtulus, R., Kurtulus, C., Partial Clinker Replacement by Calcined Clays for Green Cement Production, *Emerging Materials Research*, 10 (2), 145-150, 2021. (Q4)
- A27. Kurtulus, R., Kavas, T., Gayret, A., Biceroglu, D., Physical, optical, and radiation shielding features of CeO₂-reinforced Li₂O-ZnO-SiO₂ glass, *Emerging Materials Research*, 2021. (Q4)
- A28. Kuluozturk, Z. N., Kurtulus, R., Demir, N., Kavas, T., Barium-lead-borosilicate glass containing lanthanum oxide: fabrication, physical properties, and photon shielding characteristics, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 128:166, 2022. (Q2)
- A29. Kavas, T., Sultan J. Alsufyani, Z.A. Alrowaili, Abdulaziz N. Alharbi, Kurtulus, R., Oyeleke Olarinoye, M.S. Al-Buriahi, Influence of iron (III) oxide on the optical, mechanical, physical, and radiation shielding properties of sodium-barium-vanadate glass system, *Optik*, 257: 168844, 2022 (Q2).
- A30. M. I. Sayyed, Kurtulus, R., Kavas, T., Impact of La₂O₃ reinforcement on the mechanical, and photon shielding properties of La₂O₃-B₂O₃ glass, *Optik*, 258: 168923, 2022. (Q2)
- A31. Kurtulus, R., M.S. Buriahi, Shams A. M. Issa, H.O.Tekin, T. Kavas, E. Kavaz, Physical, Structural, Mechanical and Radiation Shielding Features of Waste Pharmaceutical Glasses doped with Bi₂O₃, *Optik*, 261: 169108, 2022. (Q2)

A32. M. S. Al-Buriahi, Kavas, T., Kavaz, E., Kurtulus, R., Olariño, Recycling potential of cathode ray tubes (CRTs) waste glasses based on Bi₂O₃ addition strategies, *Waste Management*, Vol. 148, pp. 43-49, 2022. (Q1)

A33. Kurtulus, R., Kavas, T., Toplan, HO, Akkurt, I., High-density and transparent borotellurite glass system against ionizing radiation: Fabrication and extensive characterization studies, *Ceramics International*, 2023. (Q1)

A34. Kurtulus, R., Kavas, T., M. S. Al-Buriahi, A transparent bismo-borosilicate glass against ionizing photons: synthesis and physical, structural, optical, and radiation shielding properties, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(8), 740, 2023. (Q3)

Uluslararası Diğer Endeksler Kapsamlı Hakemli Yayınlar

B1. Kurtulus, C., Kurtulus, R., Surface Modification of Anhydrous Borax with Stearic Acid by Wet Coating Method, *Journal of Characterization*, Vol 1(1), 1-9, 2021. (Diğer endeksler)

B2. Kurtulus, C., Kurtulus, R., Synthesis Of Wollastonite from Boron Waste and Glass Scraps By Solid-State Reaction, *Journal of Characterization*, Vol 1(1), 26-33, 2021. (Diğer endeksler)

B3. Kurtulus, R., Kavas, T., Calculation of LAC and HVL values of newly developed barium-borotellurite glass containing different heavy metal oxides using Phy-X/PSD, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, Vol 28 (7), 971-976, 2022. (ESCI)

Ulusal Hakemli Yayınlar

C1. Kursunlu, B., Isik, I., Aktas, H., Kurtulus, R., Effects of right refractory material selection on tableware glass production efficiency, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 19, pp. 180-187, 2019. (TR-Dizin)

C2. Kurtulus, R., Kavas, T., An investigation on usability of waste container glass with Gd₂O₃ and La₂O₃ addition in radiation shielding applications, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 19, 219-224, 2019. (TR-Dizin)

C3. Kurtulus, R., Uz, V., Increasing the tableware glass quality by substituting CeO₂ in place of Sb₂O₃, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı, 19, 238-246, 2019. (TR-Dizin)

C4. Kurtulus, R., Kavas, T., Gamma Ray Shielding Characteristics of Borosilicate Glass Containing ZnO from 0.015 to 10 MeV, *Cumhuriyet Science Journal*, 41(4), 976-986, 2020. (TR-Dizin)

C5. Kurtulus, R., Kavas, T., The role of B₂O₃ in lithium-zinc-calcium-silicate glass for improving the radiation shielding competencies: A theoretical evaluation via Phy-X/PSD, *Journal of Boron*, 6(1), 234-242, 2021. (TR-Dizin)

Uluslararası Kongre, Konferans, Sempozyum, vb. Katılımları

D1. Kavas T., Kurtulus R., Er M., Assessment of Mechanical Properties in Portland Cement by Optical Microscopy and Numerical Color Analysis, *IVth International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress*, 10-12 October 2018, Eskisehir-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D2. Kavas T., Kurtulus R., Coskun E., Investigation of Technical Properties in Bricks by Using Color Image Analysis, *IVth International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress*, 10-12 October 2018, Eskisehir-Turkey (Poster Sunum, Özet Bildiri)

D3. Kavas T., Kurtulus R., Production of Foam Glass by Waste Glass and Boron Mineral, *International Symposium on Boron 2019*, 17-19 April 2019, Nevsehir-Turkey, (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D4. Kavas T., Kurtulus R., Durgun A., Kumru C., Ceramic Filter Production by Using Calcium Aluminate Cement for Molten Metal Filtration, *3th Mediterranean International Congress on Natural Sciences, Health Sciences and Engineering*, 16-18 June 2019, Montenegro (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

D5. Kurtulus, R., Kavas, T., Fabrication of Foamed Glass by Valorization of Ferrochromium Slags and Flint Container Glass Waste, *International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology*, 23-25 October 2019, Afyonkarahisar-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D6. Kurtulus, R., Kavas, T., Utilization of Different Waste Glasses to Fabricate Foamed Glasses, *International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology*, 23-25 October 2019, Afyonkarahisar-Turkey (Poster Sunum, Özet Bildiri)

D7. Kurtulus, R., Kavas, T., Gayret, A., Biceroglu, D., Physical, optical, and radiation shielding features of CeO₂-reinforced Li₂O-ZnO-SiO₂ glass, *7th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering*, Isparta, 2020 (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

D8. Kavas, T., Kurtulus, C., Kurtulus, R., An investigation on the utilization of waste bricks in Afyonkarahisar/Turkey region for porous geopolymer production, *7th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering*, Isparta, 2020 (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

D9. Kurtulus, R., M. I. Sayyed, Taner Kavas, K.A. Mahmoud, Mayeen Uddin Khandaker, D. A. Bradley, A lanthanum-barium-borovanadate glass containing Bi_2O_3 for radiation shielding applications, *3rd International Forum on Advances in Radiation Physics (IFARP3)*, 24-25 February 2021, Kuala Lumpur-Malaysia (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

D10. Kurtulus, C., Barin, S., Kurtulus, R., Baspinar, M.S., Guraksin, G. E., Kavas, T. An attempt to estimate the porosity of the waste-derived foam-glass by using image-processing analysis, *3rd Int'l Conference on Natural and Applied Science and Engineering (ICNASEN)*, 16-17 April 2021, Isparta-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D11. Akkurt, I., Kavas, T., Gunoglu, K., Kurtulus, R., Linear attenuation coefficient of barium oxide-added waste soda lime silicate glass, *3rd Int'l Conference on Natural and Applied Science and Engineering (ICNASEN)*, 16-17 April 2021, Isparta-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D12. Kurtulus, R., Kavas, T., The impact of ZnO for enhancing the physical and photon shielding properties of $\text{Sb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-Gd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ glass, *5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS)*, 2-6 August 2021, Sarajevo-Bosnia (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D13. Kurtulus, C., Kurtulus, R., Kavas, T., An essential study for greener materials: foam glass fabrication using different glass wastes and blast furnace slag, *5th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS)*, 2-6 August 2021, Sarajevo-Bosnia (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D14. Kavaz, E., Armoosh, S.R., Oltulu, M., Kurtulus, R., Kavas, T., Investigation of photon protection ability of iron and brass inserted polymer composites, *1st Int'l Congress on Natural Sciences (ICNAS)*, 10-12 September 2021, Erzurum-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D15. Kurtulus, R., Kavas, T., Calculations on linear attenuation coefficient and fast neutron removal cross-section for $\text{B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ glass system via Phy-X/PSD, *Vth International Ceramic, Glass, Porcelain, Enamel, Glaze and Pigment Congress (SERES21)*, 13-15 October 2021, Eskisehir-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D16. Kurtulus, R., Kurtulus, C., Ciftci, H., Kavas, T., The impact of particle size on physical and mechanical properties in waste-derived glass foams, *1st Int'l Symposium on Characterization (ISC21)*, 8-9 October 2021, Afyonkarahisar-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D17. M.I. Sayyed, C.V. Balderas, Kurtulus, R., Taner Kavas, Mayeen Uddin Khandaker, On the study for $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-TiO}_2\text{-ZnO-Na}_2\text{O}$ glass containing Pr_2O_3 in radiation shielding applications: Theoretical computations via EPICS2017, *15th Int'l Symposium on Radiation Physics (ISRP21)*, 6-10 December 2021, Kuala Lumpur-Malaysia (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

D18. Kurtulus, R., Kavas, T., Synthesis and characterization of B_2O_3 - TeO_2 - Bi_2O_3 glass system for radiation protection applications, *4th Int'l Conference on Natural and Applied Science and Engineering (ICNASEN)*, 6-8 May 2022, Nevsehir-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D19. Kurtulus, R., Kurtulus, C., Kavas, T., A sustainable approach for radiation protection applications: synthesis and characterization of waste bricks bottom ash involving Bi_2O_3 , *Int'l Conf. On Radiation Applications*, 6-10 June 2022, Thessaloniki-Greece (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D20. Kurtulus, R., Kavas, T., Characterization studies on waste amber-colored container bottle glass collected from Cape Town, South Africa, *2nd Int'l Symposium on Characterization*, 22-25 September 2022, Afyonkarahisar-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D21. Kavas, T., Toplan, HO, Akkurt, I., Gunoglu, K., Kurtulus, R., Iplikcioglu, M., Some theoretical radiation shielding calculations via Phy-X/PSD for investigating the effect of doping Gd_2O_3 into a barium-calcium-boro-silicate glass system, *9th International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2022)*, 28-31 October 2022, Antalya-Turkey (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D22. Kurtulus, R., Kavas, T., Radyasyondan korunma malzemesi olarak çinko oksit ile güçlendirilmiş atık borosilikat camın kullanımı, *1. Kocatepe Mühendislik Bilimleri Öğrenci Sempozyumu*, 30 Mayıs - 1 Haziran 2022, Afyonkarahisar-Türkiye (Sözlü Sunum, Tam Metin Bildiri)

D23. Kurtulus, R., Kavas, T., Estimating the Radiation Protection Characteristics of Newly-developed Borosilicate Glass Containing Different Bi_2O_3 Additions with Insights from Theoretical Computations via Phy-X, *XI. Uluslararası Katılımlı Seramik Kongresi*, 21-23 Kasım 2022, Afyonkarahisar-Türkiye (Sözlü Sunum, Özet Bildiri)

Projeler

E1. Yeni Nesil Kurşunsuz Radyasyon Zırhlıyıcı Cam Malzemelerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, 121M096, TÜBİTAK, 1005 – Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler, 300.000 TL, Araştırmacı, 06.2021 – 04.2023

E2. Farklı Ağır Oksitler ile Katkılandırılmış B_2O_3 - TeO_2 Cam Sisteminin Yapısal, Optik ve Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi, 20.FEN.BİL.52, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 43.819 TL, Araştırmacı, 12.2020 – 03.2023

E3. Medikal Uygulamalardan Yayılan Radyasyonu Kalkanlamak Amaçlı Yenilikçi Cam Malzemelerin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu, 21.MUH.03, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 29.939 TL, Araştırmacı, 12.2021 – 05.2023

E4. PbO ve Bi₂O₃ Katkılı Baryum-sodyum-silikat Camların Fiziksel, Optik, Mekanik, Isısal ve Gama Zırhlama Özelliklerinin Belirlenmesi, BEBAP.2021.19, Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 29.700 TL, Araştırmacı, 12.2021 – 05.2023

Ödüller ve Başarılar

F1. En İyi Sözlü Sunum Ödülü, *15th Int'l Symposium on Radiation Physics (ISRP21)*, 6-10 December 2021, Kuala Lumpur-Malaysia

F2. TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) 2211-C Yurtiçi Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Bursiyeri (10.2021 – 03.2023)

F3. Afyon Kocatepe Üniversitesi 2022 Yılı Genç Bilim ve Sanat İnsanı Ödülü

Atıflar, h-indeksi ve i10-indeksi

G1. Atıflar: 555 (Google Scholar)

G2. Atıflar: 386 (Web of Science)

G3. h-indeksi: 15 (Google Scholar)

G4. h-indeksi: 13 (Web of Science)

G5. i10-indeksi: 23 (Google Scholar)