

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**NANO-BOR KATKILI KOMPOZİTLERİN
NÖTRON VE GAMA RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Şerife Gözde İRİM

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANO-BOR KATKILI KOMPOZİTLERİN
NÖTRON VE GAMA RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Şerife Gözde İRİM

FİZİK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**Bu tez Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)
tarafından 213M500 nolu proje ile desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO-BOR KATKILI KOMPOZİTLERİN
NÖTRON VE GAMA RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Şerife Gözde İRİM

FİZİK

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 28/06/2018 tarihinde jüri tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

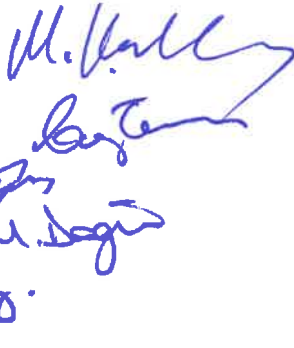
Doç. Dr. Mesut KARAKOÇ

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN

Doç. Dr. Edip BAYRAM

Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

Prof. Dr. Metin ORBAY



ÖZET

NANO-BOR KATKILI KOMPOZİTLERİN NÖTRON VE GAMA RADYASYON SOĞURMA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Şerife Gözde İRİM

Doktora Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mesut KARAKOÇ

Haziran 2018; 105 sayfa

Nükleer uygulamalarda radyasyondan korunmanın en önemli yolu önlem alınacak radyasyona uygun zırhlama materyallerinin kullanılmasıdır. Radyasyondan daha sağlıklı korunmak için daha etkin, mevcut zırhlama materyallerine alternatif olabilecek, farklı zırhlama materyalleri üzerinde yapılan çalışmalar son zamanlarda artmıştır.

Bu çalışmada, nötron ve gama radyasyonun engellenmesinde ve nötronun soğurulması sürecinde oluşabilecek gama ışınlarının soğurulmasının gerekli olduğu nükleer ortamlarda rahatlıkla kullanılabilir, iki ana matris yapıda (yüksek yoğunluklu polietilen ve poliimid) farklı yüzdelerde h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ nano parçacıklar içeren nano kompozitler tasarlanıp üretilmiştir. Bunun için öncelikle, ark deşarj ve öğütme yöntemiyle BN, B₄C ve Gd₂O₃ nano yapılar elde edilmiştir. Üretilen nano parçacıkların özellikleri SEM ve TEM görüntüleri, XRD, EDX ve Raman teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Farklı yapılar ve yüzdelerde üretilen nano kompozitlerin nötron ve gama radyasyonu soğurma özelliklerinin yanı sıra [toplam makroskobik etki tesir kesiti (Σ , cm⁻¹) ve kütle soğurma katsayısı (μ/ρ , cm²g⁻¹)] mekanik özellikleri de [çekme dayanımı (MPa), kopmada uzama (%), elastik modül (MPa) ve sertlik (Shore D) vb.] araştırılmıştır.

Ana matris ve katkı miktarlarına bağlı olarak kompozitlerin nötron ve gama soğurma katsayıları değişiklik göstermektedir. Nötron ve gama radyasyonunu en iyi soğuran kompozitlerin (BN+Gd₂O₃)/PI ve (B₄C+Gd₂O₃)/YYPE olduğu görülmüştür. Öyle ki (%11 BN+%3 Gd₂O₃)/PI kompozitin toplam makroskobik etki tesir kesiti 0,4052 cm⁻¹ olarak bulunmuş ve ortalama 2 cm örnek kalınlığında ortalama %90-95'ler seviyesinde nötronları soğurmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Bor, Gama, Nano kompozit, Nötron, Radyasyon zırhlama.

JÜRİ: Doç.Dr. Mesut KARAKOÇ

Prof.Dr. İsmail BOZTOSUN

Prof.Dr. Mahmut DOĞRU

Prof.Dr. Metin ORBAY

Doç. Dr. Edip BAYRAM

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF NEUTRON AND GAMMA SHIELDING PROPERTIES OF COMPOSITES CONTAINING NANO BORON

Şerife Gözde İRİM

PhD Thesis in Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mesut KARAKOÇ

June 2018; 105 pages

The most important way of radiation protection is the use of appropriate shielding materials in nuclear applications. For an effective protection from nuclear radiations, studies on different shielding materials to be an alternative for the traditional ones have increased recently.

In this study, production of a novel shielding material that can be used easily in the nuclear environments providing shielding of neutron radiation and gamma rays that result from neutron adsorption process were produced. They are the nano composites with two main matrix structures such as high density polyethylene, HDPE and polyimide, PI, having different weight fraction of h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ nano particles. For this, firstly, h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ nano structures were synthesized by arc-discharge and ball milling methods. The properties of nano particles produced were analysed using SEM and TEM imaging, XRD, EDX and Raman techniques. The neutron and gamma shielding [total macroscopic cross-section (Σ , cm⁻¹) and mass attenuation coefficient (μ/ρ , cm²g⁻¹)] and mechanical properties [tensile strength (MPa), elongation at break (%), elastic modulus (MPa) and hardness] of nano composites with different structure and compositions were investigated.

The results show that, the best shield materials for neutron and gamma shielding are (BN+Gd₂O₃)/PI and (B₄C+Gd₂O₃)/HDPE nano composites so that the macroscopic cross section (Σ) of (11%BN+3%Gd₂O₃)/PI composite was as high as 0,4052 cm⁻¹ and an average of 90% of neutrons was absorbed in samples having 2 cm average thickness.

KEYWORDS: Boron, Gamma, Nano composite, Neutron, Radiation shielding.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Mesut KARAKOÇ

Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN

Prof. Dr. Mahmut DOĞRU

Prof. Dr. Metin ORBAY

Assoc. Prof. Dr. Edip BAYRAM

ÖNSÖZ

Son yıllarda ve günümüzde artarak devam eden yeni enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç birçok bilim insanını nükleer enerji alanında çalışmaya yoğunlaştırmıştır. Bununla birlikte nükleer ortamın güvenliği hususunda yeni araştırmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Nükleer güç reaktörleri (örn: atık yakıt taşınmasında ve depolanmasında, yakıtı yeniden işleme tesislerinde), sağlık sektörü (örn: girişimsel radyoloji) ve hava-uzay endüstrisinde (örn: uzay mekiklerinin ve uyduların kozmik radyasyona karşı zırhlanması) radyasyondan korunmanın en önemli yolu (zaman ve mesafe haricinde) uygun zırhlama malzemelerinin kullanılmasıdır. Bu tez çalışmasında, nükleer radyasyona (nötron, gama) karşı etkin koruma sağlayabilecek ve mevcut kullanılan zırh malzemelerine alternatif olabilecek, yeni bir radyasyon zırhlama malzemeleri üretilmiştir. Bunun için ana matris malzemesi olarak kullanılacak olan polietilen ve poliimid içerine nano boyutta BN, B₄C ve Gd₂O₃ partiküller ilave edilerek nano-kompozit malzemeler elde edilmiştir. Üretilen malzemelerin, nükleer radyasyona (nötron, gama) karşı zırhlama özelliklerinin yanı sıra mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri de incelenmiştir. Özellikle radyasyon (nötron) soğurucu malzemeler üzerine yapılan çalışmalarda geleceğe yönelik önemli bulgular elde edilmiştir. Çünkü mevcut radyasyon zırhlama materyallerine alternatif olabilecek teknolojik ve çok fonksiyonlu soğurucu materyallerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda hız kazanmış ve hatta üretilen bazı malzemelerin saha da kullanılmaya (özellikle, sağlık ve hava-uzay alanlarında) başlandığı görülmüştür. Tamamlanan bu proje ülkemizde bu alanlarda yapılması planlanan benzer çalışmalara yol gösterecek, sahada kullanılacak daha iyi ürünlerin üretilmesine öncülük edecektir.

Doktora eğitimim sürecinde her zaman yanımda olan ve bilgilerini her daim paylaştan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mesut KARAKOÇ'a (Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü),

Yapılan tez konusunun belirlenmesinde, yürütülmesinde yardımcı olan ve doktora eğitimi süresinde bilgilerini paylaştan, çalışma konusunda her zaman teşvik eden değerli ikinci danışman hocam Prof. Dr. Oktay BAYKARA'ya (Fırat Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fen Bilimleri),

Tez çalışmaları süresince fikir ve tecrübelerini esirgemeyen tez komitesi üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. İsmail BOZTOSUN'a (Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü) ve Doç. Dr. Edip BAYRAM'a (Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü), programlama konusunda bilgilerini paylaştan Can ERTUĞAY'a (Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü)

Ark-deşarj yöntemiyle nano yapıların sentezlenmesi ve üretimi aşamasında bilgilerini paylaştan deneysel ortamın oluşturulmasına imkân sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Ahmet AVCI'ya, deney çalışmaları sırasında destek veren Mustafa Aker KESKİN'e (Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü),

Deneysel çalışmaların ikinci aşaması olan nano kompozitlerin üretilmesi ve üretilen bu malzemelerin mekaniksel testlerinin analiz edilmesi çalışmaları boyunca akademik yardımlarını esirgemeyen ve laboratuvar desteği sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Güralp ÖZKOÇ'a, deney çalışmalarında yardımını esirgemeyen Abdoulmounem

ALCHEKHWIS'e (Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü)

Nötron soğurma deneylerinin yapım aşamasında teknik desteklerinden dolayı M. Sahip KIZILTAŞ'a (İTÜ Enerji Enstitüsü İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma laboratuvarı Yüksek Mühendis),

Tez çalışması boyunca maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a (Proje Kodu: 213M500),

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen sevgili ailem ve değerli eşim İlhan İRİM'e,

çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Radyasyonun Tanımı ve Radyasyon Tipleri	4
2.1.1. Alfa bozunumu	4
2.1.2. Beta bozunumu	5
2.1.3. Gama bozunumu	5
2.1.4. Nötronlar	6
2.2. Gama Işınlının Madde ile Etkileşmesi	8
2.2.1. Fotoelektrik etkileşimler	8
2.2.2. Compton etkileşimleri	9
2.2.3. Çift oluşum	10
2.3. Nötronların Madde İle Etkileşimi	10
2.3.1. Esnek saçılma etkileşimi	10
2.3.2. Esnek olmayan saçılma etkileşimi	11
2.3.3. Yakalama reaksiyonları	11
2.4. Nötronun Soğrulması	12
2.5. Radyasyon Ölçüm Araçları	13
2.5.1. Gazlı sayaçlar	13
2.5.2. Sintilasyon dedektörleri/Spektrometreler	14

2.5.3. Yarıiletken dedektörler	15
2.6. Nanoteknoloji	16
2.7. Nanoteknolojinin Radyasyon Zırhlama Üzerindeki Avantajları	16
2.8. Radyasyon Zırhlamada Uygun Malzeme Seçimi	17
3. MATERYAL VE METOT	22
3.1. Materyal	22
3.2. Yöntem	22
3.2.1. Ark-Deşarj yöntemiyle nano yapıları tozların üretilmesi	22
3.2.2. Yüksek yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Poliimid (PI) esaslı h-BN, B ₄ C ve Gd ₂ O ₃ katkıları nano kompozitlerin üretilmesi	24
3.2.3. Nano kompozitlerin nötron, gama soğurma karakterizasyonları	28
4. BULGULAR	34
4.1. Üretilen Nano Yapılı Tozların Karakterizasyonu	34
4.1.1. Bor nitrid nano plateletlerin (nano disk, h-BN) karakterizasyonu	34
4.1.2. Bor karbür (B ₄ C) nano partiküllerin karakterizasyonu	36
4.1.3. Gadolinyum oksit (Gd ₂ O ₃) nano partiküllerin karakterizasyonu	39
4.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Poliimid (PI) Tabanlı h-BN, B ₄ C ve Gd ₂ O ₃ Katkıları Nano Kompozitlerin Karakterizasyonu	42
4.2.1. Morfoloji	42
4.2.2. Mekanik Özellikler	44
4.2.3. Termal Özellikler	51
4.3. Nano Kompozitlerin Nötron ve Gama Radyasyon Soğurma Özellikleri	54
4.3.1. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri	54
4.3.2. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri	61
4.3.3. h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri	65
4.3.4. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri	69
4.4. Üretilen Nano Kompozitlerin Gama Radyasyon Soğurma Özellikleri	74
4.4.1. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri	75
4.4.2. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /YYPE Nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri	77
4.4.3. h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri	78
4.4.4. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri	80

5. TARTIŞMA	82
5.1. Mekanik Testlerin Karşılaştırılması	82
5.1.1. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin mekanik karakterizasyonlarının karşılaştırılması.....	82
5.1.2. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin mekanik karakterizasyonlarının karşılaştırılması.....	83
5.1.3. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin mekanik sonuçlarının karşılaştırılması	85
5.2. Üretilen Nano Kompozitlerin Nötron ve Gama Soğurma Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	86
5.2.1. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/YYPE kompozitlerin nötron ve gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması	87
5.2.2. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/PI kompozitlerin nötron ve gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması	90
5.2.3. (BN+Gd ₂ O ₃)/YYPE ile (BN+Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin Gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması	94
5.2.4. (%11BN+%3Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitin nötron geçirgenlik eğrilerindeki değişimlerin kalınlığa bağlı olarak tekrar incelenmesi	96
5.2.5. (%11BN+%3Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitin 2,5-3-3,5 cm kalınlıklar için farklı numuneler üzerine yapılan deneysel çalışmalar	98
6. SONUÇLAR	100
7. KAYNAKLAR	102

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Nano-Bor Katkılı Kompozitlerin Nötron Ve Gama Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

Şerife Gözde İRİM

28/06/2018

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C : Karbon

H : Hidrojen

P : Fosfat

Ba : Baryum

Co : Kobalt

U : Uranyum

Cs : Sezyum

Mn : Mangan

PI : Poliimid

Be : Berilyum

Cd : Kadminyum

YYPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen

BN : Bor Nitrür

B₄C : Bor Karbür

Gd₂O₃ : Gadolinyum Oksit

Th : Toryum

Br₂ :Bromür

IBr : İyot Bromit

PMMA: Polimetilmetakrilat

PMP : Poly(4-metil-penten)

VC : Camlı kolemanit

LDPE : Düşük Yoğunluklu Polietilen

MMT : Montmorillonit

PVDF : Poly(viniliden florür)

CuO	: Bakıroksit
γ	: Gama Işını
α	: Alfa Parçacığı
β^+	: Pozitif Beta Parçacığı
β^-	: Negatif Beta Parçacığı
λ	: Dalga Boyu
n	: Nötron parçacığı
p	: Proton parçacığı
e	: Elektron parçacığı
Z	: Atom Numarası
A	: Kütle numarası
e	: Elektron volt
keV	: Kilo Elektron Volt
MeV	: Mega Elektron Volt
Σ	: Makraskobik Etkileşme Tesir Kesiti
μ	: Kütle Soğurma Katsayısı
ρ	: Yoğunluk
σ	: Etkileşme Tesir Kesiti
$t_{1/2}$	: Yarı ömür
μs	: Mikrosaniye
nm	: Nanometre
MPa	: Mega Pascal

Kısaltmalar

İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
MAM	:Tübitak Marmara Araştırma Merkezi

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM : Geçirimli Elektron Mikroskobu
EDX : Enerji Yayınımlı X-ışını Analizi
XRD : X-ışını Kırınımı
GCR : Galaktik Kozmik Işımlar
SPE : Solar Parçacık Olayları
PM : Fotokatot
CNTs : Karbon Nano Tüp
BNNTs: Bor Nitrür Nano Tüp
DSC : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
C_p : Isı Kapasitesi
NH-3 : Nötron Howitzer
BKGR : Background
NaI(Tl): Talyum Katkılı Sodyum İyodür Dedektörü
Ge(Li) : Germanyum ve Lityum Katkılı Dedektör

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Gama ışınlarının enerjisine göre madde ile etkileşmesinde meydana gelen olaylar (Krane 2011).....	8
Şekil 2.2. Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi (Martin 2013)	9
Şekil 2.3. Serbest bir elektron ile compton çarpışması(Martin 2013)	9
Şekil 2.4. Çift oluşum(Martin 2013).....	10
Şekil 2.5. Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması (Şahin L. 2013)	11
Şekil 2.6. Nötronun inelastik saçılması (Şahin L. 2013)	12
Şekil 2.7. Nötron yakalanması (Şahin L. 2013).....	12
Şekil 2.8. Puls yüksekliğinin uygulanan voltaja göre değişimi (Tsoulfanidis 1995).....	13
Şekil 2.9. Fotoçoğaltıcı tüpe bağlı sintilasyon dedektörü(Martin 2013)	15
Şekil 3.1. Ark-deşarj deney düzeneğinin şematik görünümü(Eskizeybek 2012)	23
Şekil 3.2. Mikro-harmanlayıcı ve mikro-enjeksiyon kalıplama cihazının kullanım aşamaları a)Belirlenen kompozisyondaki örneklerin besleme hunisi ile mikro-harmanlayıcıya aktarımı; b)Belirlenen ekstrüzyon şartlarında harmanların hazırlanması;c) Harmanlama işlemi sonrası elde edilen eriyiğin mikro-kalıplama cihazı transfer silindirine aktarılması;d)Belirlenen basınç profilinde harmanların kalıplanması (Karagöz 2012)	24
Şekil 3.3. a) Çekme dayanımı; b) Darbe dayanımı; c) Nötron-gama radyasyonu soğurma deneyleri için hazırlanan örnekler.....	25
Şekil 3.4. Sertlik testi cihazı	25
Şekil 3.5. Çekme test cihazı(Kodal 2014)	26
Şekil 3.6. Darbe testlerinin şematik çizimi; a) Hareketli sarkaç; örnek pozisyonu;	

b) Charpy testi; c) Izod testi (Kodal 2014)	26
Şekil 3.7. DSC hücresinin kesit alanı;1- Örnek ve referans örnek için yükseltilmiş platform; 2- Kromel ısıt eleman (thermocouple); 3- Bakır ve nikel alaşımından (konstantan) oluşan gövde, 4- Kromel-konstantan ısıt eleman; 5-Gümüş fırın.....	27
Şekil 3.8. Bir polimer örneği için tipik bir DSC eğrisi	27
Şekil 3.9. Nötron soğurma deneylerinde kullanılan deney setinin şematik görünümü ..	28
Şekil 3.10 . Nötron Howitzer-3 kaynağının nötron enerjisi-nötron akısı dağılımı (Yiğit 1996).	29
Şekil 3.11. İTÜ Enerji Enstitüsünde nötron geçirgenlik deneylerinde kullanılan deney düzeneği	29
Şekil 3.12. a) Kolimatörün kesit; b) Gerçek görüntüleri.....	30
Şekil 3.13. Gama soğurma deneylerinin kesit geometrisi.....	33
Şekil 3.14. Gama soğurma deneyleri	33
Şekil 4.1. a) h-BN SEM görüntüsü; b) TEM görüntüler	34
Şekil 4.2. h-BN EDX sonuçları	35
Şekil 4.3. h-BN XRD pikleri.....	36
Şekil 4.4. a) Öğütme yöntemiyle; b) Ark deşarjla üretilen B ₄ C'lerin SEM görüntüleri	37
Şekil 4.5. a) Öğütme yöntemiyle; b) Ark deşarjla üretilen B ₄ C'lerin TEM görüntüleri	37
Şekil 4.6. B ₄ C'nin XRD pikleri	38
Şekil 4.7. Ball milling cihazıyla 96 saat boyunca hava ortamında üretilen nano boyutta borkarbür partiküllerin XRD grafiği (Mortensen ve diğ. 2006).....	38

Şekil 4.8. a) Üretilen; b) Literatürdeki B₄C'nin Raman Spektrumları	39
Şekil 4.9. Gd₂O₃'in a) SEM; b) TEM görüntüleri	40
Şekil 4.10. a) Üretilen; b) literatürdeki Gd₂O₃ nano partiküllerin XRD pikleri	41
Şekil 4.11. a) Üretilen; b) literatürdeki Gd₂O₃ Raman sonuçları	42
Şekil 4.12. h-BN/YYPE kompozitlerinin SEM fotoğrafları: %3 h-BN	42
Şekil 4.13. Gd₂O₃/h-BN/YYPE kompozitlerinin SEM fotoğrafları (h-BN: %5):	
a) %2 Gd₂O₃; b) %3 Gd₂O₃	43
Şekil 4.14. %11BN/%3 Gd₂O₃/%86PI kompozitlerinin SEM fotoğrafları	43
Şekil 4.15. %11 B₄C/%3 Gd₂O₃/%86 PI kompozitlerinin SEM fotoğrafları	43
Şekil 4.16. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde çekme dayanımının h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	44
Şekil 4.17. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde kopmada uzamanın hBN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	44
Şekil 4.18. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde sertliğin h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	45
Şekil 4.19. B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde çekme dayanımının B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	45
Şekil 4.20. B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde kopmada uzamanın B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	46
Şekil 4.21. B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerde sertliğin B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi	46
Şekil 4.22. h-BN/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi	47

Şekil 4.23. h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI kompozitlerinde kopmadaki uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi	48
Şekil 4.24. h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI kompozitlerinde darbe dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi	48
Şekil 4.25. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /PI kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi	49
Şekil 4.26. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /PI kompozitlerinde kopmada uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi	49
Şekil 4.27. B ₄ C/Gd ₂ O ₃ /PI kompozitlerinde elastik modülün dolgu türü ve miktarına göre değişimi	50
Şekil 4.28. Gd ₂ O ₃ /B ₄ C/PI kompozitlerinde darbe dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi	50
Şekil 4.29. Gd ₂ O ₃ /B ₄ C/PI kompozitlerinde sertliğin dolgu türü ve miktarına göre değişimi	51
Şekil 4.30. Saf YYPE ve seçilmiş kompozitlerin DSC termogramları	51
Şekil 4.31. Seçilmiş B ₄ C ve Gd ₂ O ₃ içerikli kompozitlerin DSC termogramları	52
Şekil 4.32. Saf PI ve seçilmiş kompozitlerin DSC termogramları	53
Şekil 4.33. (%3-11 h-BN/%1 Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği	55
Şekil 4.34. (%3-11 h-BN/%2Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği	56
Şekil 4.35. (%3-11 h-BN/%3Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği	56
Şekil 4.36. %3 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri	57

Şekil 4.37. %5 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri.....	57
Şekil 4.38. %7 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri.....	58
Şekil 4.39. %11 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri.....	58
Şekil 4.40. a) %3 BN; b) %5 BN; c) %7 BN; d) %11 BN kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak gama geçirgenlikleri.....	60
Şekil 4.41. (%3-7-11 B_4C+%1Gd_2O_3)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği	61
Şekil 4.42. (%3-7-11 B_4C+%3 Gd_2O_3)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği	62
Şekil 4.43. %3 B_4C katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	63
Şekil 4.44. %7 B_4C katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	63
Şekil 4.45. %11 B_4C katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	63
Şekil 4.46. a) %3 B_4C; b) %7 B_4C; c) %11 B_4C kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak gama ışını geçirgenlikleri	65
Şekil 4.47. (%3-%7-%11BN+%1Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri.....	65
Şekil 4.48. (%3-%7-%11BN+%2 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri.....	66

Şekil 4.49. (%3-7-11BN+%3 Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri.....	66
Şekil 4.50. %3 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	67
Şekil 4.51. %7 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	67
Şekil 4.52. %11 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	68
Şekil 4.53. a) %3 BN; b) %7 BN; c) %11 BN kompozitlerin Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı olarak gama geçirgenlikleri	69
Şekil 4.54. (%3-7-11B ₄ C+%1Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri.....	70
Şekil 4.55. (%3-7-11 B ₄ C +%3 Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri.....	71
Şekil 4.56. %3 B ₄ C katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	71
Şekil 4.57. %7 B ₄ C katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	72
Şekil 4.58. %11 B ₄ C katkılı örneklerin katkılanan Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri.....	72
Şekil 4.59. a) %3 B ₄ C; b) %7 B ₄ C; c) %B ₄ C kompozitlerin Gd ₂ O ₃ miktarına bağlı olarak gama ışını geçirgenlikleri	73
Şekil 4.60. Alüminyumun küte soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi	74
Şekil 4.61. Polietilen için hesaplanan deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki korelasyon	75

Şekil 4.62. Polietilen ve poliimidin kütle soğurma katsayıları	75
Şekil 4.63. a)%3 h-BN; b) %5 h-BN; c)%7 h-BN; d) %11h-BN nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları.....	77
Şekil 4.64. a)%3 B ₄ C; b)%7B ₄ C; c) %11B ₄ C nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları	78
Şekil 4.65. a)%3 BN; b)%7BN; c) %11BN nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları	79
Şekil 4.66. a)%3 B ₄ C; b)%7B ₄ C; c) %11B ₄ C nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları	81
Şekil 5.1. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin çekme dayanımının h-BN, B ₄ C ve Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması	82
Şekil 5.2. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin kopmada uzama değerlerinin Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması	83
Şekil 5.3. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin darbe dayanımının ve Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması	83
Şekil 5.4. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin çekme dayanımının Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	84
Şekil 5.5. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin kopmada uzama Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	84
Şekil 5.6. (BN/B ₄ C+Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin darbe dayanımının Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	84
Şekil 5.7. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin çekme dayanımının Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	85

Şekil 5.8. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin kopmada uzama değerlerinin Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	85
Şekil 5.9. h-BN/Gd ₂ O ₃ /YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd ₂ O ₃ /PI nano kompozitlerin darbe dayanımının Gd ₂ O ₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.10. Saf poliimid ve yüksek yoğunluklu polietilenin toplam makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	86
Şekil 5.11. a) (%3 BN/B ₄ C+%1Gd ₂ O ₃)/YYPE; b) (%3 BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/YYPE örneklerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	87
Şekil 5.12. a) (%7BN/B ₄ C+%1 Gd ₂ O ₃)/YYPE; b) (%7 BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/YYPE örneklerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	88
Şekil 5.13. a) (%11BN/B ₄ C+%1Gd ₂ O ₃)/YYPE; b) (%11BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/YYPE nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	89
Şekil 5.14. a) (%3 BN/B ₄ C+%1 Gd ₂ O ₃)/PI; b) (%3 BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	90
Şekil 5.15. a) (%7 BN/B ₄ C+%1 Gd ₂ O ₃)/PI; b) (%7 BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	91
Şekil 5.16. a) (%11 BN/B ₄ C+%1 Gd ₂ O ₃)/PI; b) (%11 BN/B ₄ C+%3 Gd ₂ O ₃)/PI nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları	92
Şekil 5.17. a) %3 BN b) %7 B ₄ C katkılı yüksek yoğunluklu polietilenli örneklerin Gd ₂ O ₃ oranına göre toplam makroskobik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları.....	93

Şekil 5.18. a) %7 B₄C; b) %11 BN katkılı poliimidli örneklerin Gd₂O₃ oranına göre toplam makroskobik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları	94
Şekil 5.19. %3-7-11 BN katkılı polietilen ve poliimid tabalı kompozitlerin Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak kütle soğurma katsayıları	96
Şekil 5.20. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri	97
Şekil 5.21. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitleri için 0.5 cm aralıklarla üç kez tekrarlanan nötron geçirgenlik eğrileri	97
Şekil 5.22. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitleri için tekrarlanan deneylerin soğurma eğrilerinin karşılaştırılması	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Üç farklı endüstride kullanılan/maruz kalınan radyasyonun farklı kaynakları ve enerjileri (Nambiar ve Yeow 2012).....	2
Çizelge 2.1. Alfa aktif bazı radyoizotoplar (Knoll 2002).	4
Çizelge 2.2. Beta aktif bazı radyoizotop kaynaklar (Knoll 2002).	5
Çizelge 2.3. Bazı gama aktif radyoizotoplar(Knoll 2002).	6
Çizelge 2.4. Bazı nötron yayını yapan ikili sistemler (Knoll 2002).	7
Çizelge 2.5. Nötron zırhlamada kullanılan materyaller ve sınırlılıkları	19
Çizelge2.6. Standart radyasyon zırhlama materyallerine yerini alabilecek ve üzerinde çalışılan polimer tabanlı kompozit malzemeler.....	20
Çizelge 3.1. Nano kompozit üretiminde kullanılan malzemeler.....	22
Çizelge 3.2. ^{239}Pu -Be nötron kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)’nın genel özellikleri (Url-5).	28
Çizelge 3.3. Satın alınan radyoizotoplar ve enerjileri.....	32
Çizelge 4.1. h-BN/ Gd_2O_3 /YYPE kompozitlerinde termal geçişlerin dolgu türü ve miktarına göre değişimi.....	52
Çizelge 4.2. B_4C / Gd_2O_3 /YYPE kompozitlerinde camsı geçiş sıcaklığının dolgu türü ve miktarına göre değişimi.....	52
Çizelge 4.3. h-BN/ Gd_2O_3 /Poliimid kompozitlerinde camsı geçiş sıcaklığının dolgu türü ve miktarına göre değişimi	54
Çizelge 5.1. ($^{11}\text{BN}+\text{Gd}_2\text{O}_3$)/PI nano kompoziti için 2.5 cm kalınlıkta yapılan deneyler	98
Çizelge 5.2. ($^{11}\text{BN}+\text{Gd}_2\text{O}_3$)/PI nano kompoziti için 3 cm kalınlıkta yapılan deneyler	99
Çizelge 5.3. ($^{11}\text{BN}+\text{Gd}_2\text{O}_3$)/PI nano kompoziti için 3.5 cm kalınlıkta yapılan deneyler	99

1. GİRİŞ

Alfa/beta, nötron ve proton parçacık yayımlanması, elektromanyetik radyasyon (X ve gama ışınları) gibi yüksek enerjili radyasyonlar uzay araştırmalarında, sağlık endüstrisinde ve nükleer güç üretim santrallerini de içeren çok geniş bir endüstride sık kullanılır veya bu radyasyonlarla karşı karşıya kalınır. Bu radyasyonlardan herhangi biriyle istenmeyen pozlanmalar sağlık için çok tehlikeli olabilmektedir. Bununla birlikte, radyasyon pozlanmasının meydana getireceği etkiler pozlanma zamanı, soğurulan doz miktarı ve maruz kalınan radyasyonun tipine ve enerjisine bağlı olarak değişebilmektedir. Nükleer reaktörlerde, sağlık sektöründe ve hava-uzay endüstrisinde karşılaşılan/kullanılan radyasyon türleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Kozmik radyasyon, uzay araştırmalarında, çalışanların sağlığını etkileyen çok önemli bir unsurdur (bu nedenden dolayı bir astronot uzayda yaklaşık 120 gün kalabilmektedir). Radyasyonun neden olduğu sağlık problemleri arasında kardiyak problemler, kanser oluşumu, katarakt ve diğer akut radyasyon sendromları yer almaktadır. Nöral sistemin hasarı kozmik galaktik radyasyonlardaki ağır iyonların varlığı ile ilgilidir.

Medikal radyasyon uygulamalarında ise radyoterapi kanser hastalarının tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyonlar ($\geq$ MeV) kanser tedavisinin bir kısmında tümörün büyümesini kontrol etmekte kullanılır. Tedavi gören bölgenin yakınındaki doku sıklıkla girici X-ışınlarına maruz kalır ve hem iç hem de yüzeysel organlarda ciddi yan etkilere neden olur. Baş ve boyun kanseri olan xerostomialı hastaların tedavisinde bu tür yan etkiler meydana gelmektedir.

Nükleer enerji üretimi için nükleer güç reaktörlerinde nötronlar kullanılır. Bunlar kolaylıkla birçok materyal içinden geçerek hedef atomun çekirdeği ile etkileşirler. Nötron radyasyonuna maruz kalma özellikle vücut dokusu için oldukça tehlikelidir. Çünkü hedef materyalin içinde enerjilerini biriktirdiği/kaybettiği çok yoğun bir iyon yolu oluşturma yetenekleri vardır. Biyolojik madde ile etkileşiminde gama ışınları, protonlar ve alfa parçacıkları gibi diğer radyasyonların üretilmesine de neden olabilirler. Nükleer güç reaktörleri çalışanları ve hava taşıtı mürettebatı mesleklerinden dolayı nötronlara maruz kalmaktadırlar. Bundan dolayı farklı tip radyasyondan kaynaklanabilecek sağlık sorunlarını minimize etmek için uygulamalarda etkin ve sağlam radyasyondan koruyucu malzemelere ihtiyaç vardır (Nambiar ve Yeow 2012; Cucinotta ve diğ. 2006).

Bu tez çalışmasında, nötronu etkin bir şekilde soğurabilecek üçlü yapıda çok fonksiyonlu nano kompozitlerin tasarlanıp üretilmesi planlanmış ve bu doğrultuda iki farklı ana matris (yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve poliimid(PI)) yapıya, farklı oranlarda nano boyutlarda h-BN (Bor Nitrür), B₄C (Bor Karbür) ve Gd₂O₃ (Gadolinium Oksit) katkılanmasıyla nano kompozitler üretilmiştir.

Nötronun etkin bir şekilde zayıflatılmasında temel kural; zırlama materyalinin hem yavaşlatıcıyı (moderatör) hem de soğurucu (absorber) bileşenlerini bünyesinde barındırması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle nötronun soğrulma süreci; ilk önce hızlı

nötronlar termal enerji seviyesine yavaşlatıcılar tarafından elastik saçılmaya indirgenir ve daha sonra soğurucu tarafından yavaşlatılan nötronlar soğrulur.

Çizelge 1.1. Üç farklı endüstride kullanılan/maruz kalınan radyasyonun farklı kaynakları ve enerjileri (Nambiar ve Yeow. 2012)

Endüstri	Radyasyon kaynağı	Radyasyonlar	Enerji aralığı
Hava-Uzay	a) Galaktik kozmik ışınlar (GCR)	Galaktik kozmik ışınlardaki toplam akının %85'e yakını yüksek enerjili protonlar, % 14'ü alfa parçacıkları (helyum çekirdeği) ve %1'i ağır çekirdeklerdir. Solar parçacıklar düşük ve orta enerjili proton ve alfa parçacıklarının ani patlamasıdır. Tuzaklanan radyasyon kuşakları yüksek enerjili elektronlar ve protonlardan oluşmaktadır.	10MeV-10GeV
	b) Solar parçacık olayları (SPE)		Birkaç MeV- 100 MeV
	c) Tuzaklanan parçacık kuşağı		Elektronlar: birkaç MeV Protonlar: birkaç 100 MeV, onlarca keV-onlarca MeV arası
Medikal radyoloji, teşhis, girişimsel ve radyoterapi	a) X ve gama ışınları	Elektromanyetik radyasyon-geniş aralıkta X ve gama ışınları. Tedavi amaçlı parçacık radyasyonu	
	b) Protonlar ve elektronlar		
Nükleer reaktörler	a) Parçacık yayımı	Nötronlar, alfa ve beta parçacıkları ve gama ışınları	Nötronlar 0-15 MeV, alfa ve beta parçacıkları 0-4 MeV
	b) Gama ışınları		10 keV- 3 MeV

Nötronlar için en etkin yavaşlatıcılar hidrojen içeriği yüksek olan ve en iyi soğurucular için ise düşük enerjili nötronların soğurulmasında ikincil gamaların oluşumunu minimize eden bir özelliğe sahip olan maddelerdir. Nano kompozit malzemede ana matris olarak hidrojen içerikleri yüksek yoğunluklu polietilen ve poliimid seçilmiştir. Ayrıca, nötronun zırhlanmasında en önemli sorunlardan biri; nötronların madde ile esnek (elastik) ve esnek olmayan (inelastik) çarpışma (özellikle ağır atomlu) yaptığında açığa çıkan ikincil gama ışınlarıdır. Çünkü ikincil gama ışınları, zırhın dış yüzeyinde biyolojik dozu ve zırh içerisindeki ısınmayı artırır (Schimmerling ve diğ. 2003). Birçok malzeme termal nötron yutulması sonucu 5-10 MeV'lik ikincil gamalar üretirken, bor termal nötron ile etkileştiğinde (767 b) düşük enerjili (0.48 MeV) gamalar ve nötron soğurmasını takiben oluşan nükleer bozunmada radyoaktif olmayan

kararlı elementler (lityum ve helyum) üreten tek elementtir (Lilley 2001; Geçgel. 2009; Celli ve diğ. 2006). Nötron engellenmesinde borun çok önemli olmasının nedenleri bunlardır.

Aynı zamanda, bu tez çalışmasında, nötronun madde ile etkileşmesinden oluşması muhtemel ikincil gamaların tekrar soğurulması için de polimer ana matris içine değişik oranlarda (örn: ağırlıkça %1, %2 ve %3) Gadolinyum Oksit (Gd_2O_3) nano partiküller katılarak üretilen soğurucu malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerinin daha da iyileştirilmesi sağlanmıştır. Yüksek atom numarası ($Z=64$) ve yüksek termal nötron etkileşme tesir kesitine (48,800 b) sahip olan gadolinyum hem iyi bir gama hem de iyi bir termal nötron soğurucudur. Gadolinyumun iyi bir gama absorblayıcı olmasının yanı sıra, yüksek nötron etkileşme tesir kesitine de sahip olması, üretilen polimerik soğurucu malzemelerin işlevselliği açısından oldukça önemlidir.

Tez çalışması boyunca yapılan deneyler üç aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşamada, nano kompozit üretimi için gerekli olan, nano partiküller h-BN (Bor Nitrür), B_4C (Bor Karbür) ve Gd_2O_3 (Gadolonyum Oksit) ark deşarj ve öğütme yöntemleriyle elde edilmiştir. Nano yapıların karakteristik analizleri MAM, ODTÜ, Selçuk ve Fırat Üniversitelerindeki araştırma merkezlerinde yapılmış ve üretilen nano yapılara ait sonuçlar ayrı başlıklar altında detaylıca incelenmiştir. İkinci aşama da ana matris olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve poliimide(PI) farklı oranlarda nano parçacıkların katkılanmasıyla (% 3, %5, %7 ve %11) BN, B_4C ve Gd_2O_3 (% 1,%2 ve %3) elde edilen (h-BN- B_4C / Gd_2O_3 /YYPE, h-BN- B_4C / Gd_2O_3 /PI) nano kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu, üçüncü aşamada ise nano kompozitlerinin nötron ve gama soğurma kabiliyetleri belirlenmiştir. Nötron soğurma deneylerinde 4,5 MeV enerjilerde nötron yayan ^{239}Pu -Be kaynağı ile birlikte, hem nötron (He-3 tube) hem de gama (NaI(Tl)-crystal) algılama özelliğine sahip Target IdentIFINDER-Ultra nötron detektörü kullanılmıştır. Gama soğurma deneylerinde ise enerjileri 88 keV ile 1332,5 keV arasında değişen gama ışınları yayan farklı türde noktasal gama kaynakları ile birlikte gama NaI(Tl) dedektörü kullanılmıştır. Elde edilen nötron ve gama sonuçlarına göre en iyi zırhlama özelliği gösteren malzemelerin hangi katkı oranında ve hangi kalınlıklar arasında olduğu net bir şekilde belirlenmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Radyasyonun Tanımı ve Radyasyon Tipleri

Radyasyon; parçacık akımı ile dalga tabiatına uygun olarak uzaya veya bir ortama enerjinin transfer edilmesidir. Radyasyon, doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur.

Doğal radyasyonun önemli bir kaynağı doğal radyoizotoplardır. Ağır elementler (çekirdeğinde 83 den fazla proton barındıranlar), kararsız oldukları için daha küçük atomlara dönüşmektedir. Bu yolla enerji veren elementlere “radyoaktif elementler” adı verilmektedir. Radyoaktif elementler temel olarak alfa, beta ve gama olmak üzere, üç ana tip enerji salınımında bulunmaktadır. Ayrıca nötronlar ve hızlandırıcılar da radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır (Knoll 2011).

2.1.1. Alfa bozunumu

Alfa parçacıkları yüksek enerjili ${}^4_2\text{He}$ parçacığdır, menzilleri kısadır ve giricilikleri düşük olup bir kağıt parçası ile durdurulabilirler. Uranyum ve Toryum gibi doğal radyoaktif seriler α yayınlamaya bozunurlar. α yayınlaması kendiliğinden gerçekleşen bir bozunum sürecidir ve reaksiyon olarak bağıntı (2.1)’de görüldüğü gibi tanımlanır.



Bağıntı (2.1)’e göre; ${}^A_Z\text{X}_N$ bozunan çekirdek, ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}_{N-2}$ ürün çekirdektir. Başlangıçtaki ${}^A_Z\text{X}_N$ çekirdeği α bozunumu yaptığı zaman kütle numarası 4, proton sayısı ve nötron sayısı 2 azalır. Coulomb itmesi sonucunda α parçacığı yayınlanır. Coulomb itmesi, proton sayısının karesi (Z^2) ile orantılı olarak, kütle numarası (A) ile artan nükleer bağlanma kuvvetinden daha hızlı bir şekilde arttığından dolayı α bozunumu ağır çekirdekler için büyük bir öneme sahiptir.

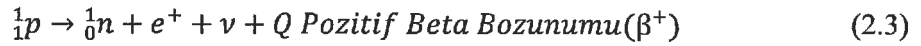
Radyoaktif maddelerden alfa aktif radyoizotopların bazıları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alfa aktif bazı radyoizotoplar (Knoll 2002).

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik enerji (MeV)	Yüzdesi
${}^{148}_{64}\text{Gd}$	93y	3.182	100
${}^{232}_{90}\text{Th}$	1.4×10^{10} y	4.012	77
${}^{238}_{92}\text{U}$	4.5×10^9 y	4.196	77
${}^{235}_{92}\text{U}$	7.1×10^8	4.598	56

2.1.2. Beta bozunumu

Kararlı çekirdeklerde genellikle $Z=A/2$ şeklinde bir oran vardır. Bir çekirdek kendisine en yakın kararlı izobarından uzaklaştıkça kararsızlığının ölçüsü artar. Bazı çekirdekler α bozunumu yaparak kararlı hale gelmeye çalışırken, bazı çekirdekler için α bozunumu yetersiz kalır. Bu durumda kararsız durumdan kararlı bir duruma geçmek için β bozunumu yayınlar. Beta bozunumu, bağıntı (2.2)'deki gibi negatif beta bozunumu (β^-) olarak adlandırılan bir nötronun bir protona dönüşümü veya bağıntı (2.3)'deki gibi pozitif beta bozunumu (β^+) olarak adlandırılan bir protonun bir nötrona dönüşümüdür.



Bağıntı (2.2) ve bağıntı (2.3) yazılırken, yük korunumu, çizgisel momentumun korunumu ve enerjinin korunumu dikkate alınarak negatif beta bozunumuna anti nötrino, pozitif beta bozunumuna ise nötrino parçacıkları eklenmiştir.

Beta parçacıkları oldukça küçük kütle ve alfa parçacıklarının yarısı büyüklüğünde yüke sahiptirler. Bu bağlamda belirli bir enerjiye sahip beta parçacıkları aynı enerjili alfa parçacıklarına göre oldukça yüksek hızda hareket etmekte ve bunlar herhangi bir soğurucu madde içinde alfa parçacıklarına göre çok daha derine nüfuz edebilmektedirler. Beta aktif radyoizotoplardan bazıları Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Beta aktif bazı radyoizotop kaynaklar (Knoll 2002).

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik Enerji (MeV)
${}_1^3\text{H}$	12.26 y	0.018
${}_6^{14}\text{C}$	5730 y	0.156
${}_{15}^{32}\text{P}$	14.28 d	1.710
${}_{15}^{33}\text{P}$	24.4 d	0.248

2.1.3. Gama bozunumu

İlk defa, Paul Villard adlı Fransız kimyager-fizikçi, radyum ile çalışırken gama ışınlarını fark etti. Villard'ın fark ettiği bu ışınlar, Rutherford gama ışınımı adını vermiştir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya bir beta parçacığı yayınladıktan sonra genellikle kararlı bir durumda kalmazlar. Fazla kalan çekirdek enerjisi bir elektromanyetik radyasyon halinde yayınlanır ve γ ile sembolize edilir.

Gama ışınları, diğer elektromanyetik ışınlar arasında, en yüksek frekansa ve en düşük dalga boyuna sahiptirler. Taşıdıkları enerji (erke) düzeyi nedeniyle yaşayan hücrelere önemli zarar verirler. Gama ve x-ışınlarının, alfa ve beta parçacıklarına göre madde içine nüfuz etme kabiliyetleri çok daha fazla olmakla birlikte, iyonlaşmaya sebep

olma etkileri ise çok daha azdır. İyonize etme gücünün daha düşük olması, onun kalın cisimlerden kolayca geçmesini sağlar. Gamma ışını, birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun tabakalarda ve sadece belli bir kısmı durdurulabilir. Madde içerisinden geçerken üstel bir fonksiyon şeklinde bir şiddet azalmasına uğrarlar. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler.

Gama bozunum süresi çok kısadır. Atomik çekirdekler hakkında bilinen bilgilerin birçoğu uyarılmış düzeyler hakkında bilinen bilgilere bağlıdır. Atomik bir çekirdekten yayınlanan gama bozunumu bağıntı (2.4)'deki gibi gösterilir.

$${}^A_ZX_N^* \rightarrow {}^A_ZX_N + \gamma \quad (2.4)$$

Bağıntı (2.4)'e göre ${}^A_ZX_N^*$ uyarılmış durumdaki çekirdek, ${}^A_ZX_N$ taban durumdaki çekirdektir ve bozunum sırasında γ ışınları yayınlanmaktadır. Atomik çekirdek tarafından yayınlanan gama ışınları karakteristik özelliktedir. Gama ışınlarının hava içinde soğurulma oranları α ve β ışınımına göre daha azdır ve gama ışınları daha hassas bir şekilde ölçülebilirler. Gama ışınları ve iç dönüşüm olayları incelenerek uyarılmış durumların spin ve pariteleri belirlenebilir (Krane 2011).

Doğadaki bazı gama aktif radyoizotoplar Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Bazı gama aktif radyoizotoplar(Knoll 2011).

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik Enerji (MeV)
${}^{60}\text{Co}$	5.26 y	1.1, 1.3
${}^{137}\text{Cs}$	30 y	0.6
${}^{192}\text{Ir}$	74 d	0.3, 0.6
${}^{124}\text{Sb}$	60 d	0.6, 2.1

2.1.4. Nötronlar

Nötronların deneysel olarak ilk kez gözlenmesi 1930 yılında gerçekleşmiştir. Bothe ve Becker Berilyumu, α parçacıkları ile bombardıman ederek, girciliği yüksek fakat iyonlaşma gücü olmayan bir ışınım elde ettiler. Kısa bir süre sonra Curie ve Joliot, bu ışının parafinden geçerken, yüksek enerjili bir protonun yayınladığını fark ettiler. Protonların parafin içindeki menzilin kullanılarak, bu ışının enerjisini 5,3 MeV olarak saptadılar. Eğer bu ışın gerçekten γ ışını olsaydı, protonların parafinden Compton olayına benzer bir çarpışma ile koparılmaları gerekirdi. Compton saçılması formülünü kullanarak yaptıkları hesaba göre, bu kadar yüksek enerjili protonu koparabilecek “ γ ışınının” enerjisinin en az 52 MeV olması gerekirdi. Bu kadar yüksek enerjili γ ışını son derece gerçek dışı görüldü. Chadwick 1932 yılında bu bilinmeyen ışının, kütlesi hemen hemen protonunki kadar olan nötr bir parçacık (dolayısıyla girici ve iyonlaştırmayan) olduğunu ileri sürdü. Chadwick nötronlarla başka saçılma deneyleri yaparak hipotezini doğruladı (Krane 2011).

Nötronlar yüksüz parçacıklar olduklarından çekirdek ile etkileşimleri nükleer kuvvetler sayesinde gerçekleşmektedir. Çekirdeğe yaklaştıklarında yüklü parçacıklarda olduğu gibi Coulomb engeli ile karşılaşmamaktadırlar. Nötronlar düşük enerjilerde oldukça yüksek verimlilikle dedekte edilebilmektedirler. Nötronları dedekte etmek için nötron-atom etkileşmesinden yüklü parçacıkların üretilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, nötronları çok sayıda protonu olan malzemeler ile yavaşlatmak faydalı olmaktadır. Bu durumda nötronlar enerjilerinin büyük kısmını çarpışma ile benzer kütleli parçacığa aktarırlar.

Nötronlar sahip oldukları enerjiye göre:

- ❖ Soğuk ($T < 20\text{ °C}$): $< 0.0253\text{ eV}$;
- ❖ Termal: 0.0253 eV ;
- ❖ Epitermal: 0.0253 ile $\sim 1\text{ eV}$ arası (oda sıcaklığına karşılık gelen enerjiden kadmiyum soğurucusunun keskin bir soğurma gerçekleştirdiği kesme enerjisine kadar uzanır);
- ❖ Epikadmiyum (bir kadmiyum soğurucunun şeffaf ortam gibi davrandığı ve hemen hemen hiç soğurmadığı nötronlar. Kadmiyum soğurucu 0.4 eV civarında yaklaşık 20000 b'lık şiddetli bir nötron yakalama rezonansına sahiptir): $> 1\text{ eV}$;
- ❖ Yavaş: $0.0253 \sim 100\text{ eV}$
- ❖ Orta enerjili: $0.5 \sim 10^4\text{ eV}$
- ❖ Hızlı $0.01 \sim 10\text{ MeV}$
- ❖ Yüksek enerjili: $> 10\text{ MeV}$

göre sınıflandırılabilirler (Martin 2013).

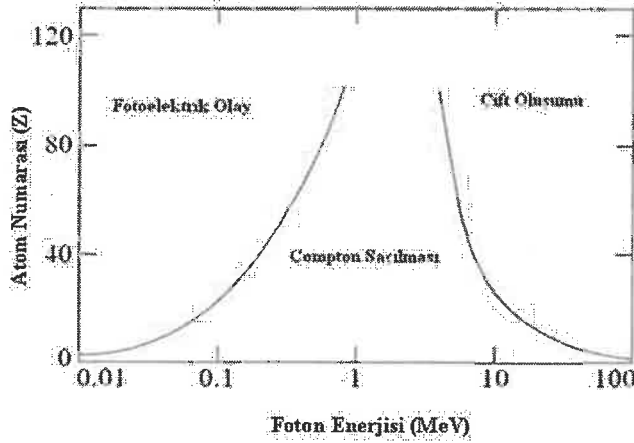
Doğal olarak nötron yayını yapan maddelerden en bilineni yarı ömrü 2.65 yıl olan ^{252}Cf dir. Bunun yanında bazı ikili sistemler kullanılarak nötron kaynakları oluşturulmaktadır. Bu ikili sistemlerin bazıları aşağıdaki Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. Bazı nötron yayını yapan ikili sistemler (Knoll 2002).

Kaynak	Yarı ömür	Kinetik Enerji (MeV)	10 ⁶ α için Nötron Kazancı		% de Kazanç $E_n < 1.5\text{ MeV}$	
			Teorik	Deneyisel	Teorik	Deneyisel
$^{239}\text{Pu}/\text{Be}$	24000 y	5.14	65	57	11	9-33
$^{210}\text{Po}/\text{Be}$	138 d	5.30	73	69	13	12
$^{238}\text{Pu}/\text{Be}$	87.4 d	5.48	79	-	-	-
$^{241}\text{Am}/\text{Be}$	433 y	5.48	82	70	14	15-23

2.2. Gama Işınlarnın Madde ile Etkileşmesi

Gama ışınları madde ile fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olmak üzere gelen gama ışınının enerjisine ve etkileştiği maddenin atom numarasına göre Şekil 2.1’de görüldüğü gibi üç şekilde etkileşir.



Şekil 2.1. Gama ışınlarının enerjisine göre madde ile etkileşmesinde meydana gelen olaylar (Krane 2011)

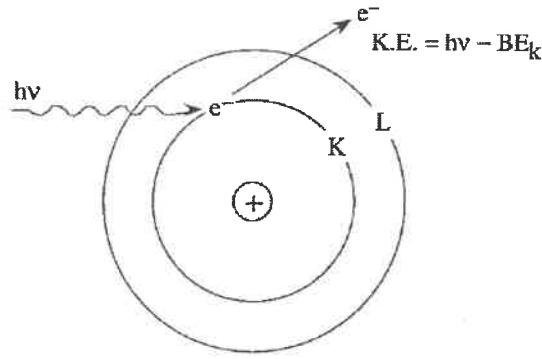
2.2.1. Fotoelektrik etkileşimler

Fotoelektrik etkide, düşük enerjili bir foton yörüngeye bağlı elektronla çarpışır ve onu atomdan fırlatır. Elektron, gelen foton enerjisi $h\nu$ ile elektron yörüngesindeki bağlanma enerjisi arasındaki farka eşit (yani elektronun serbest kalmasını sağlayacak) bir enerjiyle atomdan çıkarılır (Şekil 2.2). Bu çıkarılan elektrona fotoelektron gerçekleştirilen olaya ise fotoelektrik olay denir.

Fotoelektrik soğurma katsayısı τ , soğurucu malzemenin atom sayısı Z ’nin ve radyasyon enerjisinin bir fonksiyonu olduğu bağıntı (2.5) ile ifade edilir:

$$\tau \cong \text{sabit} x \frac{Z^5}{E^3} \quad (2.5)$$

Fotoelektrik soğurmanın, yüksek Z ’li malzemeler ve düşük enerjili fotonlarla (0.5 MeV’den daha az) gerçekleştiği açıktır. Kurşun gibi yüksek Z ’li bir malzemede, L x-ışınları ve M x-ışınları yayınlanması baskındır ve bunlar ya ortamdan soğrulurlar ya da foton akışına katkıda bulunurlar.



Şekil 2.2. Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi (Martin 2013)

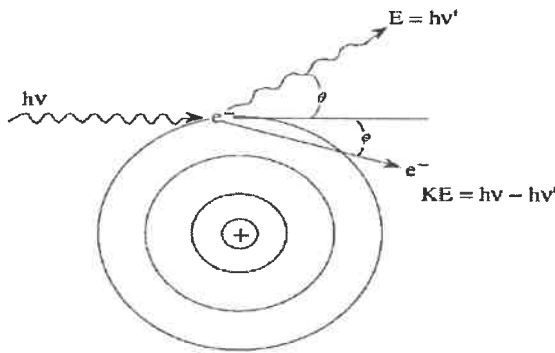
2.2.2. Compton etkileşimleri

Compton saçılma etkileşimleri özellikle orta enerjideki (0.5-1.0 MeV) gama ışınları için önemlidir ve doku gibi küçük Z'li malzemelerde 0.1 MeV'in altında da baskın olabilir. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi bir foton ile serbest veya çok gevşek bağlı elektronun çarpışmasıyla compton saçılması gözlenir. Bu etkileşimde hem enerji hem de momentum korunur.

Compton saçılmasına uğramış foton, çarpışmadan yeni bir yönde, azalmış enerji ve artan dalgaboyu ile çıkar. Compton kayması olarak adlandırılan dalga boyundaki değişim $(\lambda' - \lambda)$ ifadesi bağıntı (2.6) ile ifade edilir,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) = 0.024264(1 - \cos\theta) \text{Å} \quad (2.6)$$

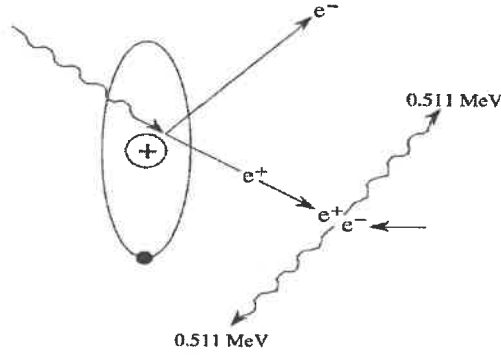
Fotonun dalga boyundaki değişimin (ve enerjideki azalma) sadece saçılma açısına bağlı olması dikkate değerdir. Çoğunlukla Compton dalgaboyu ile anılan, $h/m_0 c$ teriminin sayısal değeri $2.4264 \times 10^{-10} \text{ cm}$ 'dir.



Şekil 2.3. Serbest bir elektron ile compton çarpışması (Martin 2013)

2.2.3. Çift oluşum

Şekil 2.4’de gösterildiği gibi yüksek enerjili (>1.022 MeV) bir foton, bir çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileştiğinde, enerji biri eksi yüklü (elektron) ve diğeri pozitron denilen artı yüklü olmak üzere, bir çift elektrona dönüşebilir. Çift oluşum, bir elektronun elektromanyetik alanında bir pozitron, bir negatron ve geri tepen elektron oluşturarak da oluşabilir. Çift üretim yoluyla fotonların soğrulması 0.511 MeV’lik iki yeni foton üretir.



Şekil 2.4. Çift oluşum (Martin 2013)

Çift oluşum etkileşme katsayısı κ , enerjisi 2×0.511 MeV (bir elektron-pozitron çiftine dönüşmesi için gerekli enerji) den daha büyük fotonlar için, Z atom numarasının karesi ile orantılıdır ve bağıntı (2.7) ile ifade edilir,

$$\kappa \cong \text{sabit} \times Z^2 (E - 1.022) \quad (2.7)$$

Burada Z atom numarasıdır ve E ise MeV cinsinden foton enerjisidir.

2.3. Nötronların Madde İle Etkileşimi

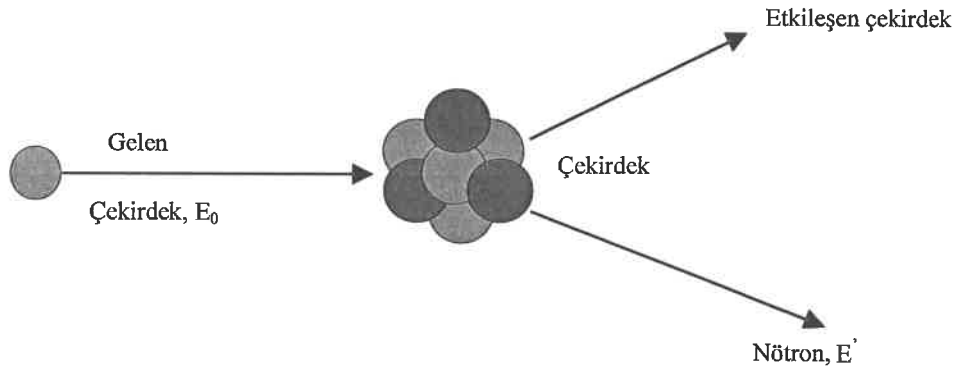
Nötronlardan korunmak için üç tip etkileşmeyi göz önüne almak gerekir: Bunlar; a) esnek saçılma, b) esnek olmayan saçılma ve c) nötron yakalamadır. Bu etkileşimlerin her biri nötron ile hedef çekirdek arasında meydana gelir ve; atomların elektronları ise nadiren birincil etkileşim içinde yer alırlar.

2.3.1. Esnek saçılma etkileşimi

Özellikle hidrojen gibi hafif malzemelerle nötronların yavaşlatılmasında oldukça etkilidir. Bu tür saçılma reaksiyonları gelen demet içindeki nötronları yavaşlattığından, enerji spektrumunda doğal olarak önemli değişiklik meydana gelecektir. Serbest bir nötron eninde sonunda, bulunduğu ortam tarafından yakalanarak soğrulur, ancak serbest nötronlar kararsız olduğundan, bazısı yakalanmadan önce bir hidrojen iyonu ve bir beta

parçacığı üreterek radyoaktif dönüşüme ($T_{1/2}$) uğrayabilirler. Nötron dönüşümü ile oluşan hidrojen iyonu ve beta parçacığı her ikisi de yakın bir civarda soğrulurlar.

Şekil 2.5’de nötronun bir atom çekirdeği ile elastik çarpışması şematik olarak verilmekte ve bu durum MeV mertebesinde enerjiye sahip nötronların temel enerji kaybetme mekanizmasıdır. $A(n,n)A$ şeklindeki bu reaksiyonda çarpışan iki parçacığın toplam kinetik enerjisi korunur. Nötron bir atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir kısmını ona aktardıktan sonra kendi geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda saparak çekirdekten uzaklaşır. Burada çekirdeğin yapısında değişiklik olmaz.



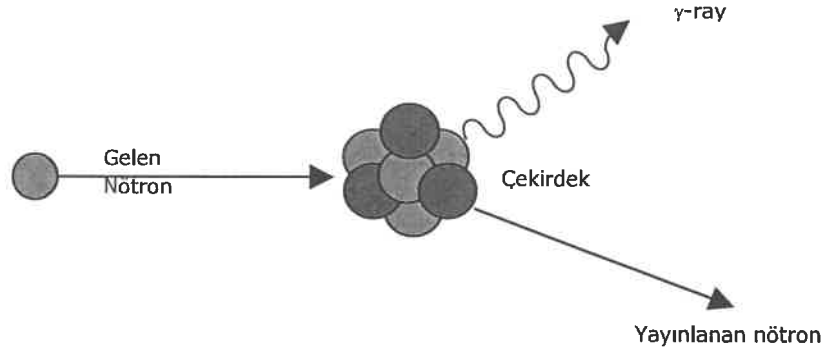
Şekil 2.5. Nötronun bir çekirdekten elastik saçılması (Şahin L. 2013)

2.3.2. Esnek olmayan saçılma etkileşimi

Esnek olmayan saçılmada nötron, soğurucu ortamdaki çekirdeklerin uyarılmasına sebep olur ve sonra uyarılma enerjisinin neredeyse tamamı foton olarak yayınlanır. Esnek olmayan saçılma, hızlı nötronlar ve ağır çekirdekler için baskındır; dolayısıyla hızlı nötron etkileşimleri, özellikle 1-2 MeV’in üzerindeki nötron enerjilerinde ve büyük Z ’li atomlara sahip soğurucu ortamlarda bir gama ışını kaynağı meydana getirir (Şekil 2.6). Nötron zırhları, esnek olmayan saçılma reaksiyonundan yayınlanan bu fotonları genellikle soğurabilirler. Çünkü nötronların büyük bir kısmını soğurmak için gerekli olan zırh kalınlığı, uyarılmış çekirdek tarafından yayınlanan herhangi bir gama ışınını soğurmak içinde yeterli olur.

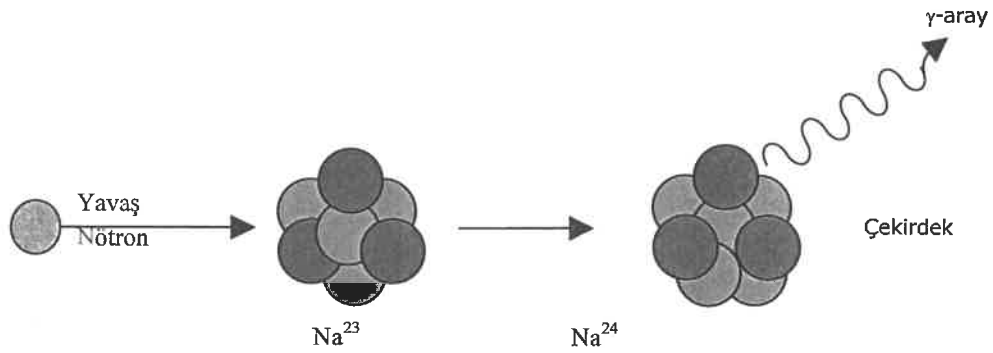
2.3.3. Yakalama reaksiyonları

$n + (Z, A) \rightarrow \gamma + (Z, A + 1)$ şeklindeki reaksiyonlardır ve nötronun hızına bağlı olarak nötron yakalanması için tesir kesiti (σ) $\cong 1/v$ ile değişir. Bu sebeple düşük enerjilerde nötron yakalama olasılığı yükselir. Yakalama reaksiyonları, nötronların esnek ve esnek olmayan etkileşimlerle rezonans veya termal enerjiye sahip olacak şekilde yavaşlatılmalarının ardından belirli bir olasılık dahilinde oluşabilir ve yavaşlatılmış nötron böylece soğurucu ortamdaki hedef çekirdekler tarafından kolayca soğrulabilirler.



Şekil 2.6. Nötronun inelastik saçılması (Şahin L. 2013)

Yakalama gama ışınları oldukça enerjiktirler (birkaç MeV) ve enerjilerinin çok yüksek olması sebebiyle de kullanılan zırh malzemesine bağlı olarak ayrıca dikkate alınması gerekir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Nötron yakalanması (Şahin L. 2013)

2.4. Nötronun Soğrulması

Nötron şiddetini, birim yüzey başına nötron sayısı yani akış (n/cm^2) olarak belirtmek pratik, kolay ve kullanışlıdır. Nötronların yavaşlamasına ve tamamen kaybolmasına (soğrulmasına) neden olan etkileşimler belli bir olasılık dahilindedir. Sonuç olarak, x kalınlığındaki bir soğurucu malzemeden geçen nötron akı şiddeti I , nötron kaynağının şiddeti ve soğurucu malzemenin kalınlığına bağlı olarak nötron soğurma katsayısıyla (Σ_{nr}) orantılı olarak bağıntı (2.8)'deki gibi azalır:

$$-\frac{dI}{dx} = \Sigma_{nr} I \quad (2.8)$$

Bu ifade, foton soğrulmasına benzer bir çözüm ile bağıntı (2.9) gibi ifade edilebilir:

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma n x} \quad (2.9)$$

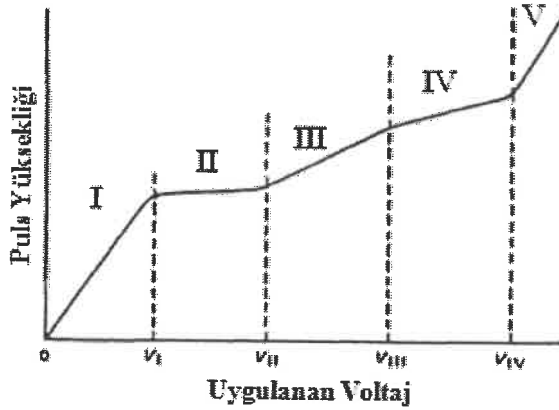
Bağıntı (2.9)'da I_0 ilk şiddeti ve $I(x)$, x kalınlıklı, soğurucu ortamın atomlarıyla herhangi bir çarpışma yapmaksızın geçen nötronların şiddetini belirtir. $e^{-\Sigma n x}$ ise nötronların x mesafesi boyunca etkileşme yapmaksızın hareket edebilme olasılığını temsil eder.

2.5. Radyasyon Ölçüm Araçları

Gama radyasyonunu ölçmek için gazlı sayaçlar, sintilasyon dedektörleri ve yarıiletken dedektörler kullanılır.

2.5.1. Gazlı sayaçlar

Gazlı sayaçlarda, radyasyon gaz içinden geçerken iyonlaşma meydana getirir. Gazlı sayaçlar tipik olarak iki elektrot arasına gaz doldurulup, elektrik alanı uygulanarak kullanılır. Radyasyon gaz içinden geçerken enerjisinin tamamını veya bir kısmını aktararak elektron iyon-çiftini oluşturur. Elektrik alan, iyonların elektronlarla tekrar birleşmesini engeller. Bu süreçte pozitif yüklü iyonlar negatif plakaya doğru sürüklenirken, elektronlar ise pozitif yüklü plakaya doğru hareket ederler. Radyasyon tarafından üretilen yüklü parçacıkların hareketleri elektronik araçlar kullanılarak sinyallere dönüştürülür. Gazlı sayaçların, uygulanan voltaj aralığına göre bölgeleri Şekil 2.8'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.8. Puls yüksekliğinin uygulanan voltaja göre değişimi (Tsoulfanidis 1995)

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, uygulan voltaja göre puls yüksekliğinin değişimi 5 bölgede incelenebilir.

I. Bölge: Bu bölgede, uygulan voltaj çok düşüktür ve elektrik alan çok kuvvetli değildir. Elektronlar ve iyonlar birbirine göre çok düşük hızlarla hareket ederler ve yeniden birleşme olasılıklarının yüksek olduğu düşünülür. Uygulanan voltaj arttıkça, elektronlar ve iyonlar birbirine göre çok hızlı hareket ederler ve yeniden birleşme olasılıkları azalır. Bu bölge yeniden birleşme bölgesi olarak isimlendirilir.

II. Bölge: Bu bölgede, voltajın arttırılmasına rağmen puls yüksekliği sabittir. Çünkü yeniden birleşme oranı sıfırdır ve yeni yük üretilmez. Bu bölge iyonlaşma bölgesi olarak adlandırılır.

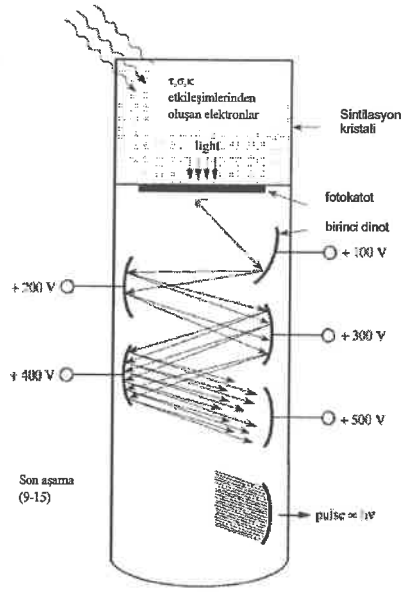
III. Bölge: Bu bölgede, uygulanan voltaj ile birlikte puls yüksekliği, yüklü parçacıkların çarpışmaları sonucu, elektronlar ikinci iyonizasyon meydana getirmesinden dolayı artar. Burada elektronların ikincil iyonizasyonu meydana getirebilmesi için elektrik alanın yeterince güçlü olması gerekir. Bu bölgede uygulanan voltaj birincil iyonizasyondan bağımsız olmasına rağmen, sayaç tarafından sayılan pulslar birincil iyonizasyon ile orantılıdır. Bu bölgeye orantılı bölge denir ve orantılı sayaçlar bu bölgede çalışır.

IV. Bölge: Bu bölgede tek bir elektron iyon çiftinin enerjisi elektron iyon çığı başlatmak için yeterince büyük bir enerjiye sahiptir. Bu çığlar, parçacığın çeşitinden ve birincil iyonizasyonun yüksekliğinden bağımsız olup sadece sayacın elektroniğine bağlı olarak değişen çok güçlü bir sinyal oluştururlar. Bu bölge Geiger-Müller bölgesi olarak adlandırılır. Geiger-Müller sayaçları bu bölgede çalışır.

V. Bölge: Bu bölge uygulan voltaj değeri IV. bölgede uygulanan voltaj değerinden daha büyüktür. Tek bir iyonizasyondan sonra gaz içinde sürekli olarak yük boşalması devam eder ve sayaç bir daha kullanılamaz. Bunun için gazlı sayaçlara IV. bölgede uygulanan voltaj değerinden daha yüksek bir voltaj değeri uygulanmamalıdır (Tsoulfanidis 1995).

2.5.2. Sintilasyon dedektörleri/Spektrometreler

Talyum katkılı sodyum iyodür NaI(Tl) gibi sintilasyon kristalleri, etkileştiği fotonların enerjisine bağlı olarak bir ışık “parıldaması” oluştururlar. Bu süreçte oluşan ışık (elektromanyetik spektrumda görünür bölgede görünür fotonlar), foto çoğaltıcı tüp üzerindeki fotokatoda (PM) gönderilirler. Bu fotonlar, ışığa duyarlı olan katoda çarptıklarında, enerjiyle doğru orantılı olarak az sayıda elektron kopartırlar (Şekil 2.9). Bu elektronlar uygulanan gerilim farkıyla birinci dinoda doğru ivmelendirilirler; bu dinot gelen her elektrona karşılık yaklaşık 4 ikincil elektron üretir. 10 adet dinoda sahip olan bir foto çoğaltıcı tüpte, çoğaltma faktörü 4^{10} (yaklaşık 1 milyon) olarak hesaplanabilir. Onuncu dinotdan ayrılan her bir soğrulan enerji miktarıyla orantılıdır. Bir başka deyişle, kristale çarpan gama fotonlarının enerjisi ile puls sinyalinin büyüklüğü doğru orantılıdır. Bu pulslar, çok kanallı analizörlerin her kanalında biriken sayımlar aracılığıyla büyüklüklerine göre sıralanırlar. Bu sayede, gama kaynağının kendisine özgü enerjisi belirlenerek tanımlanabilir.



Şekil 2.9. Fotoçoğaltıcı tüpe bağlı sintilasyon dedektörü (Martin 2013)

Sodyum iyodür kristalleri, yoğunluğu ve iyodun yüksek atom numarasından dolayı gama ışınlarını yüksek verimle saptayabilirler ve yaklaşık 0.25 μ s kadar zamana sahip olan puls çözme zamanları kristalin yüksek sayım hızında kullanılabilmesini sağlar. Plastik sintilatörlerin daha küçük çözme zamanları vardır (birkaç nano saniye kadar), fakat bu dedektörlerin düşük enerjili fotonları saptayabilme verimleri düşüktür. Ayrıca, ışık çıkışının enerjiye bağlılığının doğrusal olmaması enerji çözünürlüğünün düşük olmasına sebep olur.

2.5.3. Yarıiletken dedektörler

Saf germanyum gibi yarı iletken bir materyalde enerji depolanması, dolu olan valans banttan iletim bandına elektronları uyarır ve bu esnada iletim elektronları ve elektron boşlukları (deşik) üretilir. Yarıiletken, yük taşıyıcıların hareketine sebep olarak bir akım pulsu üreten beslenme voltajı uygulanır. Bir yarı iletken de elektron-deşik çiftini oluşturmak için gerekli olan enerji yaklaşık 1 eV'dur; bu bir sintilatörde iyonizasyon oluşturmak için gerekli olan enerjiden küçüktür. Bu yüzde soğurulan her bir foton için çok sayıda yük taşıyıcısı üretilir. Sonuç olarak uyarılmış veya iyonize edilmiş çok sayıdaki atomda istatistiksel sapmalar bir yarı iletken dedektör için çok küçüktür ve çok kanallı analizör kullanılarak gözlenen çok keskin piklerle (yüksek çözünürlüklü) enerjiler doğru tespit edilebilirler.

Yarıiletken dedektörler, sintilatörlerle kıyaslandığında çeşitli avantajlara sahiptir. Bunlar, yoğunlukları ve mükemmel çözme güçleri ile hızlı pulslar (tipik olarak birkaç nanosaniye) üretmeleri sayesinde foton dedekte etmekte çok verimlidirler. Germanyum ve lityum katkılı germanyum [Ge(Li)] dedektörleri, termal gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında çalışmaları gerekir, bu bir dezavantajdır (Martin 2013).

2.6. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji; fizik, kimya, biyoloji gibi fen bilimleri dallarıyla, elektronik, endüstri, mekanik, uzay, bilgisayar, inşaat, malzeme gibi birçok mühendislik dallarını birleştiren, tüm disiplinleri kendi alanlarında moleküler düzeyde düşünmeye, tanıyıp anlamaya, tasarlamaya ve bunları ürüne dönüştürmeye yönlendiren disiplinler arası bir bilim dalıdır (Hierold 2007; Gu 2007).

1 nanometre Uluslararası Birimler Sistemi'ne (SI) göre 1 metrenin milyarda biri olarak tanımlanır. Nanometrenin standart sembolü nm'dir. 1 nanometre (nm), bilimsel gösterim olarak 1×10^{-9} metre(m) şeklinde yazılır (Anonim).

Nanoteknoloji tıp, gıda ve tekstil alanı dışında bilişim ve iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, savunma, makine ve inşaat sanayileri vb. alanlarda da insanlara ve bilime faydalı çok önemli gelişmeleri de vardır.

Nanoteknolojinin gelişmesiyle elde edilen nano parçacıklar radyasyon zırhlama konusunda yeni ufuklar ortaya çıkarmıştır. Özellikle de mekanik, elektronik ve termal özellikleri bakımından dikkat çeken karbon nano tüplerin üretilmesi ve bunların değişik malzemeler ile birlikte kullanılması, karşılaşılan problemlerin aşılmasına yönelik ciddi beklentiler ortaya koymuştur. Karbon nano tüpler, değişik polimerlerin (polistiren, poliakrilonitril, polimetil ve metakrilattan) elektriksel, termal iletkenliği başta olmak üzere mekanik özelliklerini de geliştirmek için kullanılmakla birlikte (Zhi ve diğ. 2008), günümüz teknolojisinde karbon nano tüplü organik kompozit malzemeler elektromanyetik radyasyonun engellenmesinde kullanılmaktadır (Pande ve diğ. 2009; Chung. 2001).

2.7. Nanoteknolojinin Radyasyon Zırhlama Üzerindeki Avantajları

Radyasyon zırhlama materyali içerisindeki nano-parçacıklar bir radyasyon engelleyici vazifesi görebilirler. Öyle ki maddeye çarpan radyasyonun bu nano parçacık formundaki materyallerle çarpışması ihtimali yükselmekte, böylece maddenin radyasyon zırhlama etkinliği artmakta, buna bağlı olarak zırhlayıcı materyalin hacmi ve kalınlığı, en az mikro ölçekte parçacık büyüklüğüne sahip olan diğer materyallerle karşılaştırıldığında azalmaktadır. Bununla birlikte zırhlama malzemesinin ağırlığı azalmakta ve malzemenin gözenek büyüklüğü minimum düzeyde tutulmakta, böylelikle gözenek varlığından dolayı meydana gelebilecek radyasyon hasarının önüne geçilerek, zırhlama materyalinin özellikleri ve zırhlama etkinliği korunabilmektedir. Nano parçacık katkılı bu tür zırhlama maddelerinde radyasyonun etkin olarak zırhlaması denilen durum ise; maddeyle etkileşen radyasyonun ortalama serbest yolunun (mean free path) azalması ve radyasyonun soğurma (ve bozunma) ihtimalinin artması olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, zırh malzemelerinin en önemli sorunlarında biri olan radyasyon hasarı problemi, nano kompozitlerde minimuma iner. Çünkü nano yapıları malzemeler tane sınırlarının büyük hacim oranlarından dolayı ışınlamaya (radyasyona) bağlı oluşan hasarlarının (çatlaklar ve boşluklar) önemli ölçüde azaltılmasına/çökmesine yardımcı olur (Samaras ve diğ. 2003; Chimi ve diğ. 2001; Nita ve diğ. 2005). Bu olay kendi kendine iyileşme/tamir (self-healing veya self-repair) mekanizması olarak ta adlandırılır (Nambiar ve Yeow. 2012).

2.8. Radyasyon Zırhlamada Uygun Malzeme Seçimi

Radyasyonu zırhlamanın tarihsel seyri ilk olarak Roentgen'nin X-ışınlarını keşfettiği 1895'li yıllara kadar uzanmaktadır. O yıllarda keşfedilen X-ışınlarının zararlı olduğu anlaşılmış, zamanla, uzaklıkla ve kullanılacak bir zırhlama maddesiyle alınacak dozun sınırlandırılabilceği 1913 yılına kadar yapılan çalışmalarla ancak ortaya konulabilmiştir. Bu tarihten sonra radyasyondan korunmanın yolları aranmışsa da, 1925 yılından sonra radyasyona maruz kalma miktarının ölçümünde kullanılan sistemlere ulaşılabilmektedir. 1927 yılında Uluslararası X-ışını ve Radyum'dan Korunma Komitesi Radyum kaynaklarının nasıl saklanacağını belirten kuralları yayınlamış ve daha sonra Manhattan Projesiyle başlayan nükleer güç reaktörleri yapımı ve beraberinde getirdiği nükleer olaylar yalnızca radyasyon zırhlaması üzerine yapılan çalışmaları yoğunlaştırmamış aynı zamanda radyasyonun biyolojik etkileri üzerine olan ilgiyi de arttırmıştır. Günümüzde ise radyasyon türüne bağlı olarak farklı zırhlama malzemeleri kullanılmaktadır (Shultis ve Faw. 2005).

İstenilmeyen radyasyonların soğurulması veya zayıflatılmasında çok çeşitli zırhlama materyallerinin (genel olarak; beton, polimer kompozit, su, bismut, çelik, zirkonyum, kurşun, kalay/tungsten/kurşun oksitli kompozitler gibi ağır metaller içeren kompozitler vb.) kullanıldığı oldukça fazla deneysel inceleme ve teorik çalışmalar literatürde rapor edilmiştir (El Sayed ve diğ. 2003; Zeitlin ve diğ. 2006; Stewart ve diğ. 2007; Erdem ve diğ. 2010; Kaloshkin ve diğ. 2012; Nambiar ve Yeow 2012). Etkin bir radyasyondan koruyucu materyalin seçimi veya tasarımı için göz önünde tutulması gereken iki önemli durum vardır. Bunlar;

- a) Soğurulacak (veya zayıflatılacak) olan radyasyonun (foton veya parçacık) türüne,
- b) Hedef materyal ile radyasyonun etkileşmesine (yüksek enerjili foton-madde ve parçacık-madde etkileşmesi).

Kurşun ve diğer yüksek atom numaralı materyaller X ve gama ışınları gibi yüksek enerjili radyasyonların zayıflatılmasında kullanılır. Bununla birlikte, yüksek atom numaralı elementlerin, özellikle de uzay veya nükleer laboratuvarlarda nötron parçacık yayımlanması gibi durumlarda, her zaman her türlü radyasyonları engellemesi mümkün değildir. Üstelik bu materyallerden yapılmış radyasyon koruyucu donanımlar ağır ve hantal olmakta ve bu durumlar birçok uygulamalarda genellikle istenmeyen bir özelliklerdir. Örneğin insanlı uzay mekikleri ve seyyar nükleer cihazlardaki radyasyon koruyucu materyallerin araç ve cihazların maruz kaldığı alan ve manevra kabiliyetlerindeki sınırlamalardan dolayı çok hafif ve küçük hacme sahip olmaları tercih edilir. Spesifik uygulamalar veya radyasyon tipine bağlı olarak ihtiyaca göre tasarlanmış yeni zırhlama materyallerin geliştirilmesine yönelik ihtiyaç ve talep gün geçtikçe artmaktadır. Son yirmi yılda yüksek enerjili radyasyonun zayıflatılması/absorbe edilmesi için nano ve mikro kompozit materyallerin uygulanmasına yönelik değişik çalışmalar yapılmıştır (Xu ve diğ. 2008). Kim ve diğ.(2014) polimer tabanlı YYPE ana matris içerisine nano boyutta katkıladığı BN ve B₄C ile elde edilen nano kompozit malzemelerin termal nötronu soğurma kabiliyetleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, mikro boyutta çalışmalara kıyasla nano boyutta hazırlanan kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımlarının %20 oranında iyileştiği, termal nötron soğurmalarının

da daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Günümüz de farklı şekillerde zırhlama malzemesi kullanılmaktadır. Örneğin; katmanlı şekilde hazırlanan zırhlama materyallerinin birinci bölgesi hızlı nötronlar yavaşlatılması, ikinci bölge ise yavaşlatılan (termal enerji seviyesindeki) nötronlar etkin bir şekilde soğrulmasının gerçekleşmesi prensibine dayanılarak tasarlanmaktadır (Nasrabadi ve Baghban, 2013).

Polimer matris içinde dağılan mikro veya nano materyaller (fillers) etkili radyasyon zırhlayıcıların tasarlanması için kullanılabilir. Uygun yapısal materyaller ve uygun mikro veya nano malzemelerin karışımı ile etkin bir zayıflama elde edilebilir. Polimer tabanlı kompozitler değişik nedenlerden (fiziksel ve kimyasal vb. özellikler) dolayı radyasyon zırhlama materyalleri olarak düşünülen ve üzerinde ciddi bir şekilde durulan önemli malzemelerdir. Bununda değişik nedenleri vardır. Bunlar;

- a. Çok mükemmel bir geometrik uygunluk sunarlar ve ilgili endüstrilerde yaygın olarak kullanılan metal veya alaşımların yerine yapısal materyal olarak kullanılabilirler.
- b. Metal emsallerine göre oldukça hafiftirler ve özellikle uzay ve havacılıkta kullanılırlar.
- c. Çok iyi termal ve mekanik özellik gösterdiklerinden yüksek sıcaklıklı, oksitli ve korozyonlu ortamlarda kullanılabilirler.

Günümüzde radyasyon zırhlayıcı maddeler üzerine detaylı olarak çalışılmakta, özellikle de nötron zırhlama için kullanılan hidrojen, bor ve ürünleri, kadmiyum, zirkonyum ve lityum içeren maddeler ön plana çıkmaktadır. Nötron zırhlamada geleneksel olarak su, polietilen, parafin mumu ve beton oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Kurşun ise alfa parçacıklarının, gama ve X-ışınları gibi değişik tipteki radyasyonun zırhlamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilim insanları, çeşitli nedenlerden dolayı, son 15-20 yıldır çok değişik radyasyonlu ortamlar için çok çeşitli radyasyon zırhlama materyalleri üzerinde oldukça yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Örneğin; bor karpit katkılı polietilen tabanlı zırhlama materyalleri ve beton nükleer güç reaktörleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren ortamlarda, özellikle reaktör kazalarında kullanılamazlar. Buralarda kullanılmak üzere karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit malzemelerin ve değişik maddeler katılarak elde edilen betonların kullanılabilirliği üzerine yapılmış çalışmalar vardır. Nötron zırhlamada seramik, kolemanit ve epoksi reçine tabanlı materyaller, çelik reçine ve parafin/polietilen ve bor karışımı, termal nötron zırhlamada ise bor karpit katkılı doğal kauçuk kompozitlerin kullanılmasının araştırıldığı çalışmalara rastlamak mümkündür (Okuno 2005; Gwaily ve diğ. 2002; Calzada ve diğ. 2011). Çok fonksiyonlu polimer kompozitlerin inorganik katkı maddeleriyle birleştirilmesiyle yapısal, radyasyon zırhlayıcı ve hatta yanmaya karşı direnç özellikleri geliştirilebilir. NASA, özellikle polietilen, poliimid vb. gibi hidrojen içeriği yüksek ve her anlamda kolay üretilebilir ve işlenebilirliklerinden dolayı bu tür polimerlerin zırhlama özellikleri üzerine yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Harrison ve diğ. (2008) YYPE içerisine BN ekleyerek ürettikleri malzemelerin mekanik ve radyasyon zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Saf YYPE içerisine %2 BN eklenmiş kompozit malzeme ile alüminyumun 600 MeV civarında nötron enerjisi ile karşılaştırmışlardır. Benzer olarak, yüksek enerjili nötronlar altında YYPE/BN kompozitleri ile alüminyum benzer özellik göstermişlerdir. Poliimid polimer tabanlı malzemelerin içerisine nötron tesit kesiti yüksek olan bor ve nano boyutta (Li, Gd, Sm)

gibi elementlerinde eklenmesiyle elde edilen çoklu kompozit malzemelerin mekanik ve zırlama özelliklerini incelendiği çalışmalar yapılmıştır (Wang ve diğ. 2015).

Nötron zırlamada geleneksel olarak kullanılan zırlama materyalleri ve sınırlılıkları özetle Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Nötron zırlamada kullanılan materyaller ve sınırlılıkları

Kullanılan Malzeme	Sınırlılıkları
Su	Korozyon problemine neden olur, bunun önlenmesi için pahalı korozyon önleyiciler kullanılmalı, istenmeyen sızıntılar verimsiz bir zırlamayı beraberinde getirir
Kurşun, Tungsten, Zirkonyum, Bizmut (ve diğer bazı metaller)	Hem ikincil gamaları ürettikleri hem de Tek başlarına nötronu (hızlı) soğurmazlar
Beton	Yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde tek başına kullanılmaz, hantal ve büyük hacim kaplamakta
Polietilen ve benzeri plastikler	Tek başına kullanılamazlar (kötü termal ve mukavemet özelliklerinden dolayı) mutlaka nötron soğurmada (düşük enerjide) etkileşme tesir kesitleri yüksek katkı maddesi kullanılmalı. Mikro ve makro ölçekte kullanılan dolgu malzemelerinin de artan hacim, fiyat ve ağırlık gibi problemlere neden olmaktadır.

Nötronun etkin bir şekilde zayıflatılmasında temel kural; hem yavaşlatıcının (moderatör) hem de soğurucunun (absorber) zırlama materyalin içerisinde olmasıdır. Başka bir ifadeyle, ilk önce hızlı nötronlar termal enerji seviyesine yavaşlatıcılar tarafından elastik saçılmaya indirgenir ve daha sonra soğurucu tarafından absorbe edilir. Nötronlar için en etkin yavaşlatıcılar hidrojen içeriği yüksek olan maddeler, en iyi soğurucular ise düşük enerjili nötronların soğurulmasında ikincil gamaların oluşumunu minimize eden bir özelliğe sahip olması gerekir. Polietilen ve benzeri plastikler hidrojen bakımından zengin olması nedeniyle hızlı nötronları yavaşlatmak için kullanılır. Ancak tek başına kullanılmaları Çizelge 2.5’de bahsedildiği gibi bazı sınırlılıklarından dolayı tercih edilmemektedir. Bu sorunların aşılabilmesi için fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirecek aynı zamanda iyi bir nötron ve gama soğurucusu olması için nano parçacıklar eklenerek nano kompozit malzemeler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu malzemelerin başında bor ve ürünleri gelmektedir.

Nano bor ürünlerinin (B, B₄C, BN ve BNNTs) uygulama açısından avantajları kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Kompozit oluşturduğu malzemenin nötron absorpsiyonu gelişir,
- Şeffaf olması (bor nano parçacık, bor nitrür ve bor nitrür nano tüp) çok büyük bir avantajdır. Görünür ışık bölgesinde optiksel olarak geçirgendir.

- c) Termal olarak kararlı ve mekanik sağlamlılığı yüksektir. Böylelikle malzemenin zorlu ortamlarda (Su ve asidik ortamlarda) çalışmasına imkân verir.

Literatürde değişik tür polimerlere farklı nano/mikro parçacıklar ilave edilmesiyle elde edilen kompozitlerin farklı tür ve enerjilerdeki radyasyonlara karşı davranışlarının incelendiği sınırlı sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalardan bazıları özetle aşağıda verilmeye çalışılmıştır (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6. Standart radyasyon zırhlama materyallerine yerini alabilecek ve üzerinde çalışılan polimer tabanlı kompozit malzemeler

Radyasyon kaynağı	Kullanılan standart materyal	Kompozit materyal	Referans
Kozmik radyasyon	Yüksek yoğunluklu, zayıf mekanik özelliklere sahip olan alüminyumun	yüksek mekanik mukavemete sahip grafit mikro-fiber tabanlı epokisi reçine kompozitler	Gaier 2008
X (13 keV) ve gama (46,5 keV)	Kurşun ve Beton	Bromür (Br ₂) ve iyot bromit (IBr) ilave edilmiş grafit mikro-fiberler (epoksi reçine) ve Bizmut oksit nano parçacık katkılı polimer kompozitlerin	Nambiar ve Yeow. 2012
Yüksekenerjili radyasyonlara (UV ozon, 20 keV elektron demeti)	Kurşun (elektron için)	polimetilmetakrilat (PMMA), poly (4-metil-1-penten) (PMP) ve polietilen (PE) ile karbon nano tüplerin (CNTs) dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla elde edilen nano-kompozitler	Najafi ve Shin 2005
Nötron ve diğer radyasyonlar	Hidrojen içeriği yüksek materyal	Çok yüksek moleküler yoğunluklu polietilenli (UHMWPE) fiber takviyeli nano-epoksi kompozit	Seo ve diğ. 1988
Nötron ve gama	Hidrojen içeriği yüksek materyal ve kurşun	Saf betonun içerisine polisitiren katılmış kompozit (çimento ve barit agrega karışımı), camlı kolemanit (VC, 88µm, 0,833-5,613 mm tane boyutlarında) katılmış beton, beton/demir parçalıklı kompozit (VC'li ve VC'siz)	Nambiar ve Yeow. 2012

Çizelge 2.6'nın devamı

Radyasyon kaynağı	Kullanılan standart materyal	Kompozit materyal	Referans
Uzay araştırmalarında yüksek enerjili radyasyonun zırhlamasında	Alüminyum	Düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) düşük yoğunluklu maddeler olan boşluklu cam mikrosferle, soda kireç borosilikat'la, saf borosilikat'la ve alüminosilikat gibi maddelerle yapılmış kompozitler	Nambiar ve Yeow. 2012
Nötron (600 MeV), proton (12GeV, 30-200 keV)	Alüminyum	HDPE/BN (bor nitrür, μm boyutlarında) ve Titanyum dioksit nano parçacık ilave edilmiş silikon kauçuk kompozitler	Harrison ve diğ. 2008 Di ve diğ. 2006
Gama ışınları ve yüksek atom numaralı parçacıklar gibi yüksek enerjili radyasyonlar	Kurşun ve Alüminyum	Farklı tipte kil minerallerinin (μm ve nm boyutlarında) dolgu maddesi olarak kullanıldığı montmorilonit (MMT) ve triblok ko-polimer stiren-bütadien-stiren/orgonokil MMT (OMMT) nano kompozitler	Zhang ve diğ. 2004
Hızlı ağır iyon (SHI) radyasyon	Alüminyum	Poly (viniliden florür) (PVDF), poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)(HFP) ve poly(vinylidene fluoride-cochlorotrifluoroethylene) (CTFE)/kil nano kompozitler	Tiwari ve diğ. 2012
Nötron	Hidrojen içeriği yüksek malzemeler	Polietilen ve boratlı polietilen (bor oksit ve polietilen karışımı), bor ve kadmiyum ile zenginleştirilmiş camlar, borik asitli kauçuklar, kauçuk/polimer kompozitler (örn, kurşunlu kauçuk/polimer kompozit) ve ^6LiF 'lü metathesis-polimerler	Subramanian ve diğ. 2010 Sakurai ve diğ. 2004

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Tez çalışmasında kullanılan malzemeler ve malzemelerin özellikleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Nano kompozit üretiminde kullanılan malzemeler

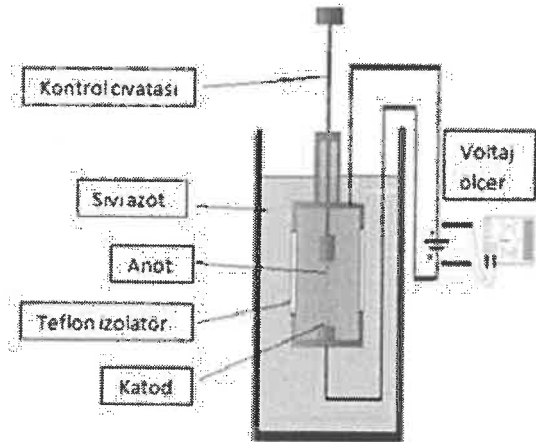
Malzeme	Kısa İsim	Özellik
Yüksek Yoğunluklu polietilen, Sabic	YYPE	MFI:10g/dak(190°C, 2.16 kg)
Gadolinyum Oksit, Selçuk Üniversitesinde sentezlendi	Gd ₂ O ₃	Levhaların kalınlıkları 20 nm ile 50nm, levha boyutları ise 30nm ile 500nm arasında
Nano Bor Nitrür, Selçuk Üniversitesinde sentezlendi	Nano h-BN	Nano disk halinde ve disk boyutları 30-300nm arasında
Bor Nitrür, Türkiye	BORTEK	8µm'lik nanometre boyutlu agglomeratlar
Poliimid	PI	Ultem, Amorf Polieterimide Sabic
Bor Karbür	B ₄ C	Levhaların boyutları 50-200 nm, boyutlar ise ortalama 100-150 nm civarında

3.2. Yöntem

3.2.1. Ark-Deşarj yöntemiyle nano yapılı tozların üretilmesi

3.2.1.1. Bor Nitrür nano platelet (nano disk, h-BN) üretimi

Ark deşarj yöntemiyle nano boyutta partikül üretmek yaygın kullanılan bir metottur. Ark deşarj ünitesi; anot ve katot olmak üzere 2 elektrottan oluşur. 12 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde saf grafit çubuğu anot, aynı saflıkta 10 mm çapında 55 mm uzunluğunda grafit çubuğu da katot olarak kullanılır. Anot çubuğundaki grafit 6 mm çapında 40 mm derinliğinde delinir ve içine mikro boyutta bor nitrür partikülleri konulur ve katalizör görevi için Nikel tozları (ağırlıkça %5) ilave edilir. Her iki elektrod dikey olarak 5 L cam beakera konulur. Daha sonra sıvı nitrojen beakarlara dikkatli bir şekilde yavaş yavaş dökülür. Ark anot ve katot olan çubukların birbirine temas etmesiyle başlar ve 5 dakika boyunca sonsuz vida yardımıyla belirli aralıkta devam eder. Bütün BN partiküller iki elektrod arasında yüksek sıcaklıktan dolayı ark sırasında buharlaşır, iyonlarına ayrılan partiküller sıvı nitrojenle temas ettiği anda tekrar katılaşır nano boyutuna indirgenir. Nitrojenin buharlaşması beklenir ve nano boyutta bor nitrür partiküller elde edilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Ark-deşarj deney düzeneğinin şematik görünümü (Eskizeybek 2012)

3.2.1.2. Bor karbür (B_4C) nano partikül üretimi

Bor karbür yüksek ergime noktası, üstün mekanik özellikleri, sertliği ve nötron soğurma özelliklerinden dolayı önemli bir malzemedir. Tez çalışması için B_4C 'ün üretilmesinde iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar a) Arkdeşarj yöntemi: nano bor nitrid (BN) malzeme üretiminde kullanılan yöntem ve üretim tekniği nano bor karbürün üretimi içinde uygulanmıştır. Ana malzeme olarak B_4C granül ve ortam olarak sıvı azot kullanılmıştır. Ark sırasında iyon fazına geçen bor ve karbon iyonları ani soğuma sırasında başka bir iyon olmadığından tekrar birleşerek B_4C nano partiküllerin oluşumunu sağlamıştır. Ark ile birlikte çok az miktarda sıvı azotun iyon formuna geçmesi de mümkündür. Bu azot iyonları bor ile birleşerek BN oluşturabilirler ancak bu miktar ihmal edilecek kadar düşüktür, b) Öğütme yöntemi: Öğütme yöntemi ball-milling cihazıyla yapılır, bu cihaz 1 kase ve farklı çaplarda bilyelerden meydana gelir. Bunların tamamı tungsten karbid malzemesinden oluşur. Bu tungsten karbid bor karbür malzemesinden de sert bir malzemedir. Sert malzeme olduğu için bor karbür malzemesini ezerek nano boyutuna indirger. 9 adet 2 cm çapında bilyeler, etanol ve saf malzeme olarakta makro boyutta bor karbür kasesinin içine konularak 200 rpm belirli aralıklarla 90 saat cihazı çalıştırmak suretiyle nano boyutta bor karbür üretilmiştir.

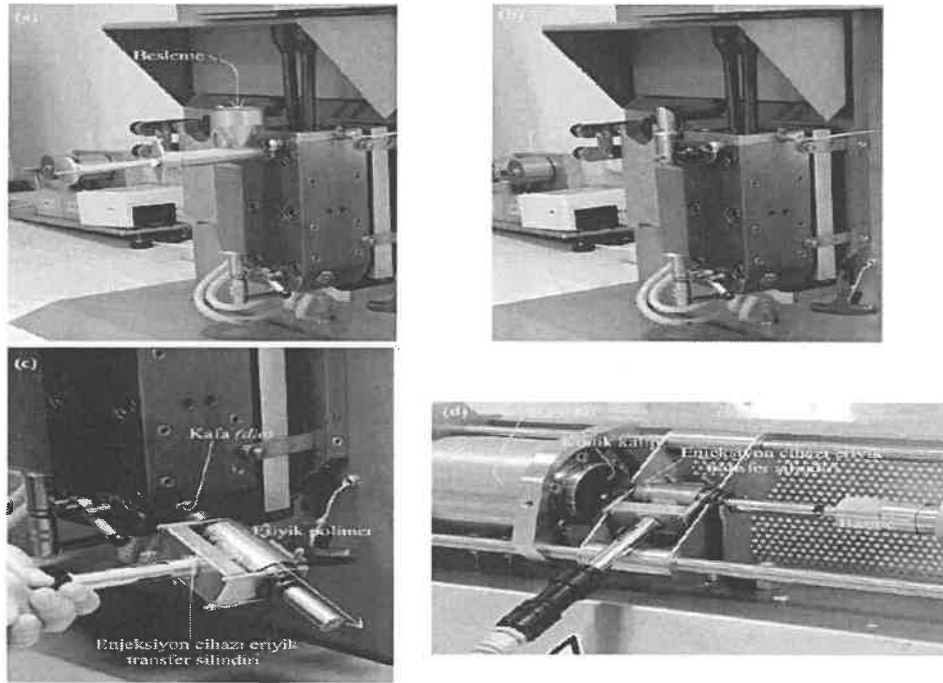
3.2.1.3. Gadolinyum oksit (Gd_2O_3) nano partiküllerin üretimi

Bor nitride benzer şekilde Gd_2O_3 nano partiküllerde arkdeşarj ünitesinde üretilmiştir. Arkdeşarjla üretim esnasında elektrod olarak mikro boyutta toz formda gadolinyum oksit ve ortam olarak de-iyonize su kullanılmıştır. Ark sırasında de-iyonize su hidrojen ve oksijene ayrılarak iyon fazına geçerler, iyon fazına geçen Gd ile iyon fazındaki oksijen birleşerek Gd_2O_3 bileşiğini oluştururlar ve nano boyutta ortama dağılırlar. Böylelikle nano boyutta Gd_2O_3 üretimi gerçekleşmiş olur.

3.2.2. Yüksek yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Poliimid (PI) esaslı h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ katkılı nano kompozitlerin üretimi

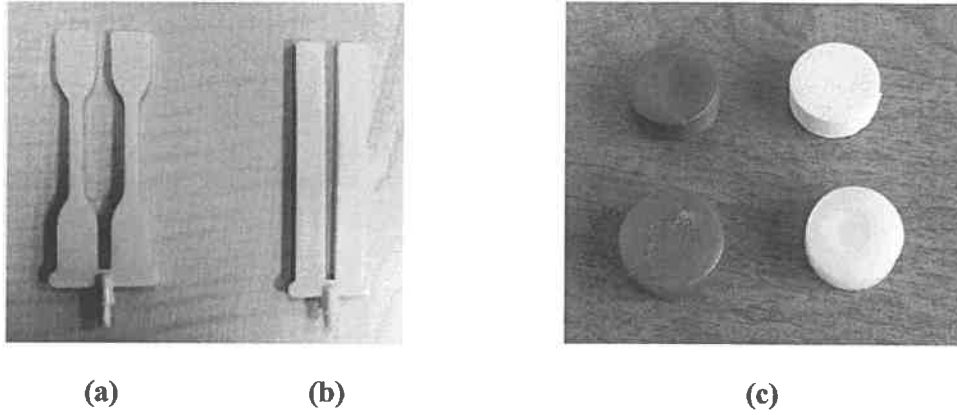
3.2.2.1. Harmanlama ve enjeksiyonlu kalıplama ile örnek hazırlama

Bu tez çalışması kapsamında laboratuvar tipi (mikro-harmanlayıcı) Xplore Instruments marka bir ekstrüder kullanılmıştır. Mikro-harmanlayıcı cihazı dikey konumlandırılmış konik, çift burgulu bir ekstrüderdir. İlk aşamada kompozitler Şekil 3.2'de gösterilen çift burgulu ekstürde (Xplore 15cc micro-compounder) 80 rpm vida hızı ve 180 °C sıcaklıkta 5 dakika boyunca karıştırılmışlardır. Karıştırma süresi sonunda eriyik direkt olarak enjeksiyon makinesine transfer edilmiş 10 bar basınç ve 180 °C sıcaklıktan 25 °C kalıba basılmıştır (Şekil 3.2.d).



Şekil 3.2. Mikro-harmanlayıcı ve mikro-enjeksiyon kalıplama cihazının kullanım aşamaları a) Belirlenen kompozisyondaki örneklerin besleme hunisi ile mikro-harmanlayıcıya aktarımı; b) Belirlenen ekstrüzyon şartlarında harmanların hazırlanması; c) Harmanlama işlemi sonrası elde edilen eriyiğin mikro-kalıplama cihazı transfer silindrine aktarılması; d) Belirlenen basınç profilinde harmanların kalıplanması (Karagöz 2012)

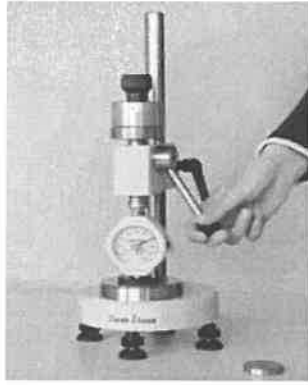
Hazırlanan kompozitlerin kalıba basılmış halleri Şekil 3.3'de verilmiştir. İki farklı ana yapıda ve değişik oranlarda nano parçacık (h-BN, B₄C ve Gd₂O₃) içeren nano kompozitler, nötron ve gama radyasyonlara karşı soğurma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla 1 cm kalınlığında ve 2.5 cm çapında üretilmiştir (Şekil 3.3.c). Bununla birlikte, çok sert bir malzeme olan bor karbür poliimid ile ekstürde karıştırılırken, cihaz içerisinde çok ciddi zedelenmeler meydana getirmiştir. Hem bu sebepten, hem de katkılanan nano parçacıkların yüzde miktarları arasındaki farkın net olarak belirlenmesi amacıyla B₄C ve Gd₂O₃ katkılı örneklerin sayısı azaltılmış ve (B₄C/Gd₂O₃)/PI örnekler ise 0,5 cm kalınlıkta üretilmiştir.



Şekil 3.3. a) Çekme dayanımı; b) Darbe dayanımı; c) Nötron-gama radyasyonu soğurma deneyleri için hazırlanan örnekler

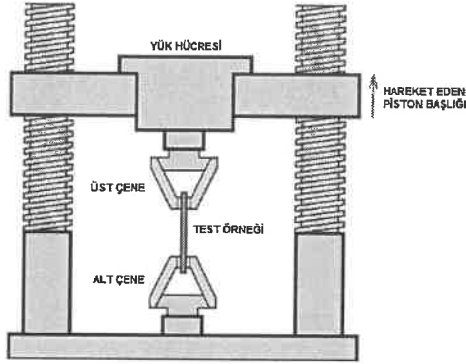
3.2.2.2. Mekanik Testler

Sertlik testleri Şekil 3.4’ de gösterildiği gibi Shore A durometre ile yapılmıştır. Çekme testi malzemenin dayanıklılığı hakkında bilgi edinmek ve malzemenin özelliklerinin kabul edilebilir olduğunu belirlemek için sıkça kullanılan bir yöntemdir. Çekme testi ise Şekil 3.5’de gösterildiği gibi Instron marka universal test cihazında 10mm/dak hızla ISO 527’ye uygun olarak yapılmıştır. Çekme testi sonrasında her bir kompozit malzeme için elde edilen gerilme-gerinim grafiğinden test örneklerine ait elastisite modülü ve kopmada uzama değerleri belirlenmiştir.



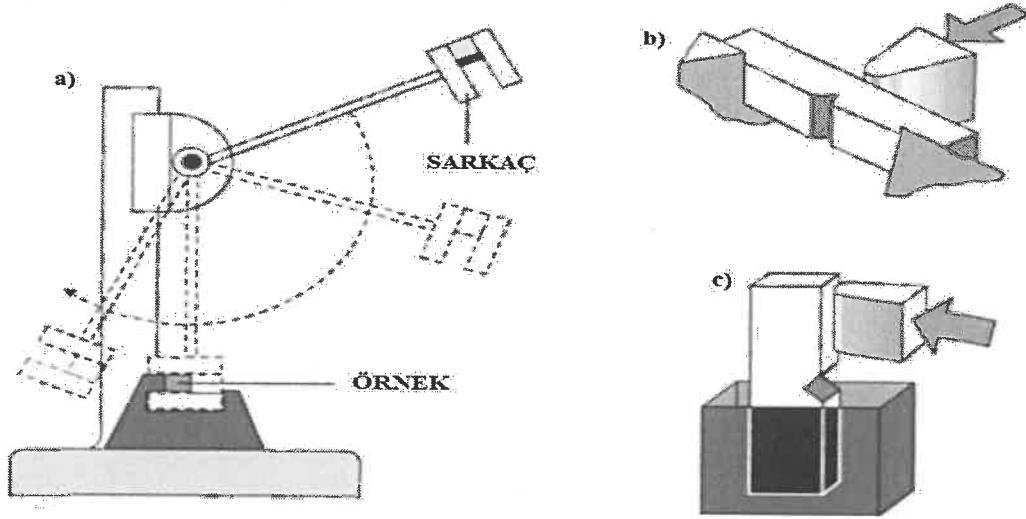
Şekil 3.4. Sertlik testi cihazı

Darbe testi bir malzemenin ani bir darbe ile karşılaştığında gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Bir başka ifadeyle, tokluk bir malzemenin kırılmadan önce absorbe edebileceği enerji miktarının ölçülmesidir. Bir malzemenin darbe dayanımı uygulanan testin hızı, test örneğinin geometrisi ve test sıcaklığı gibi faktörlere bağlıdır. Kırılma mekanizmasının temeli çatlak ucuna uygulanan kuvvetin ölçülmesine dayanır.



Şekil 3.5. Çekme test cihazı (Kodal 2014)

Izod darbe testleri ISO 180 standardına göre, oda sıcaklığında ZWICK/ROELL marka darbe test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test edilecek numunenin genişliği ve kalınlığı ölçüldükten sonra her bir örneğe 2 mm'lik V- şekilli çentik açılmıştır. Çentik açılan malzemeler darbe makinesinin alt sıkıştırma bölümüne sıkıştırıldıktan sonra sarkaç belirli bir yükseklikten ilk hızsız olarak bırakılmıştır. Numune kırıldıktan sonra, sarkacın çıktığı yükseklik değeri ölçülmüş ve numuneyi kırmak için gerekli olan enerji miktarı hesaplanmıştır (Şekil 3.6).

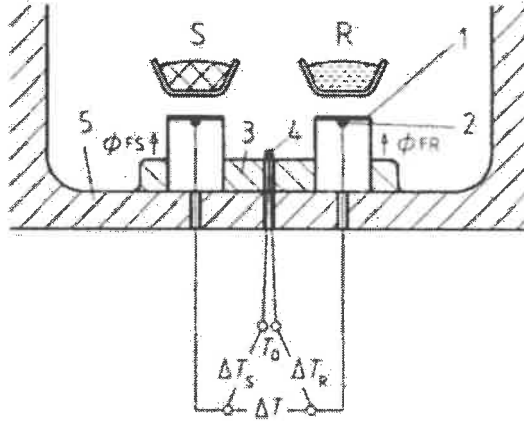


Şekil 3.6. Darbe testlerinin şematik çizimi; a) Hareketli sarkaç; örnek pozisyonu; b) Charpy testi; c) Izod testi (Kodal 2014)

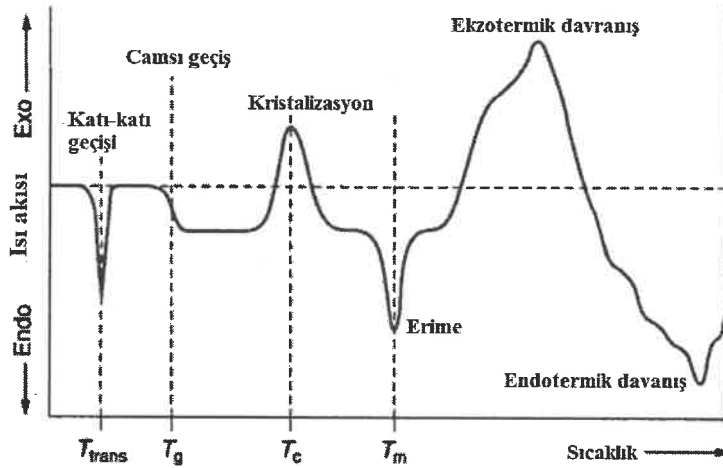
3.2.2.3. Termal testler

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) malzemenin ısı kapasitesinin (C_p) sıcaklıkla değişimini inceleyen bir ısı analiz tekniğidir. Kütlesi bilinen örnek ısıtılarak veya soğutularak ısı akışı değişirken ısı kapasitesinde meydana gelen değişiklikler tespit edilir. Böylece ısı geçişler esnasında malzemenin erime sıcaklığı, camı geçiş sıcaklığı,

kristalizasyon sıcaklığı, entalpi değişimleri, pişme sıcaklığı ve ısıl bozunma sıcaklığı gibi değerleri belirlenebilir (Şekil 3.7). DSC analizi tamamlandıktan sonra Şekil 3.8'de gösterildiği gibi DSC termogramları elde edilir ve buradan test edilen malzemeye ait ısı geçişler belirlenebilir.



Şekil 3.7. DSC hücresinin kesit alanı; 1- Örnek ve referans örnek için yükseltilmiş platform; 2- Kromel ısı eleman (thermocouple); 3- Bakır ve nikel alaşımından (konstantan) oluşan gövde, 4- Kromel-konstantan ısı eleman; 5-Gümüş fırın

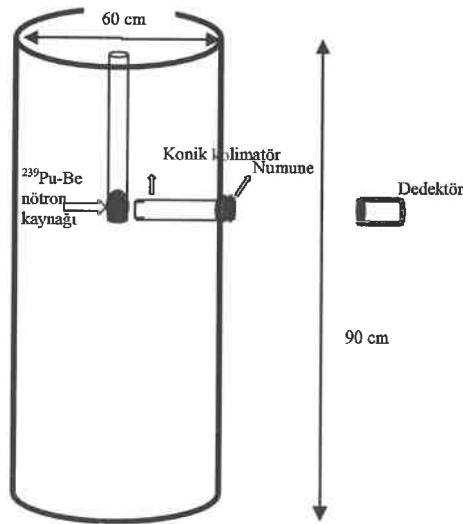


Şekil 3.8. Bir polimer örneği için tipik bir DSC eğrisi

3.2.3. Nano kompozitlerin nötron, gama soğurma karakterizasyonları

3.2.3.1. Nötron soğurma deneyleri

Deneylerde İTÜ Enerji Enstitüsü'nde İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü mekânı içinde bulunan Nuclear Chicago Corporation tarafından üretilen $1,85 \times 10^5$ MBq (5 Ci) aktiviteli ($^{239}\text{Pu-Be}$) Nötron Howitzer-3 (NH-3) kaynağı kullanılmıştır (Yiğit 1996; Nuclear-Chicago 1960). Howitzer 60 cm çap ve 90 cm yüksekliğinde silindirik yapıda çelikten yapılmış bir kabuk içerisindedir (Şekil 3.9).

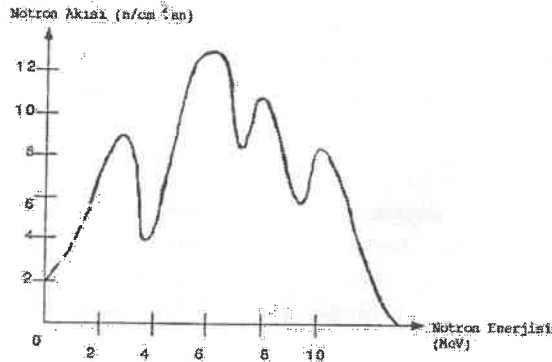


Şekil 3.9. Nötron soğurma deneylerinde kullanılan deney setinin şematik görünümü

Kaynağın etrafı yaklaşık 25 cm kalınlığında özel parafin ile kapatılmıştır (Gordus 1967). Nötron akısı 10^6 n/cm² s'dir. Howitzerde üretilen nötronların ortalama enerjisi 4-4,5 MeV arasındadır (Yiğit 1996)(Şekil 3.10). Çizelge 3.2 'de deneylerde kullanılan nötron kaynağının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. $^{239}\text{Pu-Be}$ nötron kaynağı (Nötron Howitzer, NH-3)'nın genel özellikleri (Url-5).

Nötron kaynağı	$^{239}\text{Pu-Be}$ Nötron kaynağı
Nötron kaynağı tipi	Nuclear Chicago Corporation
Nötron üretim reaksiyonu	(α, n)
Aktivite	1.85×10^5 MBq(5 Ci)
Nötron akısı	10^5 n/cm ² s
Üretilen nötronların ortalama enerjisi	4 Mev



Şekil 3.10 . Nötron Howitzer-3 kaynağının nötron enerjisi-nötron akısı dağılımı (Yiğit 1996).

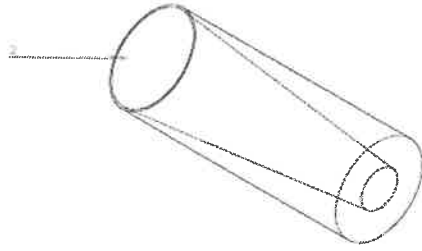
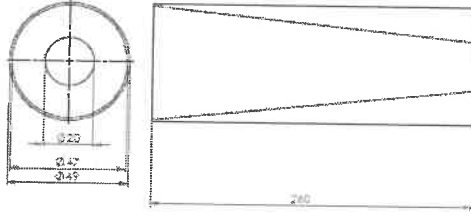
Şekil 3.11'deki deney düzeneği kullanılarak nötron geçirgenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan ^{239}Pu -Be nötron kaynağından yayınlanan nötronların soğurucu madde ile daha net bir şekilde etkileşmesi ve enerjilerindeki kaybın minimum olması için, çapı 4.9 cm'den 2 cm'ye düşecek şekilde tasarlanan ve çelikten üretilen bir konik kolimatör kullanılmıştır. Deneyde kullanılan konik kolimatörün kesit ve gerçek görüntüsü, sırasıyla Şekil 3.12'de verilmiştir.



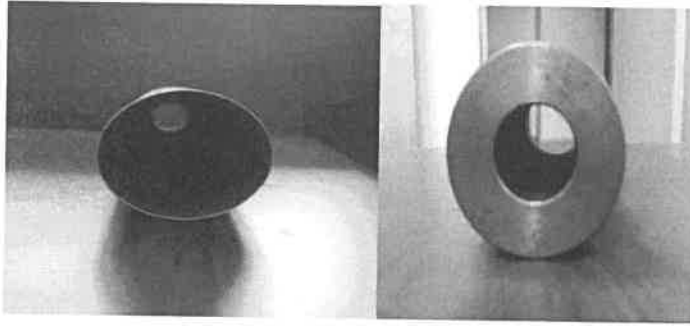
Şekil 3.11. İTÜ Enerji Enstitüsünde nötron geçirgenlik deneylerinde kullanılan deney düzeneği

Üretilen nano kompozitlerin nötron soğurma/geçirgenlik karakteristikleri, farklı kalınlıkta (1-6 cm aralığında) nötron geçirgenlikleri (I/I_0) ölçülerek belirlenmiştir. Nötron radyasyonun doğasından, deneylerde kullanılan detektörün (He-3 gazı içeren Targetinside Identifier Detector) tepkisinin yavaş olmasından ve belirli aralıklarla alınan ölçüm sonuçlarındaki dalgalanmalardan dolayı, nötronun soğurucu maddeyle etkileşme süresi (pozlama) her bir kalınlık için 180 saniye olarak (3 dakika) belirlenmiş ve bu süre boyunca örnekler nötron radyasyonuna maruz tutulmuştur. Soğurma deneylerinde verilerin daha sağlıklı elde edilmesi ve analizlerinin yapılabilmesi için,

deney süreçleri video çekimi ile kayıt altına alınmıştır. Böylelikle her üç dakikalık (180 saniye) süre içerisinde detektördeki nötron sayımının (cps) ve gama doz hızının ($\mu\text{R/h}$) anlık olarak nasıl değiştiği ve bu değişimin nasıl olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.12. a) Kolimatörün kesit; b) Gerçek görüntüleri

Gerçekleştiren deneyler neticesinde toplam 50-55 saatlik video kaydı alınmıştır. Her bir örnek setinin nötronla pozlanmadan önce, detektörle kaynak arasında soğurucu materyal yok iken (I_0 boş) ölçümleri aksatılmadan alınmıştır. Bununla birlikte, deneylere başlamadan önce ortamın $^{239}\text{Pu-Be}$ nötron kaynağından kaynaklı temel nötron seviyesi ve gama doz seviyeleri (BKGR) ölçülmüştür. Deneyler boyunca alınan ölçümlerden, temel nötron seviyesi (BKGR) çıkarılarak nötron akısı ve net gama doz miktarları belirlenmiştir (Net sayım=Sayım-BKGR). Deneyde kullanılan detektör (He-3 gazı içeren Targetinside Identifier Dedektör) hem nötron (cps, parçacık/saniye) hem de gama radyasyonunu ($\mu\text{R/saat}$) eş zamanlı olarak algılama özelliğine (ana ekranda her iki radyasyonun değeri görülmektedir) sahiptir (Şekil 3.11). Dedektörün nötron duyarlılığı 2.6 cps/nv'dir. Kullanılan bu detektör sayesinde, nötron zırhlaması için üretilen nano kompozitlerin içeriğinde bulunan Gadolinyumun termal nötron ile

etkileşmesinde muhtemel gama ışınlarının oluşumu ve akabinde gama doz seviyesinin artması ihtimali deneyler süresince gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler süresince ölçülen gama dozunda herhangi bir anlık artış tespit edilmemiştir.

Üretilen nano kompozitlerin ^{239}Pu -Be nötron kaynağından yayınlanan yüksek enerjilere sahip nötronlara karşı zırlama özelliklerinin belirlenmesi işlemi, kaydedilen 50-55 saatlik video kaydının çözülmesiyle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlem oldukça zor ve uzun bir süreçte gerçekleştirilmiştir. Öyle ki her bir örnek setinin nötronla pozlama işlemi (bir boş sayım ve 6 adet örnek, 1cm~6 cm'e kadar 1 cm'lik arttırma) yaklaşık 20-25 dakika sürmektedir. Bu süredeki bir videonun nasıl çözümleneceği problemi, videoyu resme dönüştüren bir program kullanılarak aşılmıştır. Böylelikle her bir örnek için video çekimi 1 saniyelik karelere bölünerek yaklaşık 1300-1500 adet fotoğraflar haline dönüştürülmüştür. Daha sonra elde edilen fotoğraflardaki dedektör ekranındaki nötron sayısı ve gama doz hızları Excel çalışma kâğıtlarına aktarılmıştır. Bu işlemler sonucunda toplamda yaklaşık 80.000 fotoğraf tek tek incelenerek, her bir örnek ve kalınlık için nötron sayımı ve gama doz hızları belirlenmiştir. Excel çalışma kâğıtlarına aktarılan nötron sayımları teker teker incelenmiştir. DeneySEL ölçümler esnasında cihaz, ortam gibi sebeplerden kaynaklandığı düşünülen uç noktadaki nötron sayımları çıkarılarak, hazırlanan örnek setlerinin her kalınlık için hata hesapları yapılmıştır. Sonuç olarak, her bir örneğin nötron makroskobik etkileşme tesir kesiti (Σ) ve gama lineer soğurma katsayısı bağıntı(3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Sigma (\text{cm}^{-1}) \text{ ya da } \mu = \ln(I/I_0) / x \quad (3.1)$$

Yukarıda verilen bağıntıda I_0 , kaynak ile detektör arasında soğurucu materyal olmadan elde edilen gama ışını şiddeti, I soğurucu materyalden geçen gama ışını şiddeti, x ise kalınlığıdır.

Deney sonuçlarına göre her bir örneğin kalınlığına bağlı olarak ölçülen nötron sayımı ve gama doz hızındaki değişimlerin, farklı parametreler (kalınlık ve katkı oranları) göz önüne alınarak elde edilen grafikleri, "ORIJNPRO" programı kullanılarak "B-Spline" komutuyla (sadece göz takibi yapabilmek için) çizilmiştir. Ayrıca bu program yardımıyla çizilen grafiklere deneySEL ortamın güvenilirliği için yapılmış olan hata hesapları da eklenmiştir.

3.2.3.2. Gama soğurma deneyleri

Üretilen farklı katkı oranlarında, iki ana grupta dört farklı nano kompozitin (h-BN/Gd₂O₃/YYPE, B₄C/Gd₂O₃/YYPE, h-BN/Gd₂O₃/PI ve B₄C/Gd₂O₃/PI) farklı enerjilerde gama radyasyonunu soğurma karakteristikleri belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin maruz kaldığı farklı gama enerjisine ve kompozitlere katılan nano parçacık miktarına bağlı olarak, bağıntı (3.2)'de görüldüğü gibi kütle soğurma katsayısı;

$$\mu/\rho (\text{cm}^2 \text{g}^{-1}) = \ln \left(I_0/I \right) / \rho t \quad (3.2)$$

bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada I_0 , kaynak ile detektör arasında soğurucu materyal olmadan elde edilen gama ışını şiddeti, I soğurucu materyalden geçen gama ışını şiddeti, ρ maddenin yoğunluğu ve t ise kalınlığıdır.

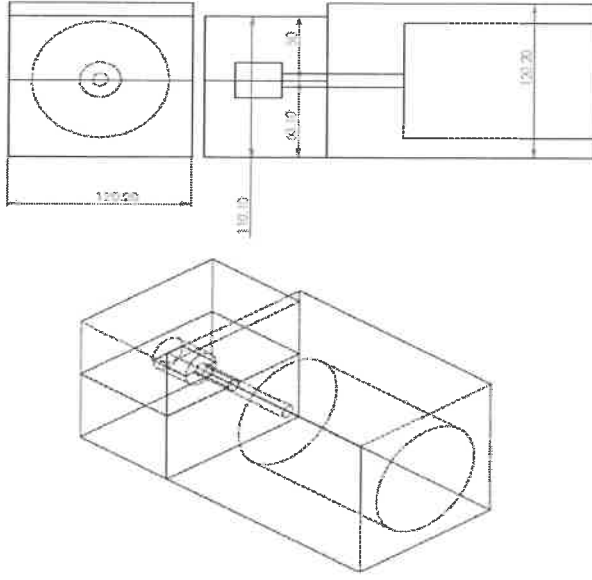
Üretilen nano kompozitler, Çizelge 3.3’de gösterilen pozlama sürelerinde altı farklı noktasal gama radyasyon kaynağı kullanılarak her kalınlık için farklı gama enerjilerine maruz bırakılmışlardır. Deneyler, Şekil 3.13’de kesit geometrisi, Şekil 3.14’de ise gerçek görüntüsü verilen deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen soğurucu materyallerin gama radyasyonunu soğurma kabiliyetleri zayıf olduğundan, bu deneylerde hem kaynağı hem de detektörü zırhlamak, kaynaktan çıkan ve detektöre ulaşan gama radyasyonu kolime etmek için kurşundan yapılmış bir sistem tasarlanmış, üretilmiş ve kullanılmıştır. Böylelikle daha net bir geometride deneyler gerçekleştirilmiştir.

Nano kompozitlerin gama soğurma deneylerinin, Bölüm 2.5.2’de detayları verilen Talyum katkılı Sodyum İyodür NaI(Tl) dedektörü kullanılarak ölçümleri alınmıştır. Spektrometre yazılım sisteminin programı olan “MAESTRO32” ile kaydedilen spektrumların analizleri yapılmıştır.

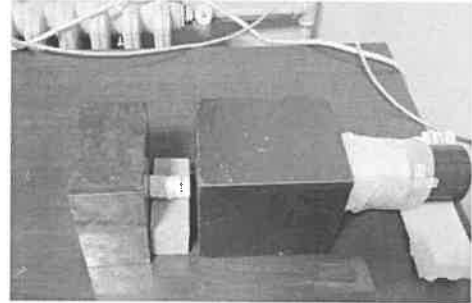
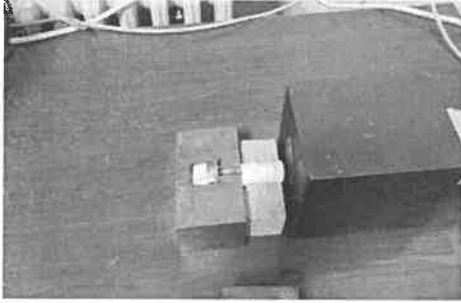
Üretilen nano kompozitlerin gama soğurma özelliklerinin belirlenmesinde öncelikle sayım sisteminin güvenilirliği test edilmiştir. Bu test ise; çalışmada kullanılacak noktasal gama kaynakları ile alüminyumun ve polietilenin kütle soğurma katsayıları deneysel olarak belirlenmiş ve çalışılan enerjilerde hesaplanan değerlerin WinXCom programıyla elde edilen teorik değerler ile karşılaştırılmasıyla yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Satın alınan radyoizotoplar ve enerjileri

Radyoizotop	Enerji (keV)	Sayma/pozlama Süresi (Saniye)
¹⁰⁹ Cd	88	500
⁵⁷ Co	122.07 ve 136.48	500
¹³³ Ba	356	500
¹³⁷ Cs	661.66	500
⁵⁴ Mn	834.8	500
⁶⁰ Co	1173.24 ve 1332.5	500



Şekil 3.13. Gama soğurma deneylerinin kesit geometrisi



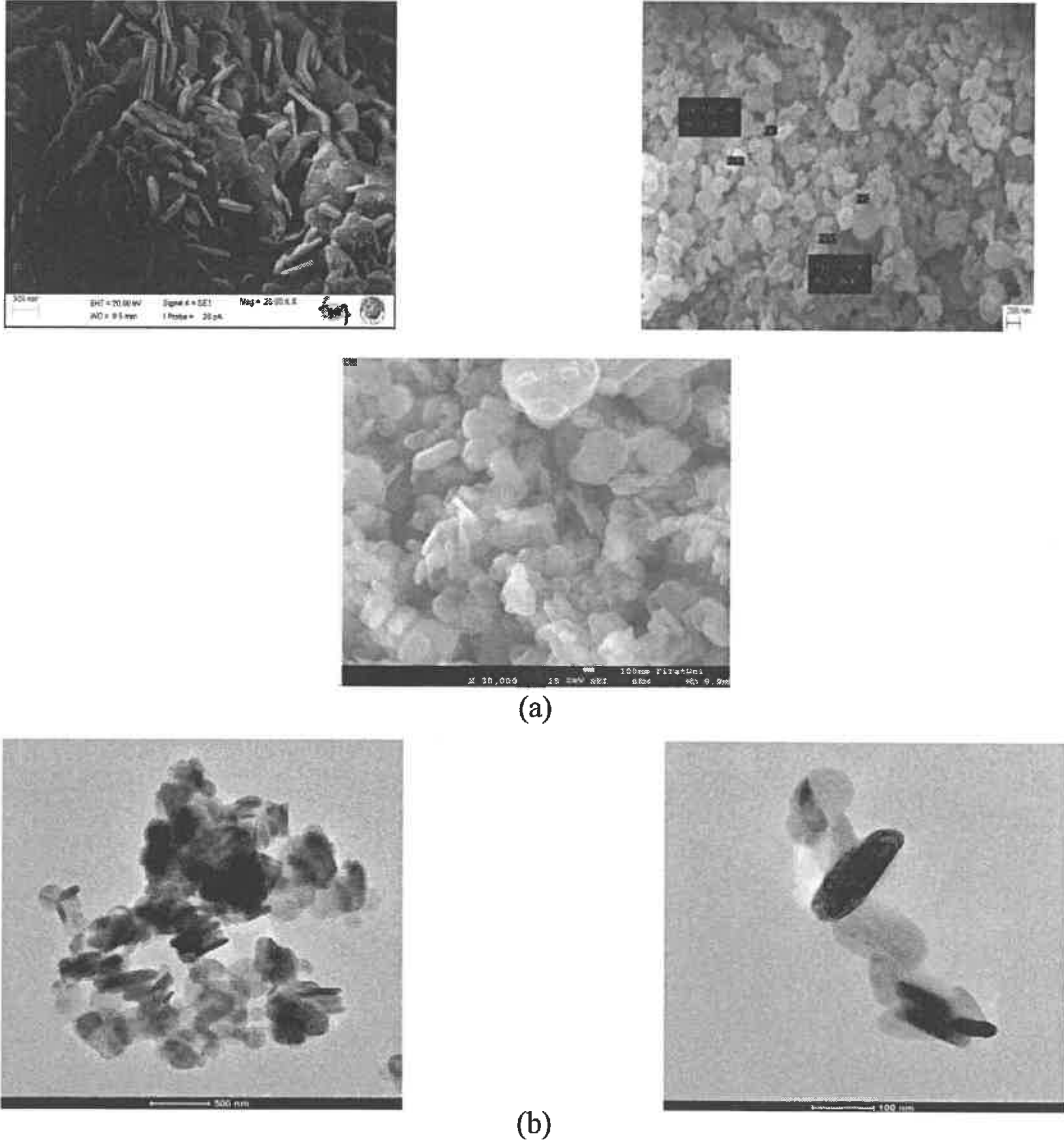
Şekil 3.14. Gama soğurma deneyleri

4. BULGULAR

4.1. Üretilen Nano Yapılı Tozların Karakterizasyonu

4.1.1. Bor nitrür nano plateletlerin (nano disk, h-BN) karakterizasyonu

Ark deşarj yöntemiyle üretilen h-BN nano plateletlerin (nano disk) SEM ve TEM görüntüleri ile EDX sonuçları ve XRD pikleri, sırasıyla, Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. a) h-BN SEM görüntüsü; b) TEM görüntüler

Şekil 4.1’de h-BN nano parçacıkların SEM ve TEM görüntüleri incelendiğinde nano parçacıkların morfolojik olarak farklı boyutlarda nano levha ve nano çubuklardan oluştuğu gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinden, h-BN disklerin kalınlıkları 20-80 nm ve disk boyutlarının ise 50-500 nm arasında değiştiği görülmektedir. BN nano partiküller farklı morfoloji yapılarında görülmektedir. Farklı uzunluk ve çapta nano çubuk olmasının sebebi ark deşarjın farklı voltajdaki dalgalanmasından meydana gelmektedir. Şekil 4.2’de h-BN nano parçacıkların EDX sonuçları verilmiştir.



Spectrum: Objects

Element	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
		[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]

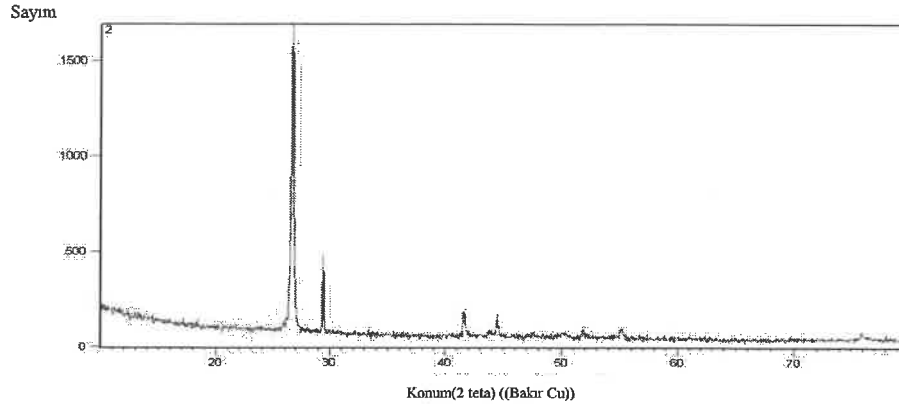
Nitrogen K-series	76.45	76.45	71.47	23.9
-------------------	-------	-------	-------	------

Boron K-series	23.55	23.55	28.53	7.5
----------------	-------	-------	-------	-----

Total:	100.00	100.00	100.00	
--------	--------	--------	--------	--

Şekil 4.2. h-BN EDX sonuçları

Şekil 4.2’de EDX sonuçlarına göre yapı içerisinde B ve N’nin yüzdece ağırlıkları, sırasıyla, 23.55 ve 76.45’tir. Ark deşarj deney sistemi ile sentezlenen BN nano levhaların kristeografik özellikleri XRD (X-ışınları kırınımı) tekniği ile belirlenmiş ve elde edilen XRD spektrumu Şekil 4.3’de verilmiştir. XRD ölçümlerine göre elde edilen karakteristik JCPDS (Card no. 34-0421) ile uyumlu olması, elde edilen yapının hegzagonal bor nitrür yapıya sahip olduğunun göstergesidir. Grafikte anlaşıldığı gibi en güçlü pik 27° ve bu da kafes yapısı olarak (002)’ye tekabül etmektedir. Diğer pikler ise (001) ve (101) kafes yapısında 42° ve 45° karşılık gelmekte, 30° pik katalizör görevi gören Ni partiküllerine aittir.

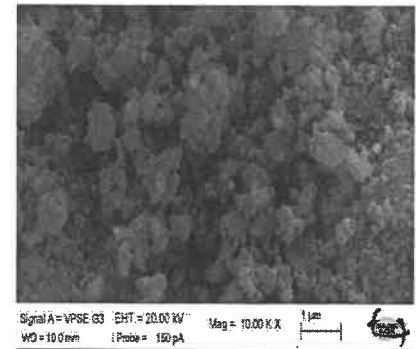
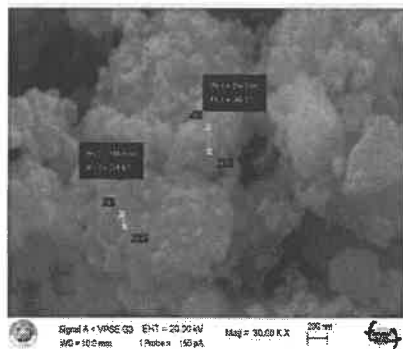


Şekil 4.3. h-BN XRD pikleri

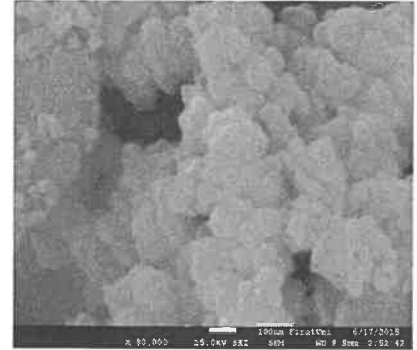
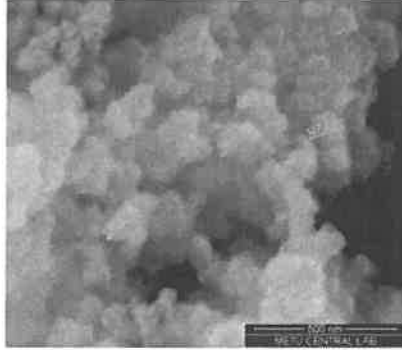
4.1.2. Bor karbür (B_4C) nano partiküllerin karakterizasyonu

Ark deşarj yöntemiyle B_4C üretiminin yanı sıra, Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan öğütme (ball-milling) cihazıyla da nano bor karbür üretimi yapılmıştır. Gerek ark deşarj gerekse öğütme yöntemi ile üretilen B_4C 'lerin SEM, TEM ve XRD ayrı ayrı verilmiştir (Şekil 4.4).

Şekil 4.4'de her iki üretim yöntemiyle üretilen B_4C 'lerin yaklaşık olarak aynı boyut ve yapılar da olduğu görülmektedir. B_4C nano partiküller değişik formlarda levhalar halinde ve levhaların boyutları 50 nm den 200 nm ye kadar değişmekte, boyutlarının ise ortalama 100-150 nm civarında olduğu görülmektedir. Ark deşarj yöntemiyle bor karbür üretmek zahmetli, büyük kütlelerde üretmek zaman alıcı, istenilen sonucu almak ve optimum akımı ayarlamakta oldukça zordur. Ball milling cihazı, daha kolay ve istenilen miktar/kütlede üretim yapılmaktadır. Şekil 4.5'te ise B_4C 'lerin TEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.1'de olduğu gibi, Şekil 4.5'de de her iki yöntemle üretilen B_4C yapılarından benzer TEM sonuçları elde edilmiştir. B_4C 'ün TEM görüntülerine bakıldığında nano levhalara ve grafene (Şekil 4.5.b) rastlanmaktadır.

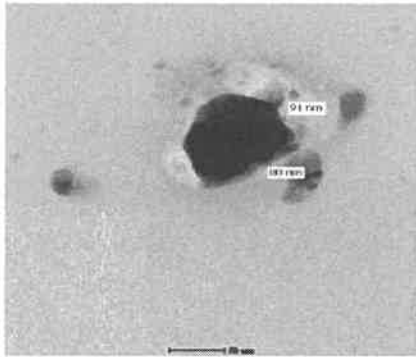


(a)

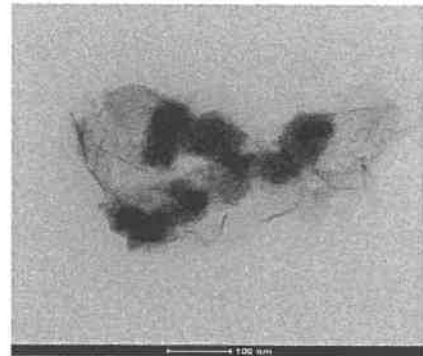
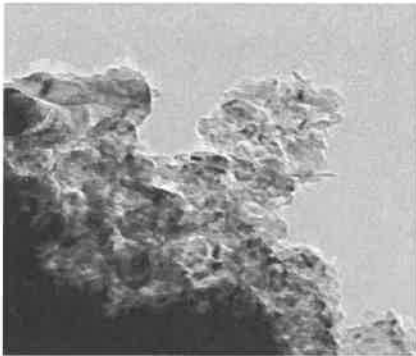


(b)

Şekil 4.4. a) Öğütme yöntemiyle; b) Ark deşarjla üretilen B_4C 'lerin SEM görüntüleri



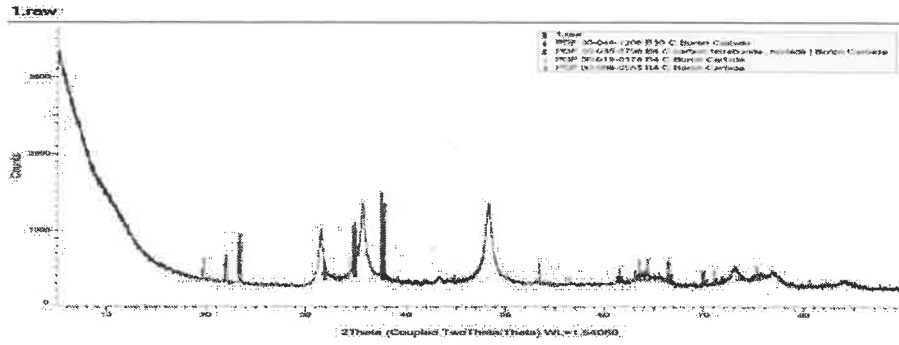
(a)

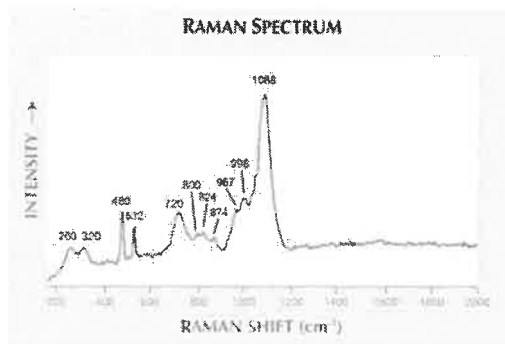
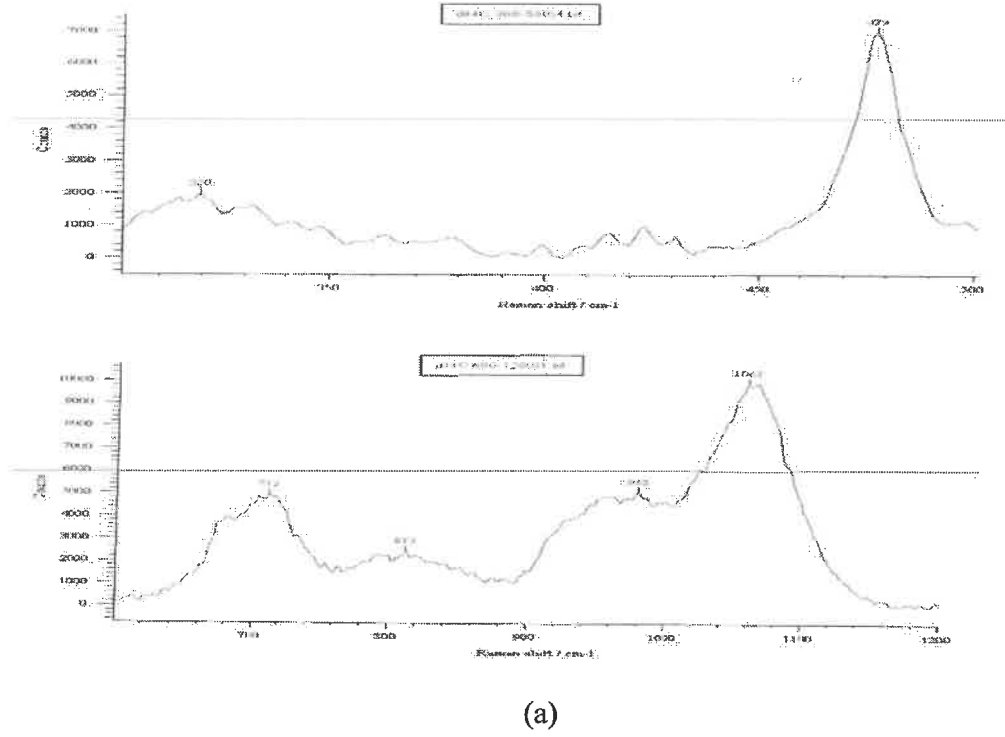


(b)

Şekil 4.5. a) Öğütme yöntemiyle; b) Ark deşarjla üretilen B_4C 'lerin TEM görüntüleri

Şekil 4.6'de B_4C nano parçacıkların XRD piklerini gösteren grafik verilmiştir. Pikler sırasıyla (101),(003),(110)... dereceleri $2\theta=20^\circ, 22^\circ, 24^\circ$..dir. Bu da kristal yapının rombo hedral olduğu literatür çalışmalarından anlaşılmıştır. 48° pik tungsten karbidin zamanla aşınmasından dolayı çok az miktarda (yaklaşık %3) tungsten karbid gözlemlenmiştir. Bu durum ball milling cihazında karşılaşılabilecek sorunlardan bir tanesidir ve sertliğine yakın malzemelerle çalışıldığında tungsten bilyelerin aşınması kaçınılmaz hale gelmektedir.



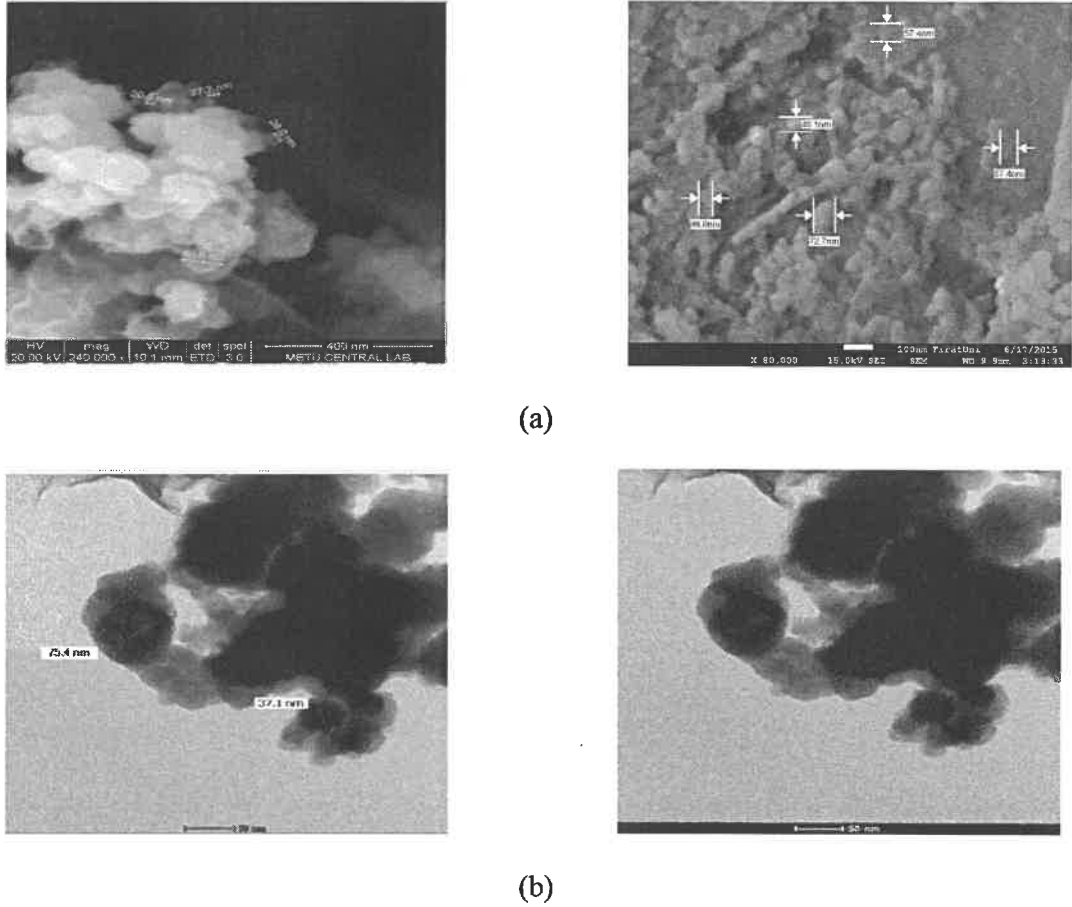


Şekil 4.8. a) Üretilen; b) Literatürdeki B₄C'nin Raman Spektrumları

4.1.3. Gadolinyum oksit (Gd₂O₃) nano partiküllerin karakterizasyonu

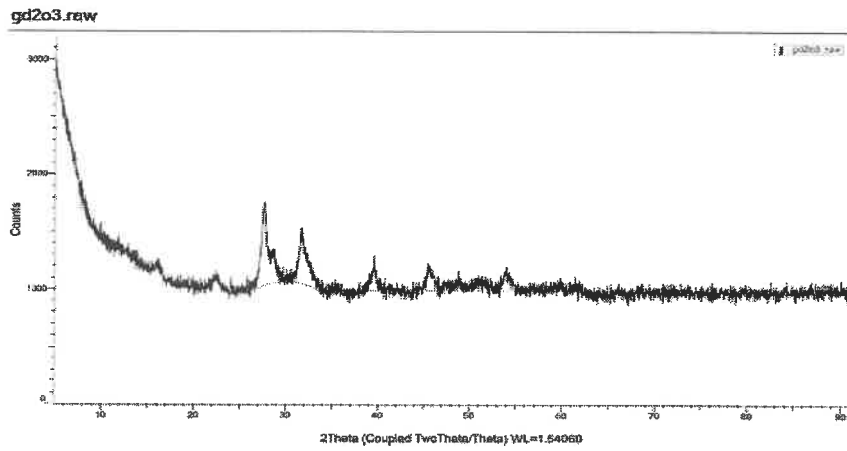
Ark deşarjla üretim esnasında elektrot olarak mikro boyutta toz formda gadolinyum oksit ve ortam olarak de-iyonize su kullanılmıştır. Ark sırasında de-iyonize suyun hidrojen ve oksijene ayrışarak iyon fazına geçmesi, iyon fazına geçen Gd ile iyon fazındaki oksijen birleşerek Gd₂O₃ bileşiğini oluşturması ve nano boyutta ortama dağılması sağlanmıştır. Böylelikle nano boyutta Gd₂O₃ üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen Gd₂O₃'e ait özelliklerin belirlenmesinde kullanılan SEM, TEM ve XRD'ler Şekil 4.9-4.11'de gösterilmiştir.

De-ionize suyun içinde 50 A uygulanarak oluşturulan ark deşarj ile elde edilen nano boyuttaki Gd_2O_3 'in SEM ve TEM görüntüleri Şekil 4.9 'da görülmektedir. SEM ve TEM görüntülerinde Gd_2O_3 nano partiküllerin çeşitli şekillerde olduğunu görmekteyiz. Bazıları küresel, bazıları küt kalın çubuklar şeklinde olup, düzensiz dağılan Gd_2O_3 küresel bir yapıya sahiptir. Nano boyuttaki partiküllerin boyutu ve şekli ark akımına bağlı olup, elde edilen bu nano yapının boyutları 20 ile 100 nanometre arasında değişmektedir. Üretilen ve literatürde çalışılan (10-100nm)(Khan ve diğ. 2014) Gd_2O_3 nano partiküllerin XRD pikleri Şekil 4.10'de gösterilmiştir.

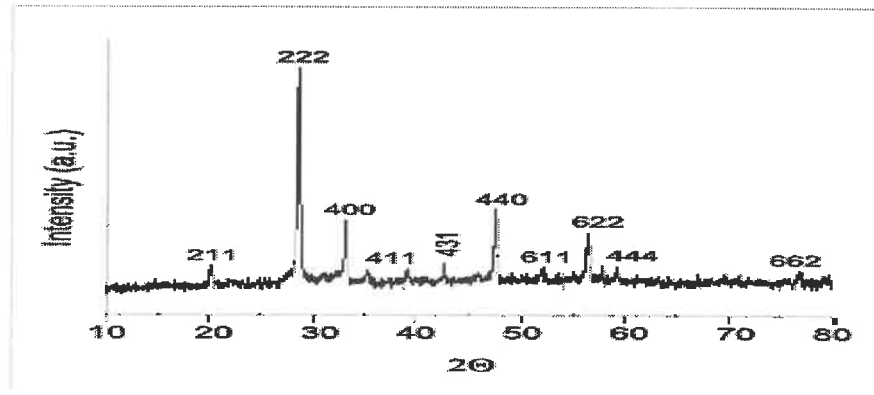


Şekil 4.9. Gd_2O_3 'in a) SEM; b) TEM görüntüleri

Şekil 4.10'da literatür ile karşılaştırılması yapılan Gd_2O_3 'ün XRD piklerine göre, üretilen nano yapı Gd_2O_3 'in kübik yapıda olduğu söylenebilir ($a=b=c=10.82311$ Å). Sırasıyla kafes yapıları ve pik dereceleri ise (221), (222) ve (400)... ve $2\theta=21^\circ$, 28° , 33° ve 39° ...'dır. Son olarak ark deşarj ile üretilen Gd_2O_3 nano parçacığın Raman analizi ve literatürdeki Raman pikleri (Selvalakshmi ve diğ. 2014) Şekil 4.11'de verilmiştir. Analiz sonucunda major pikler 362, 445 ve 570 belirgin pikleri Gd_2O_3 aittir. Literatürde yapılan çalışmalarda, benzer major piklere rastlanılmıştır.

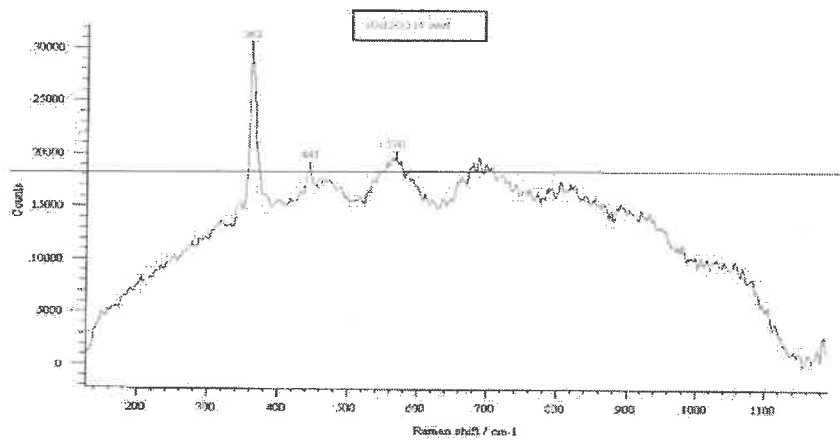


(a)

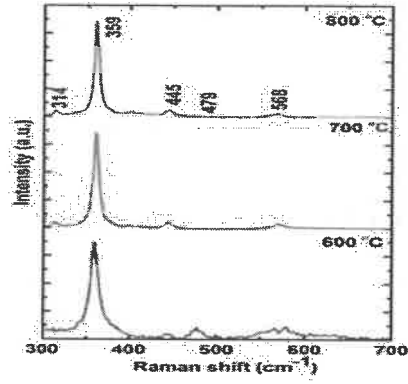


(b)

Şekil 4.10. a) Üretilen; b) literatürdeki Gd₂O₃ nano partiküllerin XRD pikleri



(a)



(b)

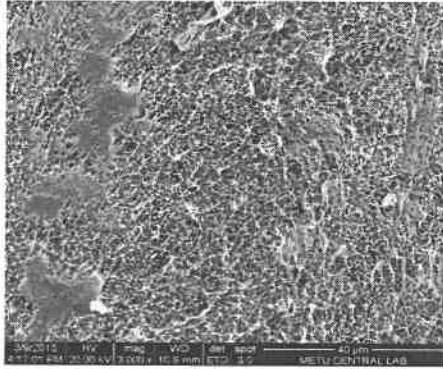
Şekil 4.11. a) Üretilen; b) literatürdeki Gd_2O_3 Raman sonuçları

4.2. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Poliimid (PI) Tabanlı h-BN, B4C ve Gd_2O_3 Katkılı Nano Kompozitlerin Karakterizasyonu

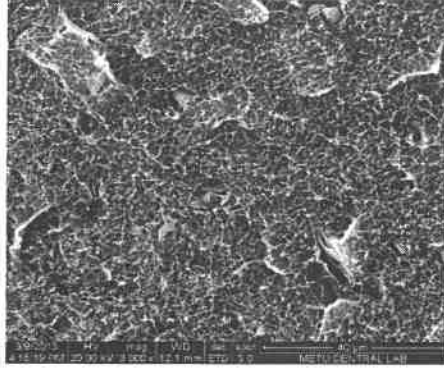
4.2.1. Morfoloji

Şekil 4.12’de seçilmiş %3 h-BN/YYPE kompozitlerinin darbe testi sırasında kırılan yüzeyinin SEM fotoğrafı verilmiştir. Genel itibariyle kompozitlerin kırılma yüzeylerinden plastik deformasyon izleri taşıdığı ifade edilebilir.

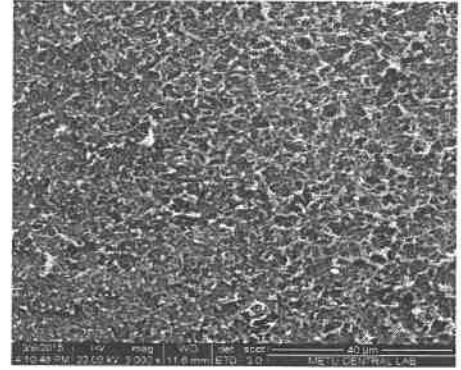
Şekil 4.13’de %2-3 Gd_2O_3 içeren h-BN/ Gd_2O_3 /YYPE kompozitlerinin SEM fotoğrafları görülebilmektedir. %5 h-BN içeren kompozitlerde kırılma diğerlerinde de olduğu gibi sünektir. Gd_2O_3 tanecikleri ise nanometer seviyesinde dağılmışlardır.



Şekil 4.12. h-BN/YYPE kompozitlerinin SEM fotoğrafları: %3 h-BN



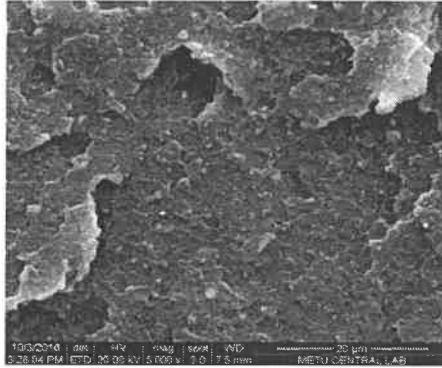
(a)



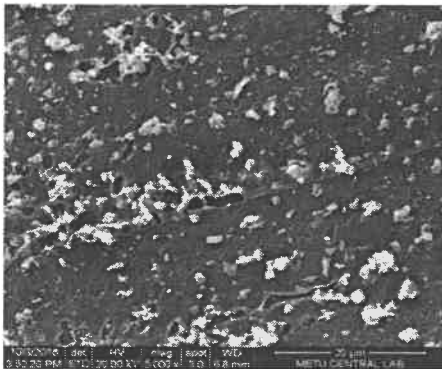
(b)

Şekil 4.13. Gd_2O_3 /h-BN/YYPE kompozitlerinin SEM fotoğrafları (h-BN: %5): **a)** %2 Gd_2O_3 ; **b)** %3 Gd_2O_3

Şekil 4.14 ve 4.15’de ise BN, B_4C ve Gd_2O_3 katkılı poliimid esaslı bazı kompozitlerin kırılma yüzey morfolojileri görülmektedir. Hem h-BN hem de Gd_2O_3 ’ün PI matris içinde homojen dağıldığı görülmektedir (Şekil 4.14). Kırılma gevrekliktir. Şekil 4.15’de ise B_4C içeren kompozitin kırılma yüzeyi görülmektedir. Burada B_4C ’lerin matristen ayrıldığı net olarak görülebilmektedir. Aynı zamanda B_4C ’ün PI matris içinde dağılımı da beklenen seviyede değildir.



Şekil 4.14. %11BN/%3 Gd_2O_3 /%86PI kompozitlerinin SEM fotoğrafları

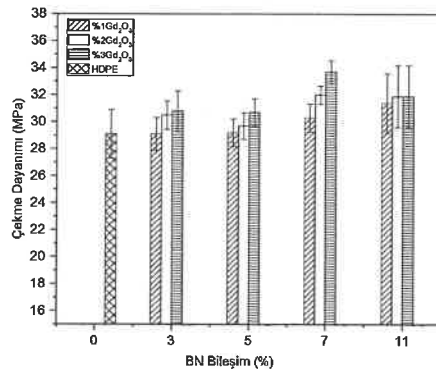


Şekil 4.15. %11 B_4C /%3 Gd_2O_3 /%86 PI kompozitlerinin SEM fotoğrafları

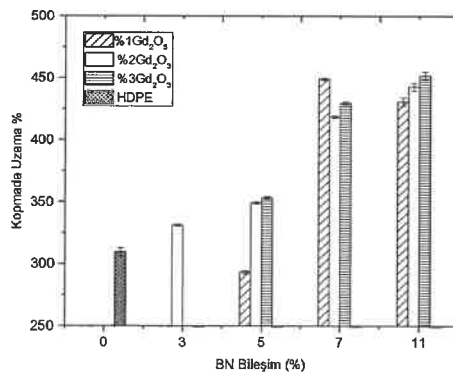
4.2.2. Mekanik Özellikler

4.2.2.1. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin karakterizasyonu

Parçacık takviyeli kompozitlerde çekme dayanımı parçacık yükleme oranına ve parçacık ile matris arasındaki yapışmanın seviyesine bağlıdır. Yapışma güçlü ise çekme testi sırasında kompozite uygulanan stres matristen partiküle transfer edilebilir ve kopma daha yüksek streslerde ve daha geç gerçekleşir (Fu ve diğ., 2008). Ancak yapışma yeterli değil ise çekme testi sırasında matrisin akma dayanımına henüz ulaşılmadan tanecik ile matris ayrılırlar ve bu sebeple düşük streslerde ve erken evrede kopma gerçekleşir. Şekil 4.16'da h-BN/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde çekme dayanımının h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi görülmektedir. Saf polietilene kıyasla h-BN miktarına bağlı olarak %1 ile %3 arasında Gd₂O₃ içeren kompozitlerde Gd₂O₃ miktarı arttıkça arayüzey yapışması iyi olduğundan dolayı çekme dayanımında artış görülmüştür. Bu artış hem h-BN miktarına hem de Gd₂O₃ miktarına paraleldir. Şekil 4.17'de h-BN/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde kopmada uzamanın h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi verilmiştir. Saf YYPE kıyasla özellikle %7 ve %11 h- BN içeren kompozitlerde kopmada uzama değerlerinde belirgin bir artış gözlenmiştir.

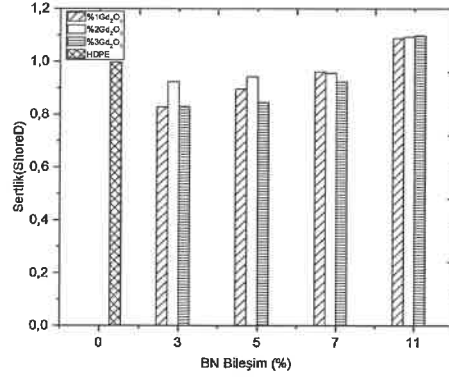


Şekil 4.16. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde çekme dayanımının h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi



Şekil 4.17. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde kopmada uzamanın hBN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi

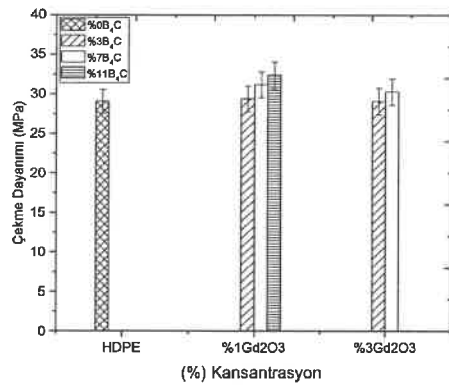
Şekil 4.18’de görüldüğü gibi h-BN/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde sertliğin h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi görülmektedir. YYPE’nin sertlik değerine göre, nano kompozitlere h-BN ve Gd₂O₃ nano parçacık oranlarının artmasıyla sertlik değerlerinde önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir. Ancak %11 h-BN içeren kompozitlerin sertliğinde h-BN miktarına bağlı olarak artış gözlenmiştir.



Şekil 4.18. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerinde sertliğin h-BN ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi

4.2.2.2. B₄C/ Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin karakterizasyonu

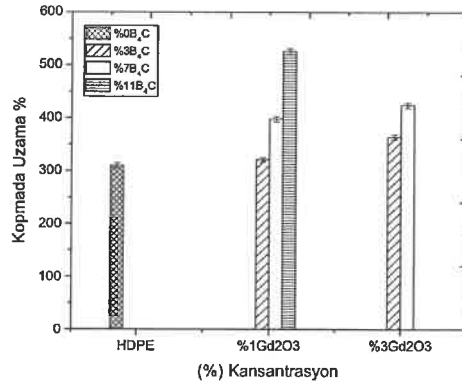
Şekil 4.19’da B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde çekme dayanımının B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi görülmektedir. Saf YYPE karşılık, nano Gd₂O₃’in eklenen miktarı göz önüne alınmadan B₄C miktarının artmasıyla çekme dayanımında artış görülmektedir.



Şekil 4.19. B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde çekme dayanımının B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi

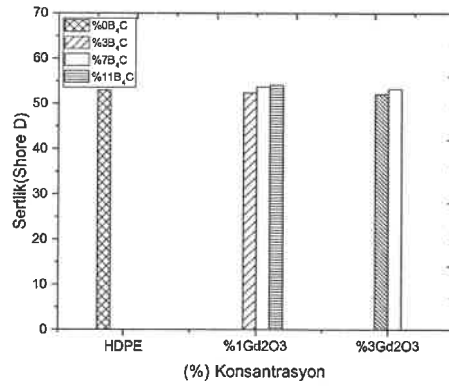
Şekil 4.20’de B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde kopmada uzamanın B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişimi görülmektedir. Kopmada uzama verileri

değerlendirildiğinde %1 ve %3 Gd_2O_3 içeren kompozitlerde B_4C miktarının artması uzamaları artırırken, toplam dolgu miktarının artışı uzamaları düşürmektedir.



Şekil 4.20. $B_4C/Gd_2O_3/YYPE$ kompozitlerinde kopmada uzamanın B_4C ve Gd_2O_3 konsantrasyonuna bağlı değişimi

Şekil 4.21'de $B_4C/Gd_2O_3/YYPE$ kompozitlerinde sertliğin B_4C ve Gd_2O_3 konsantrasyonuna bağlı değişimi görülmektedir. YYPE sertlik değerine göre, artan nanokompozit oranlarının sertlik değerlerinde önemli bir değişiklik kaydedilmemiştir.

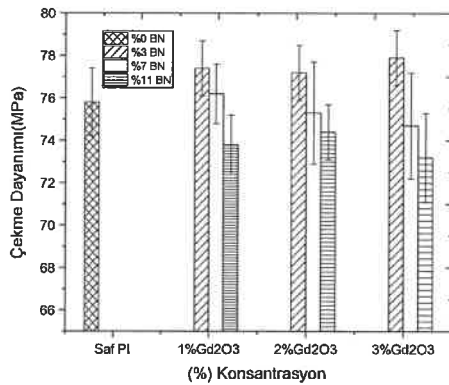


Şekil 4.21. $B_4C/Gd_2O_3/YYPE$ kompozitlerde sertliğin B_4C ve Gd_2O_3 konsantrasyonuna bağlı değişimi

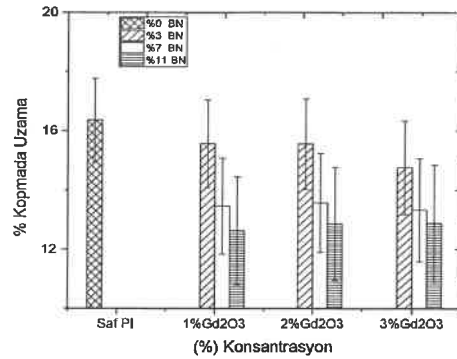
4.2.2.3. h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin karakterizasyonu

Şekil 4.22’de BN/Gd₂O₃/Poliimid kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Parçacık takviyeli kompozitlerde çekme dayanımı parçacık yükleme oranına ve parçacık ile matris arasındaki yapışmanın seviyesine bağlıdır. Yapışma güçlü ise çekme testi sırasında kompozite uygulanan stres matristen partiküle transfer edilebilir ve kopma daha yüksek streslerde ve daha geç gerçekleşir. Ancak yapışma yeterli değil ise çekme testi sırasında matrisin akma dayanımına henüz ulaşılmadan tanecik ile matris ayrılırlar ve bu sebeple düşük streslerde ve erken evrede kopma gerçekleşir. Şekil 4.22 incelendiğinde, saf poliimid (PI)’in çekme dayanımı yaklaşık 76 MPa mertebesinde ölçülmüştür. Saf poliimide nano Gd₂O₃ ve nano BN birlikte ilave edildiğinde çekme dayanımında önce artan, sonra azalan bir eğilimde değişimler gözlenmektedir. En yüksek çekme dayanımı değerleri Gd₂O₃ oranından bağımsız olarak %3 BN’de gözlenmektedir. BN miktarındaki artış ile çekme dayanımı değerleri kademeli olarak azalmakta %11 BN oranında ise saf PI’in çekme dayanımının bile altına inilmektedir. Esasen polimid ile kompozitlerde kullanılan nano-katkılar arasında herhangi bir kovalent etkileşim beklenmemesine rağmen, nano-katkıların büyük yüzey alanı sebebiyle zayıf fiziksel etkileşimleri önemli faktör olabilmektedir. BN oranının artmasıyla muhtemel topaklanmalar ise ara yüzey alanını küçülttüğünden bu noktadan sonra çekme dayanımı azalmaktadır.

Şekil 4.23’de h-BN/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde kopmadaki uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Genel bir davranış olarak sünek bir matrise rijit bir parçacık ilave edildiğinde çekme yükü altında ara yüzeyde oluşan kusurlar sebebiyle, özellikle matrisin akma noktası civarında kompozitlerin kırıldığı görülmektedir. Bu nokta ara yüzey modifikasyonu yapılarak geciktirilebilir. Ortalama %16,5 civarından kopma uzaması olan PI’e dolguların ilavesiyle bu değer kademeli olarak azalmaktadır. BN miktarındaki artış ile kopma uzamasındaki azalma hızı artış göstermektedir.

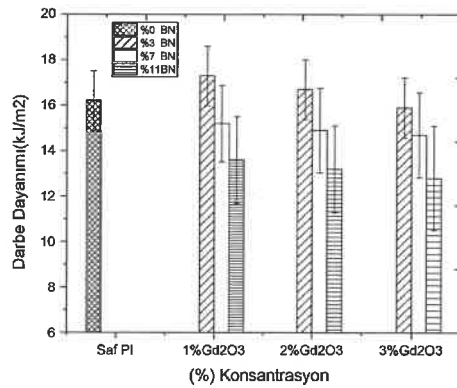


Şekil 4.22. h-BN/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi



Şekil 4.23. h-BN/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde kopmadaki uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi

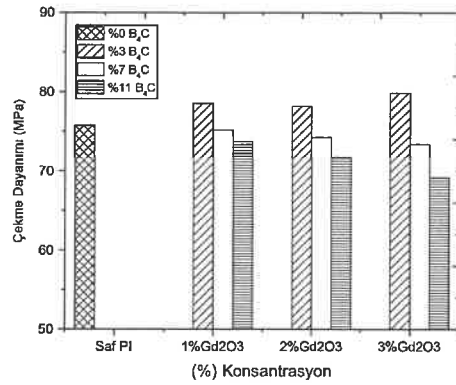
Şekil 4.24'de h-BN/Gd₂O₃/Poliimid kompozitlerinde darbe dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Parçacık takviyeli kompozitlerde darbe dayanımı kompleks bir mekanizmaya bağlı olmakla birlikte, özetle eğer parçacık ile matris arasında iyi bir bağlanma var ise veya parçacık homojen bir dağılım sergilemiş ise darbe dayanımı genellikle yükselmektedir. Ortalama 16,2 kJ/m² mertebesinde darbe dayanımı olan saf PI'e kıyasla Gd₂O₃ miktarından bağımsız olarak %3 oranında BN ilave edildiğinde darbe dayanımı değerleri %7 oranında artmakta, ancak daha yüksek yükleme oranlarında düşmektedir. Bu durum çekme dayanımında olduğu gibi nano katkıların dağılımının düşük yükleme oranlarında daha düzgün olması, yükleme oranı artışıyla topaklanmalara bağlı olarak dağılmış parça boyutunun artışı ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 4.24. h-BN/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde darbe dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi

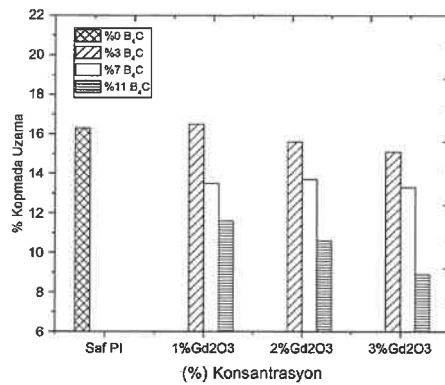
4.2.2.4. B₄C/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin karakterizasyonu

Şekil 4.25’de B₄C/Gd₂O₃/Poliimid kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Arayüzey yapışmasının iyi olmamasına bağlı olarak çekme dayanımı (akma noktasında ölçüldü) B₄C ilavesiyle düşmektedir. Bunun sebebi çekme testi sırasında arayüzeyin erken ayrılması ve “erken kırılma” denen olayın gerçekleşmesidir. Burada %3 B₄C’e Gd₂O₃ eklenince özellikler biraz artmıştır. Burada Gd₂O₃’ün nanometre boyunda olması arayüzey alanını artırır, böylelikle daha fazla temas ettiklerinden çok da az olsa bir stres transferi sağlanır. Ancak oran artınca bu etki kaybolur, çünkü B₄C etkin olmaya başlar.



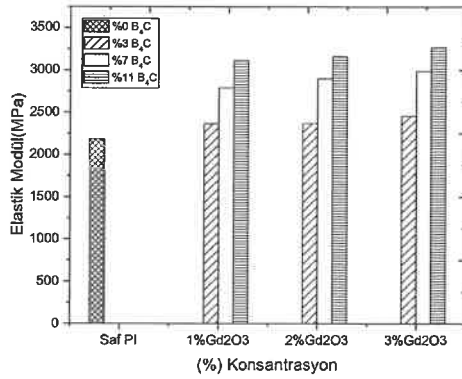
Şekil 4.25. B₄C/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde çekme dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişim

Şekil 4.26’da B₄C/Gd₂O₃/Poliimid kompozitlerinde kopmada uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Çekme testi esnasında arayüzeyin erken ayrılmasından dolayı kopmada uzama değerlerinde belirgin bir şekilde düşüş gözlenmiştir.



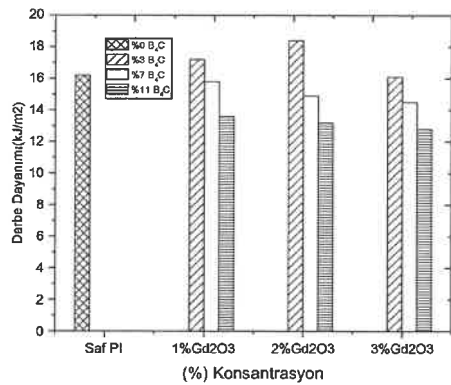
Şekil 4.26. B₄C/Gd₂O₃/PI kompozitlerinde kopmada uzamanın dolgu türü ve miktarına göre değişimi

Şekil 4.27’de B_4C/Gd_2O_3 /Poliimid kompozitlerinde elastik modülün dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Kompozitlerde B_4C ve Gd_2O_3 miktarı arttıkça elastik modülde iyileşme olduğu belirlenmiştir. Elastik modüldeki artış YYPE’e veya diğer PI’lilere göre daha belirgin olduğu gözlenmiştir.

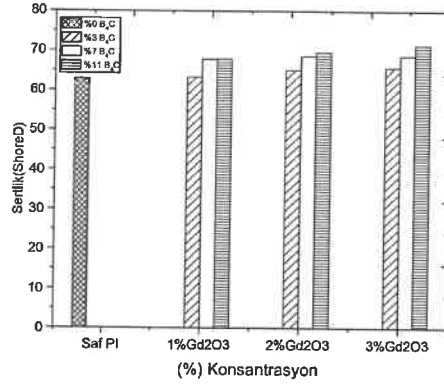


Şekil 4.27. B_4C/Gd_2O_3 /PI kompozitlerinde elastik modülün dolgu türü ve miktarına göre değişimi

Şekil 4.28’da B_4C/Gd_2O_3 /PI kompozitlerde darbe dayanımının B_4C ve Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmiştir. %3 B_4C katkılı kompozitlerde en iyi sonuç alınırken, nano kompozit miktarı yükseldikçe darbe dayanımı düşmektedir. Şekil 4.29’da B_4C/Gd_2O_3 /PI kompozitlerinde sertliğin dolgu türü ve miktarına göre değişimi görülmektedir. Sertlik, karışım kuralıyla ifade edilebilir, çünkü henüz bu özellikler ölçülürken arayüzey ayrılmamış ve "yapısal bütünlük" vardır. Karışım kuralına göre eğer düşük modüllü bir matrise yüksek modüllü bir katkı koyarsak karışım miktarına bağlı olarak elde edilen kompozitin modülü yükselir. Bu açıklamalara göre kompozite katkılanan B_4C ve Gd_2O_3 miktarı attıkça sertlikte artış gözlenmiştir.



Şekil 4.28. Gd_2O_3/B_4C /PI kompozitlerinde darbe dayanımının dolgu türü ve miktarına göre değişimi



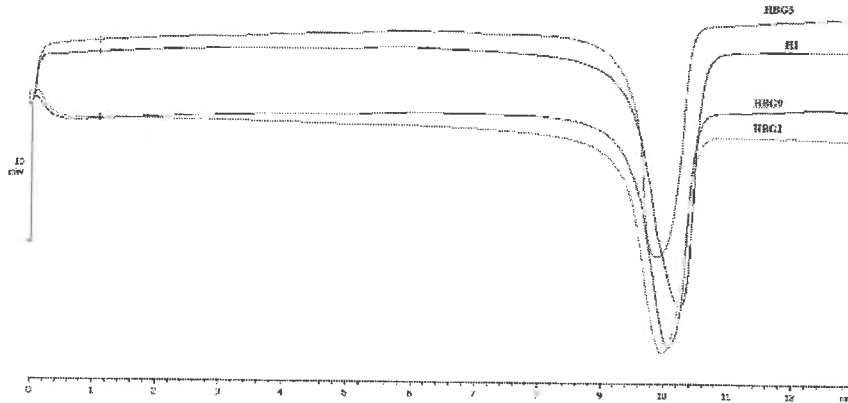
Şekil 4.29. Gd₂O₃/B₄C/PI kompozitlerinde sertliğin dolgu türü ve miktarına göre değişimi

4.2.3. Termal Özellikler

Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri oda sıcaklığından 250°C'ye, 10°C'da ısıtma hızıyla yapılmıştır.

4.2.3.1. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin termal özellikleri

Seçilen 4.30'da saf YYPE ve bazı seçilmiş kompozitlerin DSC termogramları verilmiştir.



Şekil 4.30. Saf YYPE ve seçilmiş kompozitlerin DSC termogramları

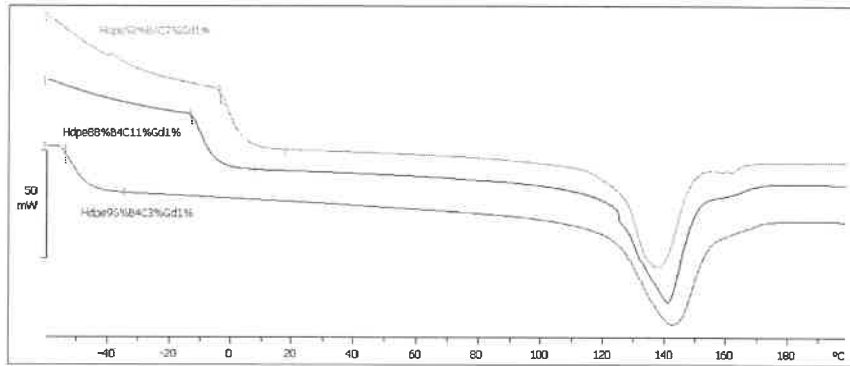
Çizelge 4.1'de ise DSC termogramları verilen kompozitlerin ve saf yüksek yoğunluklu polietilenin T_m, T_m in ve T_m off değerleri verilmiştir. Görüleceği gibi kompozitteki dolgu miktarının değişimiyle erime noktası ve başlangıç ve bitiş sıcaklıkları kayda değer bir mertebede değişiklik gözlenmemiştir. Ancak kristalinite yüzdelğinde dolgu miktarının artmasıyla hafif bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş, dolgunun varlığından polimer zincirlerinin kristallenme yüzeyine difüzyonunun zorlanmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.1. h-BN/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde termal geçişlerin dolgu türü ve miktarına göre değişimi

N	Örnek	T _{m,onset} (°C)	T _{m,tepe} (°C)	T _{m,offset} (°C)	% Kristalinite
1	YYPE	121	145	157	45.4
2	5%h-BN/YYPE	122	142	156	44.6
3	5%h-BN/1%Gd ₂ O ₃ /YYPE	120	138	155	40.6
4	5%h-BN/3%Gd ₂ O ₃ /YYPE	121	139	156	37.5

4.2.3.2. B₄C/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin termal özellikleri

Yüksek yoğunluklu polietilene B₄C ve Gd₂O₃ nano parçacıkların katkılanmasıyla elde edilen seçilmiş bazı kompozitlerin DSC termogramları Şekil 4.31’de ve camsı geçiş sıcaklıklarındaki değişim ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Kompozitteki dolgu miktarının değişimiyle erime noktası ve başlangıç ve bitiş sıcaklıkları kayda değer bir mertebede değişiklik göstermemektedir. Ancak kristalinite yüzdelерinde dolgu miktarının artmasıyla hafif bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş, BN sisteminde olduğu gibi dolgunun varlığından polimer zincirlerinin kristallenme yüzeyine difüzyonunun zorlanmasıyla açıklanabilir.



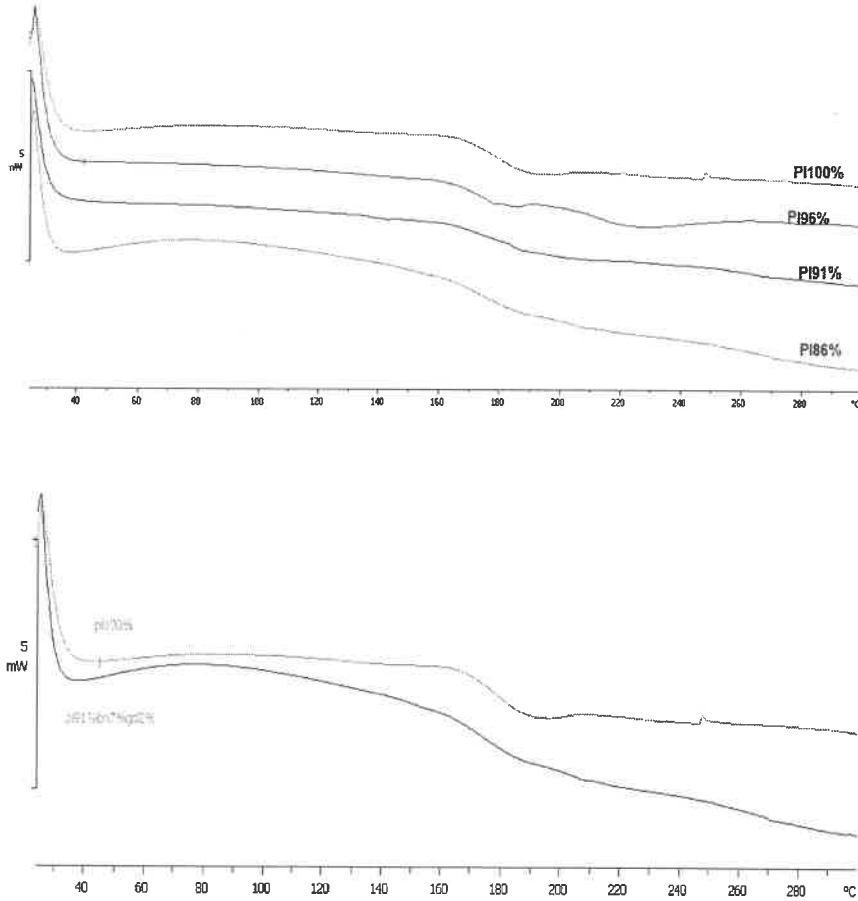
Şekil 4.31. Seçilmiş B₄C ve Gd₂O₃ içerikli kompozitlerin DSC termogramları

Çizelge 4.2. B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinde camsı geçiş sıcaklığının dolgu türü ve miktarına göre değişimi

Numune	T _{m,baslangıç} (°C)	T _{m,midpoint} (°C)	%-Kristalinite
YYPE	122	139	46.6
YYPE%96, B ₄ C%3, Gd ₂ O ₃ %1	125	142	45.7
YYPE%94, B ₄ C%3, Gd ₂ O ₃ %3	123	141	45.4
YYPE%92, B ₄ C%7, Gd ₂ O ₃ %1	121	139	43.3
YYPE%90, B ₄ C%7, Gd ₂ O ₃ %3	127	140	40.3
YYPE%88, B ₄ C%11, Gd ₂ O ₃ %1	129	141	39.2

4.2.3.3. h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin termal özellikleri

Şekil 4.32’de görülebileceği gibi saf polimid amorf karakterde olup camsı geçiş sıcaklığı (T_g) 169°C’de başlayıp 177°C’de gerçekleşmektedir. Ayrıca yine tüm kompozitler de amorf karakterde olup bu kompozitlerde sadece poliimid fazının camsı geçiş sıcaklığı gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Poliimid’e dolguların ilavesi ile camsı geçiş sıcaklığında çok hafif bir artış var gibi görülse de DSC analizinin deneysel hata sınırlarında bu artışlar deneysel hatalar olarak değerlendirilebilir. Diğer bir değişle PI’e takviyelerin ilavesiyle camsı geçiş sıcaklığında bir artış gözlenmemiştir. Bunun sebebi olarak ise PI ile kullanılan takviyelerin kimyasal açıdan uyumlu olmaması gösterilebilir. Esasen bu bulgu mekanik test sonuçlarıyla da bu anlamda uyumludur.



Şekil 4.32. Saf PI ve seçilmiş kompozitlerin DSC termogramları

Çizelge 4.3. h-BN/Gd₂O₃/Poliimid kompozitlerinde camsı geçiş sıcaklığının dolgu türü ve miktarına göre değişimi

Örnek Adı*	T _g (°C)
Saf Poliimid	177.6
PB3G1	178.7
PB3G2	179.2
PB3G3	178.9
PB7G1	179.6
PB7G2	180.3
PB7G3	181.2
PB11G1	178.5
PB11G2	176.5
PB11G3	181.6

*Örnek isimlendirme PB3G1: %3 BN ve %1 Gd₂O₃ içeren kompozit

4.3. Nano Kompozitlerin Nötron ve Gama Radyasyon Soğurma Özellikleri

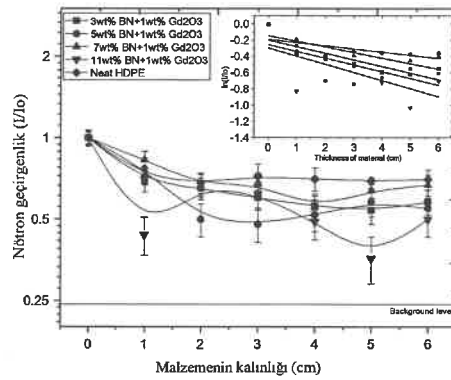
Üretilen malzemelerin bu bölümde verilen gama geçirgenlikleri, nötron soğurma deneyleri esnasında ölçülen gama doz hızları kullanılarak belirlenmiştir.

4.3.1. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri

Yüksek yoğunluklu polietilene %3 ile %11 arasında değişen oranlarında Bor Nitrür (h-BN) ve %1 Gadolonyum Oksit (Gd₂O₃) nano parçacıklar ilave edilmesiyle elde edilen %3-11 h-BN/%1Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin kalınlığa bağlı olarak nötron geçirgenlik grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir. Ayrıca, materyal kalınlığına bağlı olarak ln(I/I₀) grafiği de çizilmiş ve Şekil 4.33'in içerisinde ayrı olarak gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilene katılan Gd₂O₃'un miktarı sabit tutularak çizilen Şekil 4.33'de, genel olarak üstel azalan soğurma eğrileri elde edilmiştir. Katılanmamış yüksek yoğunluklu polietilenin (saf YYPE) nötron geçirgenlik eğrisinde dalgalanma gözlenmemekle birlikte, katkılı örneklerde farklı kalınlıklarda başlayan, artan ve azalan özellikte dalgalanmalar göze çarpmaktadır.

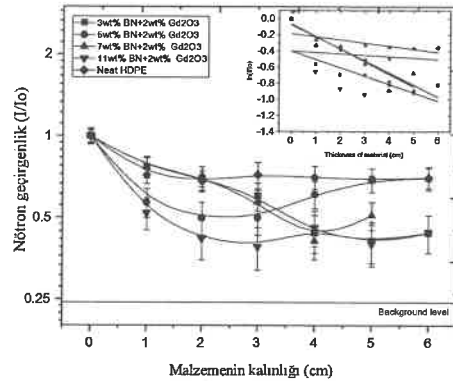
Soğurma eğrilerindeki ani artışlar veya nötron geçirgenliğinin yükselmesi detektör tarafından algılanan termal nötron sayısındaki artmadan kaynaklanmaktadır. Bunun iki nedeni olabilir; a) Soğurucu içindeki nano parçacık dağılımına bağlı olarak nötron-madde etkileşimin artması veya azalması b) Kalınlıkla beraber termal nötron üretimin çoğalmasıdır. Özellikle 2-3cm'den sonra nötron geçirgenlik eğrilerinde dalgalanma daha çok göze çarpmaktadır. Soğurucu materyaldeki katkı oranı ile soğurma eğrileri arasında net bir ilişki ortaya koyulamamakla birlikte, genel olarak belirli bir kalınlığa kadar azalan daha sonra artan eğriler elde edilmiştir.

Örneğin, %3 BN katkılı nano kompozitin soğurma eğrisindeki dalgalanma daha az olmakla birlikte, %11 BN katkılı kompozitte dalgalanmanın arttığı gözlenmiştir. Bu grup kompozitlerde en iyi soğurma eğrisi %11 BN katkılı örnekte, en kötü soğurma eğrisi de %7 BN katkılı kompozitte elde edilmiştir. %3 ve %5 BN katkılı örneklerde 2-3 cm'ye kadar azalan daha sonra ise tam tersi bir geçirgenlik özelliği gösteren eğriler elde edilmesine rağmen, %5 BN katkılı örneğin nötron geçirgenliği daha iyi olduğu göze çarpmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilene nano parçacıkların ilave edilmesiyle saf polietilene göre daha farklı geçirgenlik eğrileri elde edilmiş ve bu eğriler nötron zırhlamada nano parçacık etkisinin neler olabileceği konusunda ipuçları vermiştir. Bununla birlikte, bu grup için, her bir kompozit örneğin soğurma kabiliyeti ayrı ayrı incelendiğinde farklı kalınlıklarda nötron geçirgenlikleri değişmektedir. Dolayısıyla her bir örneğin optimum veya nötron geçirgenliğinin en düşük olduğu kalınlıklar farklı olmakla birlikte, genel olarak bu grup nano kompozitler için optimum kalınlık 1-2 cm civarındadır. Saf yüksek yoğunluklu polietilenin nötron soğurması 1cm kalınlık değerlerinde yaklaşık %30'lar civarında gerçekleşirken, %11 BN (%1 Gd₂O₃ ile birlikte) katkısı bu soğurma değerini ortalama %50'lere ulaştırmıştır (5 cm kalınlıklarda bu değer %64'tür). Nano parçacık ilavesinin soğurma kabiliyetini yaklaşık olarak 2 katına kadar arttırdığı görülmüştür.



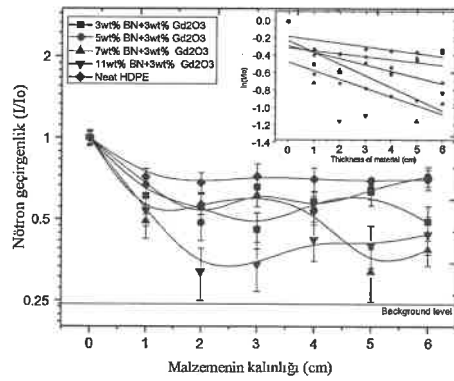
Şekil 4.33. (%3-11 h-BN/%1 Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği

Yüksek yoğunluklu polietilene %3 ile %11 değişen oranlarda h-BN ve %2 Gd₂O₃ oranında nano parçacıklar ilave edilmesiyle elde edilen nano kompozitlerin (%3-11 h-BN/%2Gd₂O₃)/YYPE kalınlığa bağlı olarak nötron geçirgenlik grafiği Şekil 4.34'de verilmiştir. %1 Gd₂O₃ katkılı kompozitler (Şekil 4.33) ile karşılaştırıldığında daha kararlı veya dalgalanmanın az olduğu geçirgenlik eğrileri elde edilmiştir. %3 ve %7 katkılı nano kompozitlerin 4 cm'ye kadar benzer geçirgenlik eğrilerine sahip olduğu 4 cm'den sonra %7 katkılı örneğin nötron geçirgenliğinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu grupta en iyi soğurma eğrisi yine %11 BN katkılı örnekte elde edilmiş ve 2-3 cm'de %58-61 civarında bir soğurma değerine ulaşılmıştır. Geçirgenlik değerinin en iyi olduğu kalınlıklar %5 ve %11 BN katkılı örnekler için ortalama 2-3 cm arasında olurken, %3 ve %7 katkılı örnekler için ise 4 cm olmuştur. Kompozitlerde Gd₂O₃ miktarının artması genel olarak kompozitlerin nötron soğurmalarında, %1 Gd₂O₃ ile karşılaştırıldığında, %11 BN katkılı örnek hariç diğer örneklerde artışa neden olmuştur. Bu grup kompozitler için optimum kalınlık 3 cm'dir.



Şekil 4.34. (%3-11 h-BN/%2Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği

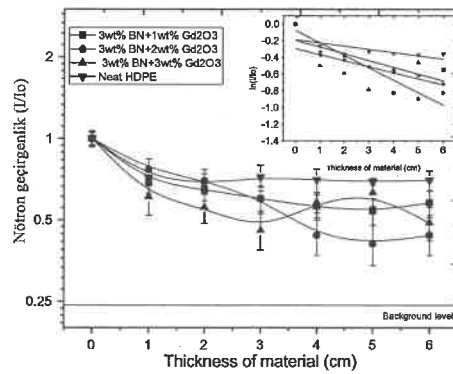
Yüksek yoğunluklu polietilene %3 ile %11 değişen oranlarında h-BN ve %3 Gd₂O₃ oranında nano parçacıklar ilave edilmesiyle elde edilen nano kompozitlerin (%3-11 h-BN/%3Gd₂O₃)/YYPE kalınlığa bağlı olarak nötron geçirgenlik grafiği Şekil 4.35’de verilmiştir. Şekil 4.35’de hem %1 ve %2 Gd₂O₃ katkıları gruplarla hemde yüksek yoğunluklu polietilen ile kıyaslandığında daha net nötron geçirgenlik eğrileri elde edilmiştir. Gd₂O₃ katkısının etkisi burada net olarak görülmekle birlikte, en iyi sonuç yine %11 BN katkılı nano kompozitte elde edilmiş, 2 cm’de soğurma yaklaşık %70’ler civarında gerçekleşmiştir. %3 BN katkılı örneklerde, optimum kalınlık 2-3 cm ve bu kalınlıkta soğurma yaklaşık %50’ler civarında gerçekleşmiş ve %7 BN katkılı örnekte 5 cm’de soğurma %70’lere ulaşmıştır.



Şekil 4.35. (%3-11 h-BN/%3Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği

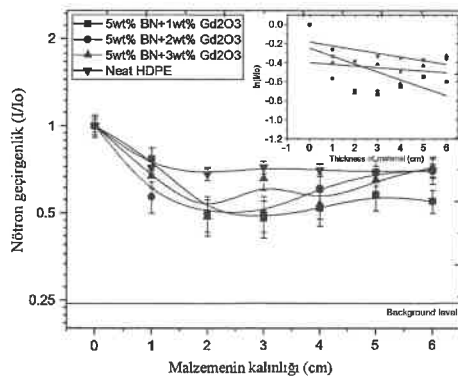
Üretilen kompozitlerin nötron soğurma kabiliyetlerini, düşük miktarlarda ilave edilen Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak nasıl değiştiğini irdeleyebilmek için katkılanan BN miktarı sabit tutularak, her bir örnek için nötron geçirgenlik eğrileri yeniden çizilmiş ve çizilen bu soğurma grafikleri Şekil 4.36- 4.39 arasında gösterilmiştir.

Şekil 4.36'ya göre her üç nano kompozitin nötron geçirgenliği saf polietilene göre daha iyi olmakla birlikte, Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak dalgalı bir davranış sergilemektedir. %1 Gd_2O_3 katkılı örnek ile saf polietilenin soğurma eğrisi aynı davranışı sergilemekte, bu ise düşük miktarda nano parçacık katkısında daha az dalgalı soğurma eğrisine ve nötronun daha iyi soğurmasına neden olmuştur. %2 Gd_2O_3 katkılı örnek ise, 5 cm'e kadar üstel azalan bir davranış sergilemiş 4 cm'den sonra %56'lar civarında bir nötron soğurulması gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, %3 Gd_2O_3 katkılı örneğin 3 cm'e kadar azalan sonra artan dalgalı nötron geçirgenliğine sahiptir. Sonuç olarak, Gd_2O_3 miktarının artması ile nötron geçirgenliği arasında doğrusal bir ilişki kurulamamakla birlikte, Gd_2O_3 üretilen nano kompozitlerin nötron soğurma özelliklerinin gelişmesine neden olmuştur.



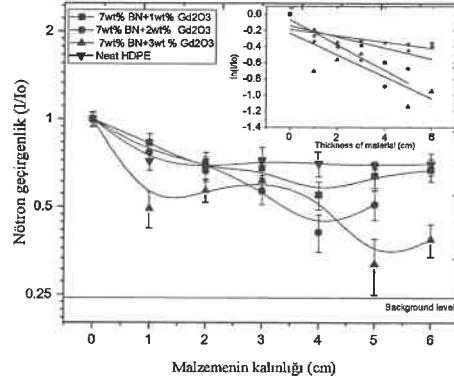
Şekil 4.36. %3 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

%5 BN katkılı nano kompozitlerin, ilave edilen Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nötron geçirgenliği Şekil 4.37'de verilmiştir. Şekil 4.37'de Gd_2O_3 katkılı her üç örnekte 2-3 cm kalınlığa kadar neredeyse doğrusal bir soğurma karakteri sergilemiştir, ancak bu kalınlıklardan sonra nötron geçirgenliği artmış ve soğurmanın kötüleştiği görülmüştür. Gd_2O_3 katkılı örneklerin en iyi soğurma eğrisi %50-55'ler seviyesinde elde edilmiştir.



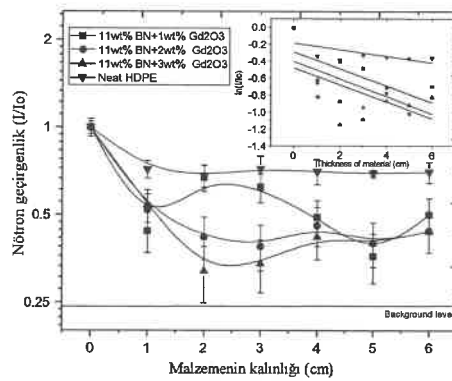
Şekil 4.37. %5 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri

%7 BN katkılı nano kompozitlerin ilave edilen Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlikleri Şekil 4.38'de verilmiştir. %1 Gd_2O_3 katkılı örnek kötü bir soğurma özelliği sergilemekle birlikte, %2 Gd_2O_3 katkılı örnek daha kararlı ve %3 Gd_2O_3 katkılı örnek ise daha dalgalı özellikte olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, 5 cm'de %70'lere yaklaşan bir soğurma ile %3 Gd_2O_3 katkılı nano kompozit ön plana çıkmaktadır. Bu grupta yüksek nötron soğurması yüksek kalınlıklarda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.38. %7 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri

%11 BN katkılı nano kompozitlerin ilave edilen Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nötron geçirgenliği Şekil 4.39'da verilmiştir. Her üç örneğin soğurma eğrileri ilk 1 cm'de doğrusal özelliktedir. %2 ve %3 Gd_2O_3 'lu örneklerin 2 ve 3 cm'de daha iyi bir soğurma gerçekleştirdikleri, %1 Gd_2O_3 katkılı nano kompozitin ise artan kalınlıkla zayıflayan bir karakteristikte olduğu açıkça görülmektedir. En iyi soğurma düşük kalınlıkta ve %70'ler seviyesinde %11 BN+%3 Gd_2O_3 örnekte elde edilmiştir. Bununla birlikte, aynı nötron geçirgenliğine sahip olan %7 BN+%3 Gd_2O_3 kompozite göre %11 BN katkılı örneğin soğurma eğrisi daha karardır.

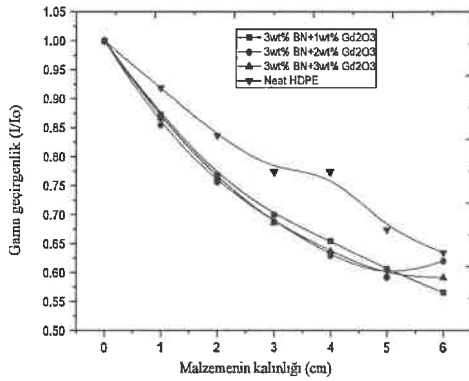


Şekil 4.39. %11 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron geçirgenlikleri

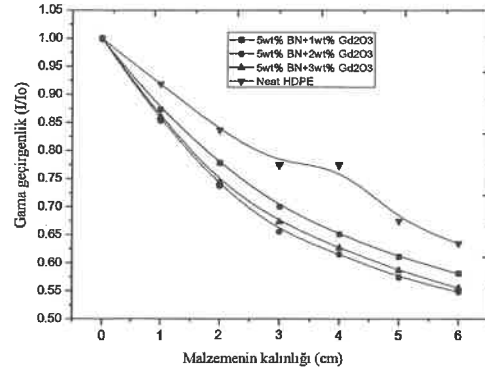
Nötron soğurma deneylerinde kullanılan detektör hem nötronu (cps) hem de gama radyasyonun ($\mu\text{R/h}$) ölçen çift fonksiyonlu özelliğe sahiptir. Deneylerde nötron sayımı yapılırken ortamdaki gama radyasyon doz seviyesi de ölçülmüş, böylelikle üretilen soğurucu malzemenin gerçek ortamda işlev görürken, ortamda var olan ve nötron-madde etkileşiminden ortaya çıkan gama radyasyonlarına karşı soğurma özellikleri de incelenmiştir.

^{239}Pu -Be nötron kaynağından yayınlanan ortalama gama enerjisi 4,5 MeV civarında ve nötron madde etkileşiminde üretilen en düşük gama enerjisi (nötron-bor etkileşiminde) 0,4 MeV'dir. Dolayısıyla üretilen bu soğurucuların, ortamda var olan ve çok geniş enerji spektrumuna sahip gama ışınlarına karşı nasıl bir soğurma davranışı sergilediklerini gösteren gama ışını geçirgenlik grafikleri Şekil 4.40'de verilmiştir. Üretilen soğurucu materyal içerisindeki düşük atom numaralı atomlar (C,H,B,O,N) gama soğurmada etkin olmadıkları dolay (soğurma kenarları < 1 keV), gama soğurma grafikleri Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak grafikler çizilmiştir. Aynı zamanda çalışmanın teorik altyapısında Gd_2O_3 'ün asıl fonksiyonu, üretilen soğurucu malzemelerin gama radyasyonlarına karşı soğurma kabiliyetlerini arttırmasıdır.

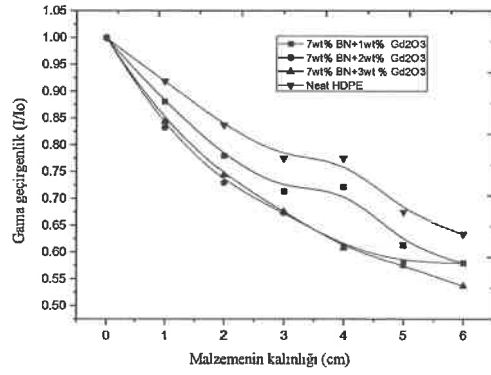
Şekil 4.40'dan de görüleceği üzere saf polimere göre, Gd_2O_3 miktarı arttıkça gama soğurucu malzemenin gama geçirgenlik kabiliyeti gelişmiştir. %3 BN katkılı kompozitlerde (Şekil 4.40.a), saf polietilene göre gama soğurma özelliği artmıştır ancak, eğrilerin Gd_2O_3 miktarına bağlı net bir ayrımı söz konusu değildir. %5 katkılı kompozitlerde ise Gd_2O_3 oranına bağlı olarak net bir farklılık gözlemlense de, %2 Gd_2O_3 katkılı örneğin gama soğurma özelliğinin daha iyi olduğu görülmektedir. %7 BN katkılı kompozitlerde Gd_2O_3 miktarının gama soğurmada etkisi (%2 ve %3) tam net olarak görülemese de, %11 BN katkılı kompozitlerde bu etki net olarak gözlemlenmiştir.



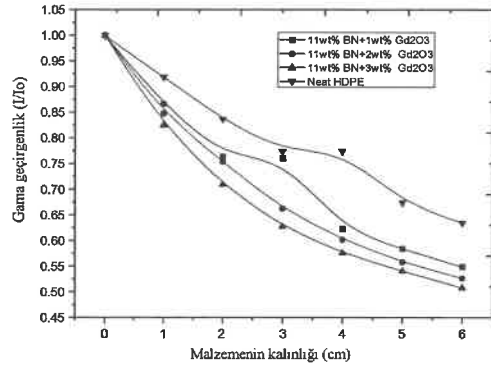
(a)



(b)



(c)



(d)

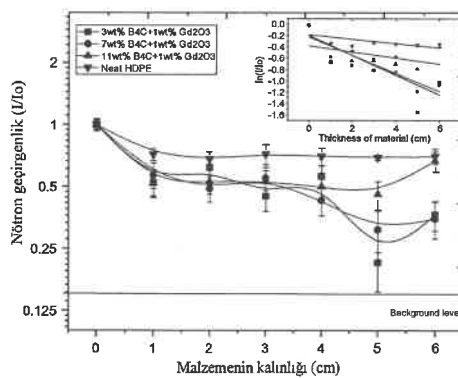
Şekil 4.40. a) %3 BN; b) %5 BN; c) %7 BN; d) %11 BN kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak gama geçirgenlikleri

Bu tür çalışmalarda, birbirine çok yakın yüzdelerdeki nano parçacık katkısının, geliştirilen malzeme üzerinde beklenen etkisinin net olarak ortaya konulmasının oldukça zor olduğu gözlemlenmiştir. Çok yüksek enerjilere sahip gama radyasyonlarının olduğu ortamda işlev gören bu soğurucu materyaller saf polietilene göre, gama ışınlarını soğurmada daha iyi bir performansa sahip oldukları görülmüştür. Örneğin, saf polietilenin kütle soğurma katsayısı $0,0737 \text{ g/cm}^2$, %11 BN+%3 Gd_2O_3 katkılı örneğin ise $0,1123 \text{ g/cm}^2$ olarak hesaplanmış ve saf polietilenin gama soğurma kabiliyeti yaklaşık olarak %55 oranında artırılmıştır.

4.3.2. $\text{B}_4\text{C}/\text{Gd}_2\text{O}_3/\text{YYPE}$ nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri

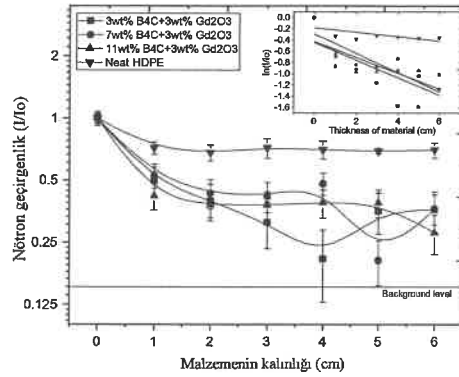
Tez çalışmasının bu aşamasında polietilen matrisin içine h-BN nano parçacık yerine, nötron soğurmada yaygın olarak kullanılan B_4C 'ün nano boyuttaki formunun ilave edilmesiyle (%3-%7-%11 $\text{B}_4\text{C}/\%1\text{-}\%3\text{Gd}_2\text{O}_3$)/YYPE içerikli nano kompozitler üretilmiştir. Bu bölümde, katkılanan nano parçacık miktarlarının katkı yüzdeleri arasındaki aralığı açmak ve sonuçların daha iyi gözlemlenmesini sağlamak adına, %5 B_4C ile %2 Gd_2O_3 katkılı nano kompozitler üretilmemiştir. Üretilen bu örneklerin nötron geçirgenlik grafikleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilmiştir.

%1 Gd_2O_3 içeriği sabit tutularak, katkılanan B_4C miktarına bağlı olarak üretilen nano kompozitlerin nötron soğurma eğrileri Şekil 4.41'de gösterilmiştir. Şekil 4.41'de, saf polietilenin ortalama %30-35 civarında nötronu soğurduğu gözlenirken, polietilen matris içerisine B_4C nano parçacıklarının eklenmesi %50-55 civarında özellikle düşük kalınlıklarda nötron soğurma verimini artırmıştır. Aynı zamanda düşük yüzde de B_4C katkılı örneklerin sonuçlarının daha iyi olduğu anlaşılmıştır. %3 ve %7 B_4C katkılı örneklerin nötron geçirgenlik eğrileri benzer eğilim göstermekle birlikte, yüksek materyal kalınlığında nötron soğurmanın %60-80'ler aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir. %3 B_4C katkılı örneğin 5 cm'de nötronların yaklaşık olarak %80'ini soğurduğu söylenebilir. Her üç örneğin nötron geçirgenlik eğrileri azalan ve hafif dalgalı özelliğe sahip olmakla birlikte, özellikle 5 cm'den sonra nötron geçirgenliklerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.41. (%3-7-11 $\text{B}_4\text{C}+\%1\text{Gd}_2\text{O}_3$)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği

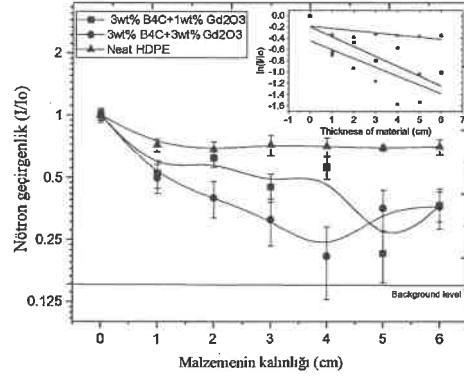
%3 Gd_2O_3 içeriği sabit tutularak, katkılanan B_4C miktarına bağlı olarak üretilen nano kompozitlerin nötron soğurma eğrileri Şekil 4.42’de gösterilmiştir. %3 Gd_2O_3 miktarının sabit tutulmasıyla elde edilen bu grafikte, saf polietilene göre daha net ve 3 cm’ye kadar kalınlık arttıkça azalan, bu kalınlıktan sonra katkı miktarına bağlı olarak dalgalı bir seyrinde eğriler gözlemlenmiş ve yine en iyi sonucun düşük miktarda %3 B_4C katkılı örnekte elde edilmiştir. %3 ve %7 B_4C katkılı kompozitlerde yüksek kalınlıklarda %70-80’ler civarında soğurma gerçekleşmiştir.



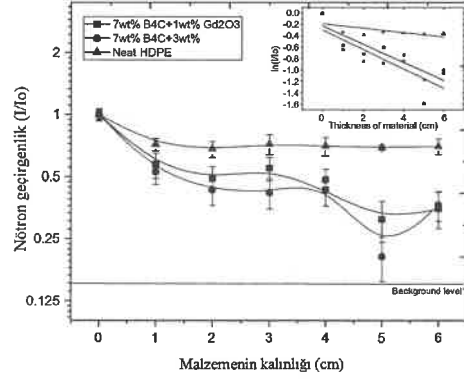
Şekil 4.42. (%3-7-11 B_4C +%3 Gd_2O_3)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma grafiği

Üretilen (%3-%7-%11 B_4C +%1-%3 Gd_2O_3)/YYPE nano kompozitlerin nötron soğurma kabiliyetlerini B_4C miktarı sabit tutularak, düşük miktarlarda ilave edilen Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nasıl değiştiğini inceleyebilmek için çizilen soğurma grafikleri Şekil 4.43-4.45 arasında gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen matris içerisine nano B_4C ve Gd_2O_3 birlikte farklı oranlarda katkılандığında, saf YYPE’den çok daha iyi nötron geçirgenliklerinin elde edildiği Şekil 4.43’de açıkça görülmektedir. Saf polietilen ile yaklaşık %30’lar seviyesinde gerçekleşen soğurma, nano B_4C ve Gd_2O_3 ilave edilmesiyle yaklaşık 2 kat artırılarak %80’ler seviyesine yükselmiştir. Bununla birlikte katkılı kompozitlerin benzer özellikte üstel azalma göstermekle birlikte, Gd_2O_3 miktarının %1’den %3’e çıkması nötron geçirgenliğini azaltmış ve %3 nano gadolinyum nano parçacıklı örneğin daha kararlı olduğu ve daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

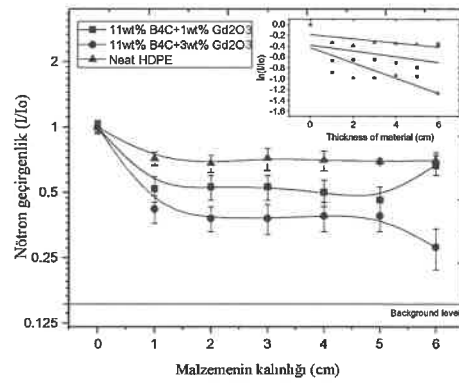
%7 B_4C katkılı kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri birbirine çok benzer ve aynı karakteristik özellikte oldukları göze çarpmaktadır. %3 Gd_2O_3 katkılı örneğin nötron soğurma kabiliyeti %1 Gd_2O_3 katkılı örnekten daha iyi olduğu görülmektedir (Şekil 4.44). %11 B_4C katkılı nano kompozitin, %3 ve %7 B_4C katkı oranlı örnekler ile karşılaştırıldığında, nötron soğurma eğrisinin daha kararlı olduğu görülmektedir. %1 Gd_2O_3 katkılı örneğin, 5 cm’den sonra nötron geçirgenliği saf polietilene yaklaşırken; %3 katkılı Gd_2O_3 katkılı örneğin soğurma özelliklerinde artma göze çarpmaktadır (Şekil 4.45).



Şekil 4.43. %3 B₄C katkılı örneklerin katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

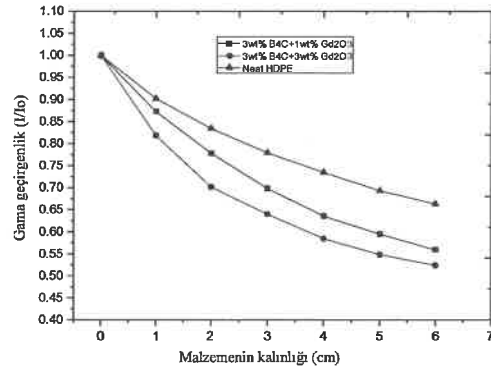


Şekil 4.44. %7 B₄C katkılı örneklerin katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

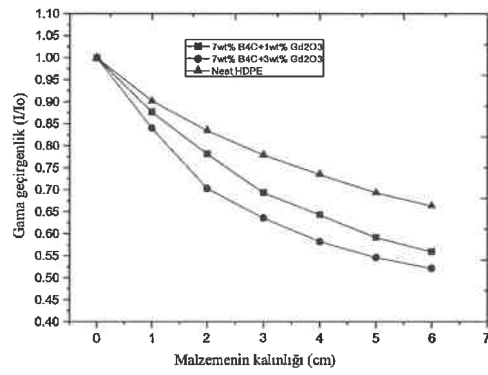


Şekil 4.45. %11 B₄C katkılı örneklerin katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

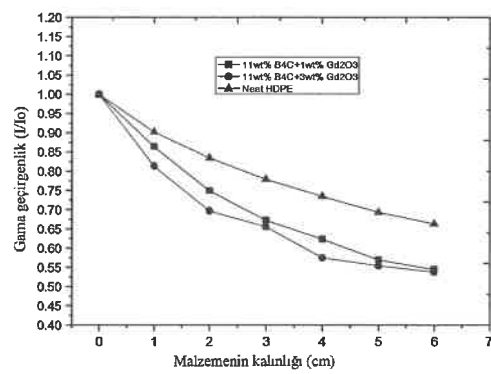
(%3-%7-%11 B_4C /%1-%3 Gd_2O_3) YYPE nano kompozitlerin gama ışını geçirgenlik özelliklerinin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak değişimi Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

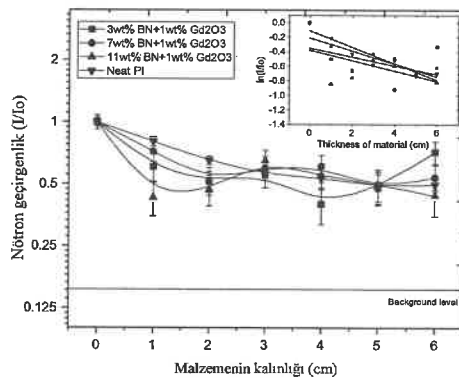
Şekil 4.46. a) %3 B₄C; b) %7 B₄C; c) %11 B₄C kompozitlerin Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak gama ışını geçirgenlikleri

Şekil 4.46.a ve 4.46.b incelendiğinde Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak, nano kompozitlerin gama soğurma özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak, nötron soğurmada olduğu gibi, %11B₄C+%3Gd₂O₃ kompozitin gama soğurma özelliğinin de düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise, B₄C yüzdesi arttıkça ana matris ve Gd₂O₃ ile etkileşiminin kötüleştiği olabilir. Dolayısıyla yüksek oranda aynı polimer matris içerisinde B₄C ile Gd₂O₃'in birlikte kullanılması gerek nötron gerekse gama radyasyonunun zırhlıanmasında, teorik olarak beklenildiğinin aksine, ciddi bir katkı yapmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, saf polietilenin gama soğurması maksimum %35'ler seviyesinde gerçekleşirken, Gd₂O₃ nano parçacıkların ilave edilmesiyle bu oran maksimum %50'ler seviyesine çıkarılmıştır. Sonuç olarak, saf polietilenin kütle soğurma katsayısı 0,0729 g/cm², %3B₄C+%3 Gd₂O₃katkılı örneğin ise 0,1144 g/cm²olarak hesaplanmış ve saf polietilenin gama soğurma kapasitesi yaklaşık olarak %58 oranında arttırılmıştır.

4.3.3. h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri

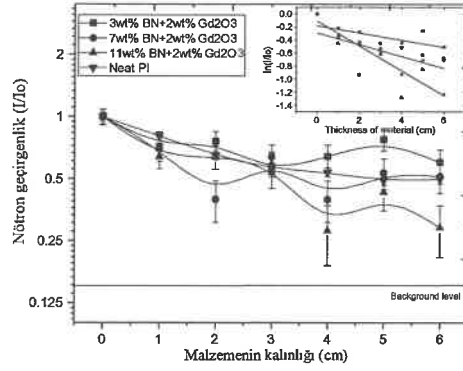
Bu bölümde, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) matris yerine poliimidin (PI) kullanılmasıyla, poliimid tabalı nano kompozitler üretilmiştir. Bu kapsamda üretilen (%3-%7-%11BN+%1-%2-%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitler için nötron soğurma grafikleri Şekil 4.47 ile Şekil 4.49 arasında gösterilmiştir. Şekil 4.47'de (%3-%7-%11BN+%1Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrilerindeki değişimler gösterilmektedir.

Şekil 4.47'de, saf poliimid üstel azalan ve dalgalı olmayan bir nötron geçirgenlik eğrisine sahip olmakla birlikte, %3 BN katkıli örneğin daha kararlı, %7 ve %11 BN katkıli örneklerin ise belirli bir kalınlığa kadar azalan ve daha sonra artan bir özellik sergiledikleri görülmüştür. %3 BN katkıli örnek 4cm'e kadar artan nötron soğurma eğilimi gösterirken 4cm'den sonraki kalınlıklarda saf poliimidin bile üstüne çıkarak nötron geçirgenliğini arttırmıştır. %7 BN katkıli örnek ise kötü bir performans sergilemiştir. %11 BN katkıli örnek dalgalı özellik sergilemesine rağmen 1-2 cm arasında %55-60'lar seviyesinde nötron soğurması gerçekleştirmiştir.



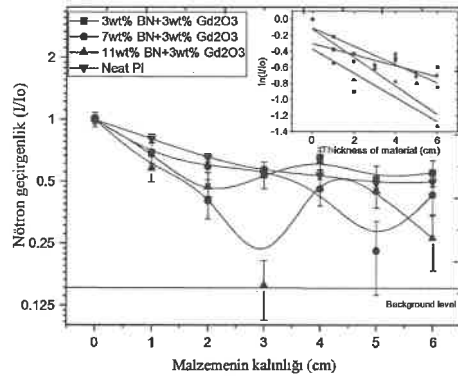
Şekil 4.47. (%3-%7-%11BN+%1Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

Poliimid tabanlı ve %2 Gd_2O_3 katkıları nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri Şekil 4.48'de gösterilmiştir. Her üç örneğin geçirgenlik eğrileri dalgalı bir özellik göstermelerine rağmen, genel olarak %7 ve %11 BN katkıları kompozitlerin nötron soğurma kabiliyetlerinin daha iyi olduğu görülmekte ve bazı kalınlıklarda %60 ile %80 arasında değişen nötron soğurulması gerçekleşmektedir.



Şekil 4.48. (%3-%7-%11BN+%2 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

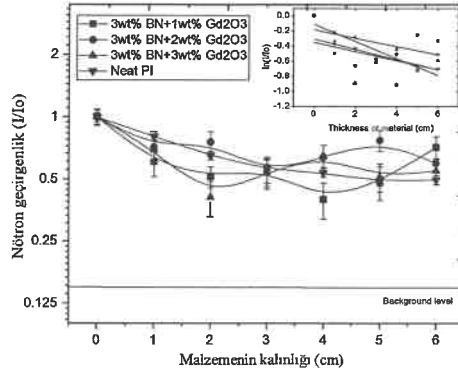
(%3-%7-%11 BN+%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri Şekil 4.49'da verilmiştir. %1 ve %2 Gd_2O_3 katkıları örnekler ile kıyaslandığında, farklı üç yüzde de katılanan BN'ler için daha net soğurma eğrilerinin elde edildiği görülmektedir. %3, %7 ve %11 BN katkıları örnekler belirli bir kalınlıktan sonra artan ve azalan özellik sergilemektedirler. Bununla birlikte, %11 BN katkıları örnek 3-4 cm'de ortalama %85-90'lar seviyesinde nötronları soğururken, %7 BN katkıları örnek ise 4-6 cm kalınlıklarda, ortalama %70-75'ler civarında nötron soğurulması gerçekleşmektedir.



Şekil 4.49. (%3-7-11BN+%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

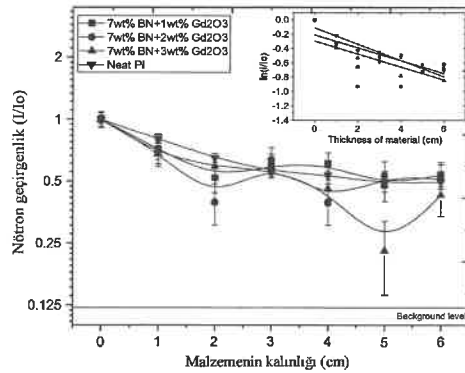
Poliimid matrise katılanan BN miktarının sabit tutulmasıyla üretilen nano kompozitlerin nötron soğurma özelliklerinin nasıl değiştiğini irdelemek için, katılanan nano Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak örneklerin nötron geçirgenlikleri Şekil 4.50 ile Şekil

4.52 arasında verilmiştir. %3 BN ve farklı oranlarda Gd_2O_3 katkılı örneklerle bakıldığında benzer soğurma geçirgenlik eğrisine sahip oldukları, fakat %2 Gd_2O_3 katkılı örneğin bazı kalınlıklarda özellikle 2 cm ve 5 cm’de farklı eğriler çizdiği Şekil 4.50’de açıkça görülmektedir.



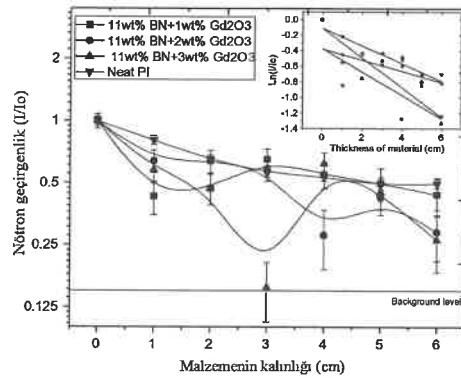
Şekil 4.50. %3 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

Şekil 4.51’de %1 Gd_2O_3 katkılı örneğin çok kötü bir soğurma özelliğine sahip olduğu, %2 Gd_2O_3 katkılı örneğin dalgalı ve %3 Gd_2O_3 örneğin ise daha kararlı ve iyi nötron soğurma özelliğine sahip olduğu göze çarpmaktadır. 2 cm’den sonra %2 Gd_2O_3 ’li örneğin geçirgenliği saf polimide yaklaşımakta, %3 Gd_2O_3 ’li örneğin ise kalınlık arttıkça azalan geçirgenlik eğrisine sahip olduğu ve soğurmanın 4 ve 6 cm’de yaklaşık olarak %90 gerçekleştiği bulunmuştur.



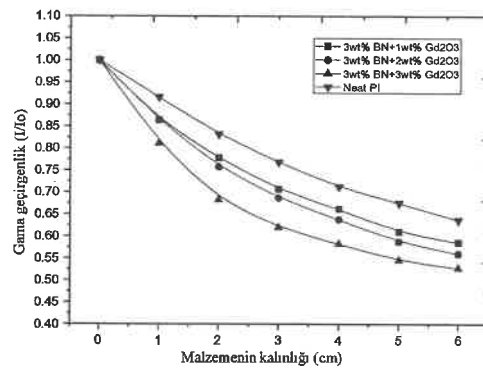
Şekil 4.51. %7 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

%11 BN katkılı poliimidli örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlikleri Şekil 4.52’de verilmiştir. 1 cm’den sonra %1 Gd_2O_3 katkılı örneğin geçirgenliği artmakta ve saf poliimide yaklaşılmaktadır. %2 ve %3 Gd_2O_3 katkılı örneklerin 3-4 arasında cm’ye kadar benzer nötron geçirgenlik özelliği sergilemekle birlikte, %2 Gd_2O_3 katkılı örnek 4 cm’de %70, %3 Gd_2O_3 örnek ise 3-4 cm’de %90-95 arasında nötron soğurma gerçekleştirdikleri görülmektedir. Sonuç olarak, nano kompozitlerin nano parçacık içeriğine ve kalınlıklarına bağlı olarak çok farklı nötron geçirgenlik/soğurma özellikleri sergiledikleri çizilen grafiklerden açıkça görülmektedir.

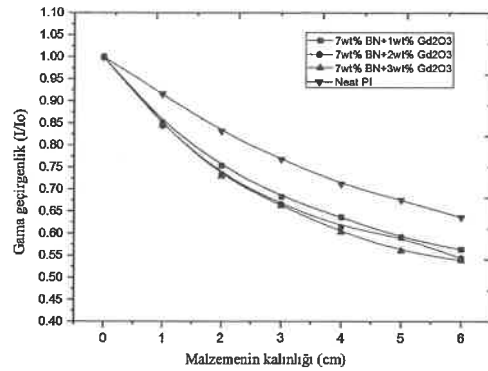


Şekil 4.52. %11 BN katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

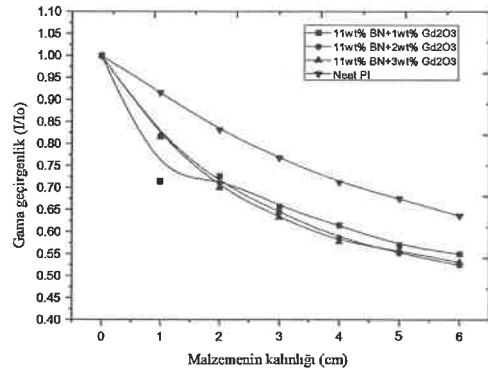
Üretilen (%3-%7-%11 BN+%1-%2-%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin, nötron soğurma deneyleri esnasında sistemde var olan gama radyasyonlarına karşı soğurma özelliklerinin katkılanan Gd_2O_3 miktarlarına bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlenmek için katkılanan BN miktarları sabit tutulmasıyla çizilen gama geçirgenlik eğrileri Şekil 4.53 'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

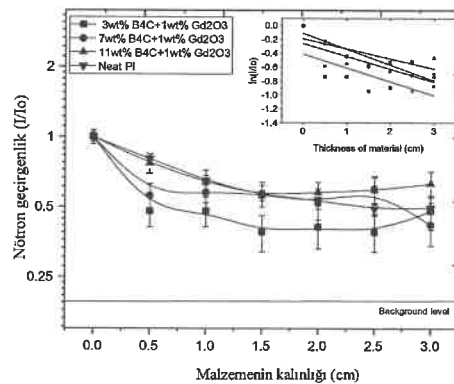
Şekil 4.53. a) %3 BN; b) %7 BN; c) %11 BN kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak gama geçirgenlikleri

Şekil 4.53'deki her üç grafikten de görüleceği üzere, katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak üretilen nano kompozitlerin saf poliimide göre gama soğurma kabiliyetleri artmaktadır. Saf poliimidin gama soğurma yüzdesi yaklaşık olarak maksimum %35'ler civarında gerçekleşirken, %3 Gd_2O_3 katkılanmasıyla bu oran %45'ler seviyesine çıkarılmıştır. Bununla birlikte BN yüzdesi artarken, gama soğurmada Gd_2O_3 'ün yüzde katkısına bağlı olarak etkisi net olarak görülememektedir. Sonuç olarak, Şekil 4.53.a ve 4.53.b'de Gd_2O_3 yüzdesi artarken gama soğurmada çok küçük değişimler gözlemlenmekle birlikte, her üç örnek içinde çok yakın geçirgenlik eğrileri elde edilmiştir.

4.3.4. $B_4C/Gd_2O_3/PI$ nano kompozitlerin nötron soğurma özellikleri

Tez çalışmasında son üretilen (%3-%7-%11 B_4C +%1-%3 Gd_2O_3)/PI örneklerdir. Bu kompozitler, üretim aşamasındaki zorluklardan dolayı, daha önce üretilenlerden farklı olarak 0,5 cm kalınlıklarda üretilmiş ve altı farklı kalınlıklarda nötron ve gama soğurma özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda üretilen (%3-%7-%11 B_4C +%1-%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitler için nötron soğurma grafikleri Şekil 4.54 ile Şekil

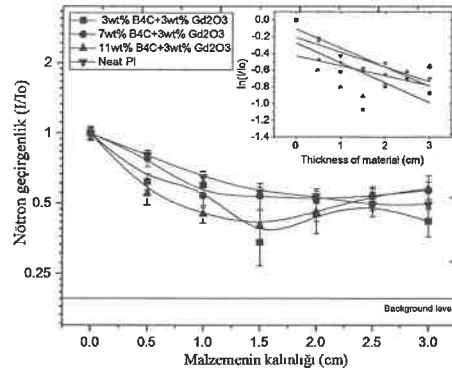
Şekil 4.54’de, her üç nano kompozitin geçirgenlik eğrilerinin saf polimide göre daha düşük olduğu ve özellikle örnek kalınlığının düşürülmesiyle geçirgenlik eğrilerinde daha az dalgalandığı görülmektedir. Genel olarak B_4C miktarı yükseldikçe (düşük Gd_2O_3 içeriğiyle), kompozitlerde nötron geçirgenliğinin arttığı göze çarpmakla birlikte, en iyi soğurma %60’lar mertebesinde %3 B_4C katkılı örnekte elde edilmiştir. Bu da, B_4C ’ün ve poliimidin yapısal özelliklerinden kaynaklanabilir ve B_4C miktarı artınca ana matris ile etkileşiminin zayıfladığı durumunu ortaya koymaktadır. Saf poliimidin ise maksimum %50 civarında nötron soğurması göze çarpmaktadır. B_4C katkılı kompozitlerden elde edilen geçirgenlik eğrileri, BN katkılı örneklerle nazaran çok daha az dalgalanmaya sahip olduklarından, nötron soğurmalarında kalınlığa bağlı ani değişimler gözlenmemiştir.



Şekil 4.54. (%3-7-11B₄C+%1Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

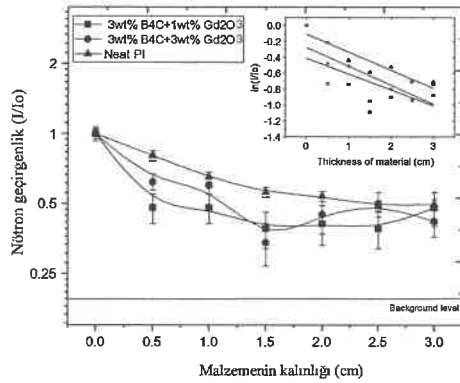
Şekil 4.55’de, saf poliimide hem %3-%11 arasında B_4C hem de %3 Gd_2O_3 katılanmasıyla üretilen kompozitlerde, saf poliimide göre daha iyi soğurma elde edilirken, %7 B_4C katkılı örneğin diğer katkılı örnekler göre kötü geçirgenlik eğrisine sahip olduğu görülmüştür. %3 Gd_2O_3 katkısı, kompozitlerin nötron geçirgenliklerinde %1 Gd_2O_3 ’e (Şekil 4.54) göre daha fazla dalgalanmaya neden olmuştur. %3 ve %11 B_4C katkılı örneklerde ise benzer nötron geçirgenlik eğrileri gözlemlenmekle birlikte, 1,5 cm’de maksimum %66-70’ler civarında nötron soğurulması gerçekleşmiş ve artan kalınlıkla geçirgenlik yükselmiştir.

B₄C/PI kompozitlerde, katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlikleri arasında farklılıkların ortaya koyabilmek için B₄C miktarının sabit tutulmasıyla çizilen grafikler Şekil 4.56 ile Şekil 4.57 arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.55. (%3-7-11 B₄C +%3 Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

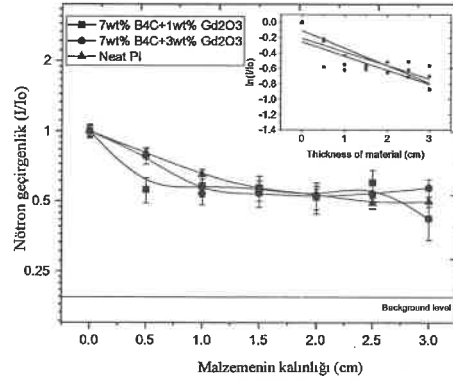
%3 B₄C'li kompozitlerin Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlikleri Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Şekil 4.56'da Gd₂O₃ miktarının artmasına bağlı olarak dalgalı bir geçirgenlik eğrisi elde edilmiş ve buna bağlı olarak farklı kalınlıklarda farklı soğurma yüzdeleri görülmüştür. Ortalama nötron soğurma yüzdelerinde net bir farklılığın olmadığı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte, düşük kalınlıklarda katkılı nano kompozitler saf poliimide göre nötronu çok daha etkin soğurdukları gözlemlenmiştir.



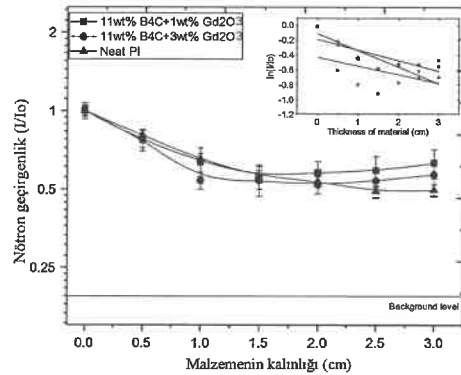
Şekil 4.56. %3 B₄C katkılı örneklerin katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

%7 B₄C katkılı kompozitlerin Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlik eğrileri Şekil 4.57'de verilmiştir. Katkılı örneklerin özellikle düşük kalınlıklarda nötron soğurmada etkin oldukları net olarak görülmekle birlikte, kalınlık arttıkça katkı oranları arasında bir farkın olmadığı görülmektedir. Örneğin, 0.5 cm'de %3 Gd₂O₃ katkılı örnek ile saf poliimid nötronu ortalama %10-15'ler seviyesinde soğururken, %1 Gd₂O₃ katkılı örneğin nötron soğurması %50'ler seviyesinde gerçekleşmiş ve yaklaşık olarak 3,3 kat artış gözlenmiştir. 1 cm kalınlıktan sonra nötron soğurmada Gd₂O₃'in etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 4.58’de %11 katkılı örneklerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak nötron geçirgenlik eğrileri verilmiştir. Gd_2O_3 yüzdesinin artması, katkılı kompozitlerde daha küçük kalınlıklarda daha iyi nötron soğurmayı beraberinde getirmiştir. En yüksek oranda nötron soğurma (%50 civarında) 1,5 cm’de %3 Gd_2O_3 katkılı örnekte elde edilmiş, ancak, bu kalınlıktan sonra Gd_2O_3 ’in nötron soğurmadaki etkisi azalmıştır. Kalınlık yükseldikçe nötron geçirgenliği artmış ve saf poliimidin seviyelerine yaklaşmıştır.



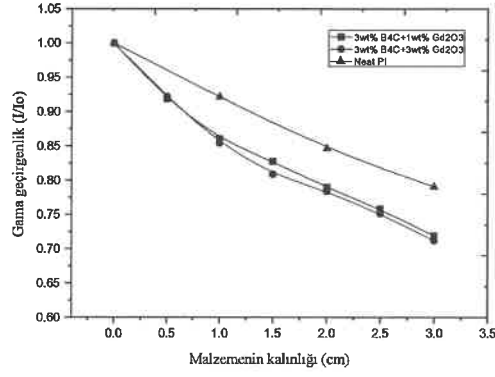
Şekil 4.57. %7 B_4C katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri



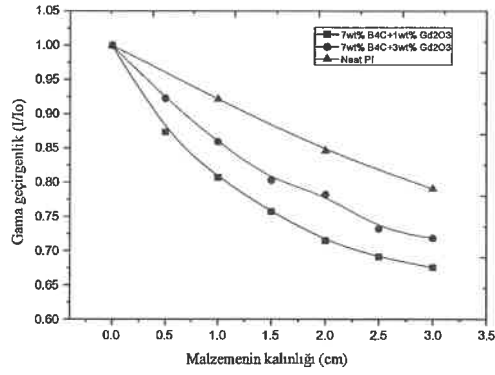
Şekil 4.58. %11 B_4C katkılı örneklerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı nötron soğurma eğrileri

(%3-%7-%11 B_4C +%1-%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitlerin katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak çalışılan ortamda var olan gama radyasyonlarına karşı, (%3-%7-%11 B_4C +%1-%3 Gd_2O_3)/PI kompozitlerin sergilemiş oldukları soğurma karakteristikleri Şekil 4.59’da gösterilmiştir. %3 B_4C katkılı nano kompozitlerin gama soğurma kabiliyetleri saf poliimide göre daha iyi olmasına rağmen, Gd_2O_3 ’in katkı miktarının gama soğurmada net etkisi görülememektedir (Şeki 4.59.a). %7 B_4C katkılı örneklerde ise %1 Gd_2O_3 katkılı örneğin gama soğurmada daha etkin olduğu görülmekle birlikte (Şekil 4.59.b), %11 B_4C katkılı örneklerde ise %3 Gd_2O_3 katkısının etkisi açıkça görülmektedir (Şekil 4.59.c). Bununla birlikte, saf poliimidin yaklaşık olarak en yüksek

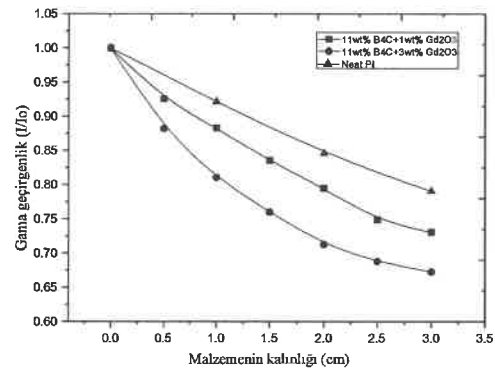
%20'ler civarında gama soğurma özelliğine sahip iken, Gd_2O_3 katkısıyla bu oran %35 seviyesine çıkarılmaktadır. Şekil 4.59'dan da anlaşılabacağı gibi Gd_2O_3 'ün katkısı, üretilen kompozitlerin asıl işlevinden (nötron zırlama) ödün vermeksizin gama radyasyonlarına karşı soğurma kabiliyetlerini yükseltmiştir.



(a)



(b)



(c)

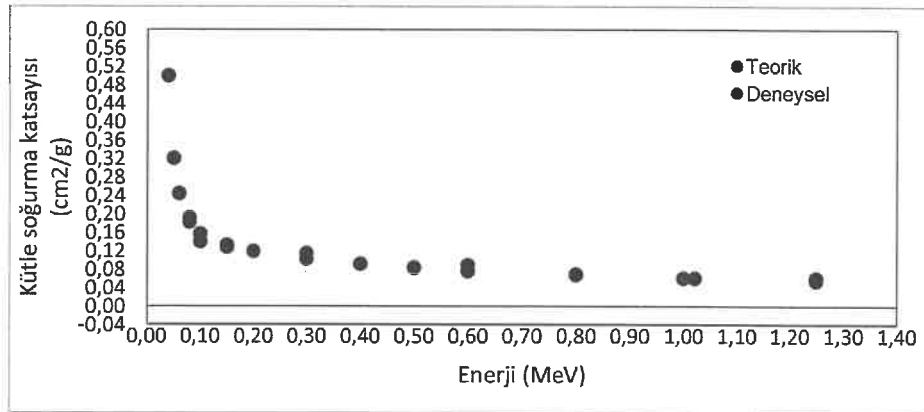
Şekil 4.59. a) %3 B₄C; b) %7 B₄C; c) %11 B₄C kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak gama ışını geçirgenlikleri

4.4. Üretilen Nano Kompozitlerin Gama Radyasyon Soğurma Özellikleri

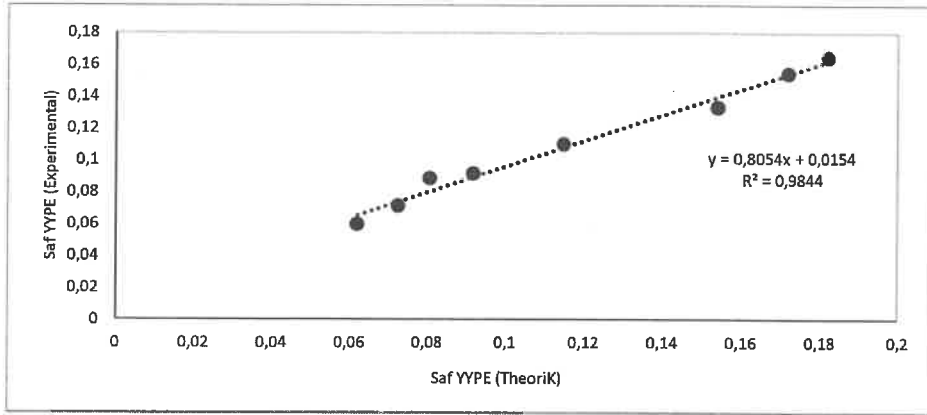
Üretilen iki ana gruptaki dört farklı nano kompozitin laboratuvar ortamında noktasal gama kaynaklarından farklı enerjilerde yayınlanan gama ışınlarına karşı soğurma davranışlarının belirlenmesi işlemi Bölüm 3.3.2’de detayları verilen gama spektroskopi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen nano kompozitlerin gama ışınlarına karşı kütle soğurma katsayılarının (cm^2g^{-1}) bulunabilmesi için, tasarlanan ve hazırlanan ölçüm sisteminin güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla alüminyumun soğurma katsayıları deneysel olarak belirlenmiş ve bu değerler WinXCom programıyla elde edilen teorik değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 4.60). Şekil 4.60’dan de anlaşılacağı üzere alüminyumun deneysel kütle soğurma katsayıları teorik sonuçlara çok yakın olarak bulunmuştur. Deneyde kullanılan alüminyumun yoğunluğunun ($\sim 3 \text{ g/cm}^3$) saf alüminyuma göre ($2,7 \text{ g/cm}^3$) yüksek olmasından dolayı genel olarak deneysel sonuçlar teorik sonuçlara göre yüksek çıkmıştır.

Bununla birlikte, ana matris olarak kullandığımız saf polietilen içinde teorik ve deneysel kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir. Polietilen için yapılan bu karşılaştırma önemlidir, çünkü kütle soğurma katsayıları çok küçük olan polietilenden elde edilecek deneysel veriler ve bunların teorik sonuçlar ile uyumu, deney düzeneğinin hassasiyetini ortaya koyacaktır. Sonuç olarak, hesaplanan deneysel ve teorik sonuçlar arasındaki korelasyon $R^2 = 0,98$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.61). Polietilen ve poliimid için elde edilen deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması Şekil 4.62’de verilmiştir.

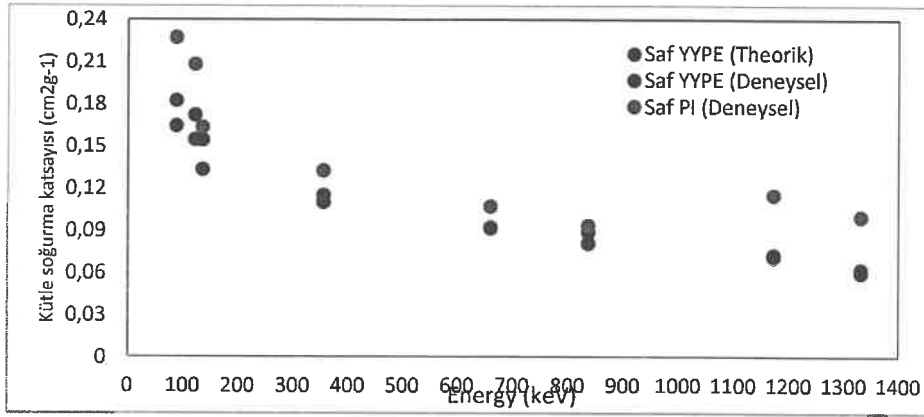
Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de, üretilen nano kompozitlerin kütle soğurma katsayılarının belirlenmesinde kullandığımız gama spektroskopi sisteminin güvenilirliği ve hassasiyeti hem alüminyum hem de polietilen için yapılan ön çalışmalarla ortaya konulmuştur. Özellikle, polietilen için düşük enerjilerde bulunan değerler arasında küçük farklılıklar görülmekte birlikte, bu enerji değerlerinin Compton ve gürültü bölgelerine yakın olmalarından dolayı oluşan gama piklerinin net olarak ayrışmaması bu farklılıkların kaynağıdır [kullanılan detektör NaI-(TI)]. Bununla birlikte, poliimidin kütle soğurma katsayılarının polietilenden yüksek olduğu Şekil 4.62’de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.60. Alüminyumun kütle soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi



Şekil 4.61. Polietilen için hesaplanan deneysel ve teorik kütle soğurma katsayıları arasındaki korelasyon



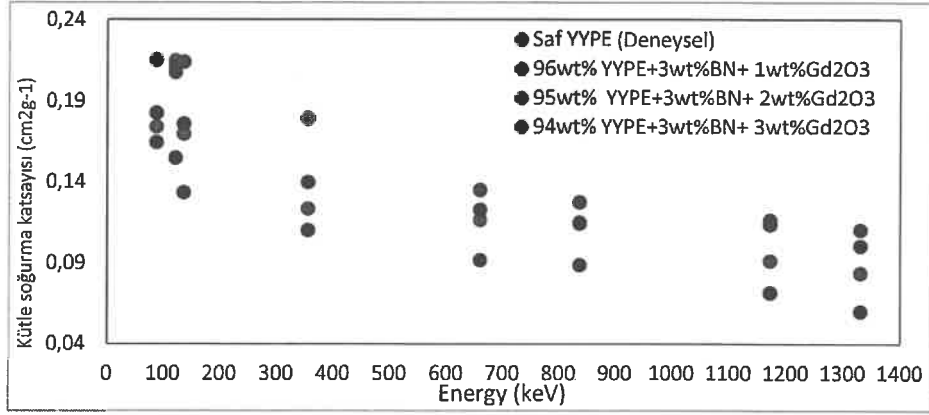
Şekil 4.62. Polietilen ve poliimidin kütle soğurma katsayıları

4.4.1. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri

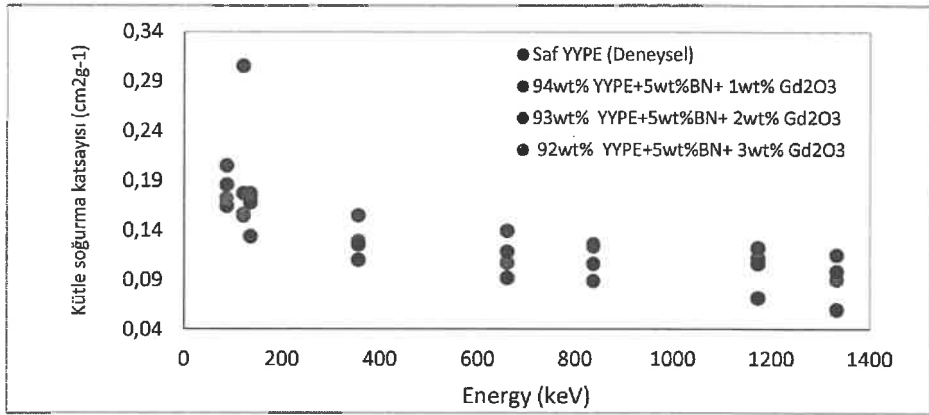
Üretilen ilk grup olan (%3-%11 h-BN+%1-%3Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin farklı enerjilerdeki gama radyasyonlarına karşı bulunan kütle soğurma katsayıları Şekil 4.63'de verilmiştir.

Şekil 4.63'den, saf polietilen ile karşılaştırıldığında, üretilen kompozitlerin Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak kütle soğurma katsayılarının genel olarak yükseldiği ve bu artışın katılan Gd₂O₃ yüzde miktarı ile orantılı olduğu görülmektedir. Sadece %11 BN katkılı örneklerde en yüksek üç enerji değerinde %2 Gd₂O₃ katkılı örneklerin kütle soğurma katsayılarının çok çok küçük bir farkla (bu üç enerji değerindeki farkların ortalaması 0,0018) yüksek çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte, 1332,5 keV'de saf polietilenin kütle soğurma katsayısı 0,0596 cm²g⁻¹ olarak bulunmuşken, %5 BN+%3 Gd₂O₃ ve %3 BN+%3 Gd₂O₃ katkılı örneklerin kütle soğurma katsayıları, sırasıyla, 0,1147 ve 0,1101 cm²g⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak örneklerin kütle soğurma katsayısındaki bu yükselme, saf polietilenin kütle soğurma katsayısında yaklaşık %92 ile %85 arasında bir artışa karşılık gelmektedir. Üretilen nano

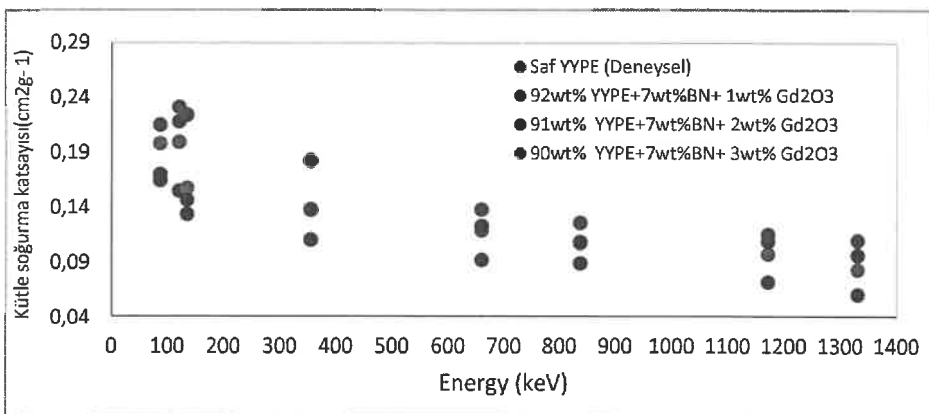
kompozitler, yüksek enerjili gamaların yoğun olduğu ortamlarda kullanılacaklarından, yüksek enerjilerdeki gamalara karşı davranışının laboratuvar ortamında belirlenmesi çok önemlidir bu nedenle karşılatırmalar sadece ^{60}Co radyoizotopunun 1332,5 keV'lik enerjisi için yapılmıştır.



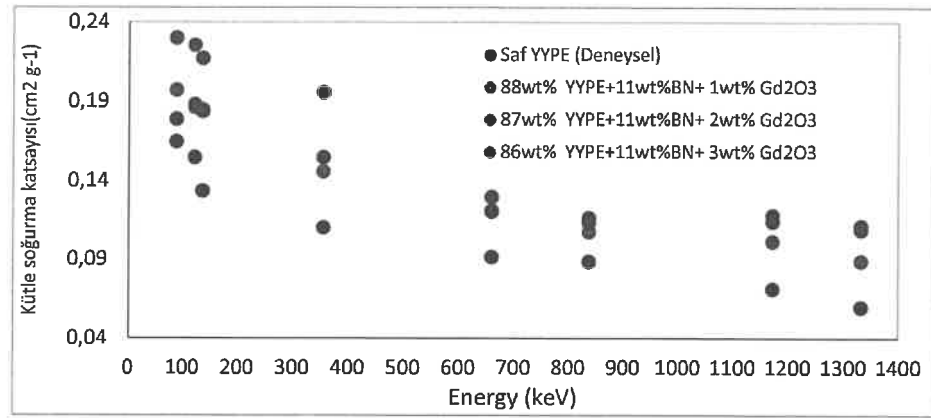
(a)



(b)



(c)

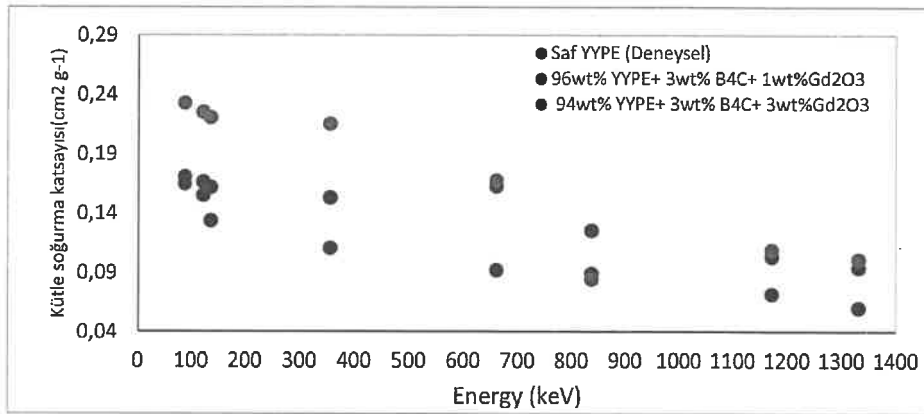


(d)

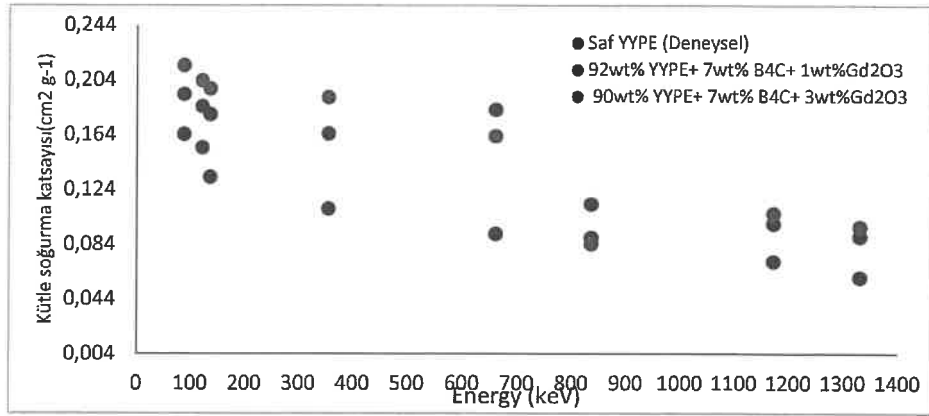
Şekil 4.63. a) %3 h-BN; b) %5 h-BN; c) %7 h-BN; d) %11h-BN nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları

4.4.2. B₄C/Gd₂O₃/YYPE Nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri

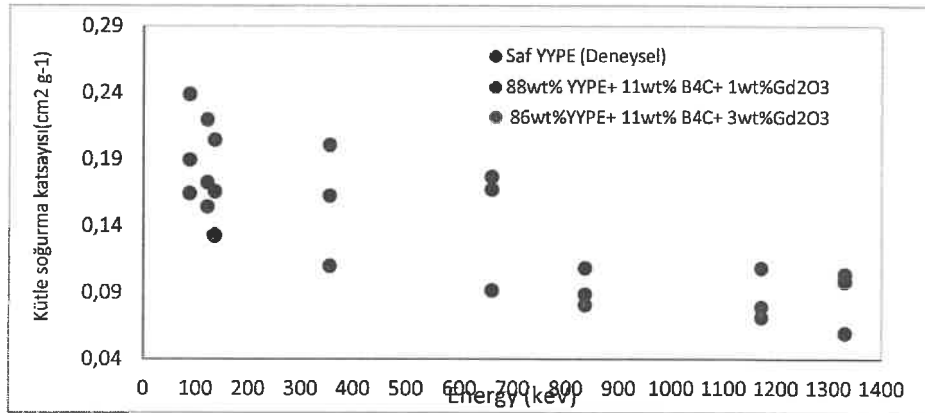
(%3-%7-%11B₄C+%1-%3Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin gama soğurma karakteristikleri Şekil 4.64’de gösterilmiştir. Şekil 4.64’ de görüldüğü gibi her üç grafikte de, Gd₂O₃ nano parçacık katkısı, üretilen nano kompozitlerin kütle soğurma katsayılarını saf polietilene göre arttırmış, ancak gama enerjisi yükseldikçe %1 ve %3 Gd₂O₃ katkı oranlarının kütle soğurma katsayıları üzerindeki etkisi arasında net bir farklılık göze çarpmamaktadır. Bununla birlikte, 1332,5 keV’de saf polietilenin kütle soğurma katsayısı 0,0596 cm²g⁻¹ iken, en iyi sonucun elde edildiği %11 B₄C+%3 Gd₂O₃ katkılı örneğin kütle soğurma katsayısı 0,1035 cm²g⁻¹ olarak hesaplanmış ve Gd₂O₃ katkısı kütle soğurma katsayısında yaklaşık %74 civarında artışa neden olmuştur.



(a)



(b)



(c)

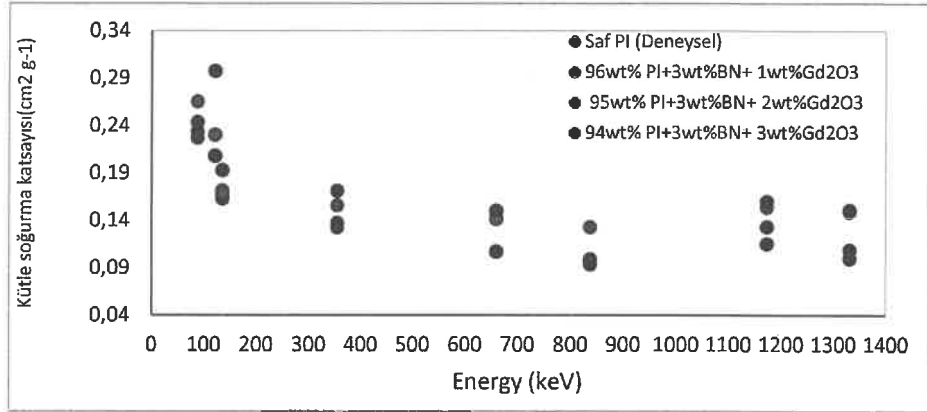
Şekil 4.64. a) %3 B₄C; b) %7B₄C; c) %11B₄C nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları

Altı farklı içerikte hazırlanan (%3-%7-%11 B₄C+%1-%3Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin hesaplanan kütle soğurma katsayıları üzerinde Gd₂O₃'in etkisi düşük enerji bölgesinde net olarak görülmesine rağmen, yüksek enerji bölgesinde bu etki görülmemektedir. Şekil 4.64'de de görüldüğü gibi, 1332,5 keV'de nano kompozitlerin en düşük ve en yüksek kütle soğurma katsayıları arasındaki fark 0,0139 olarak hesaplanmıştır.

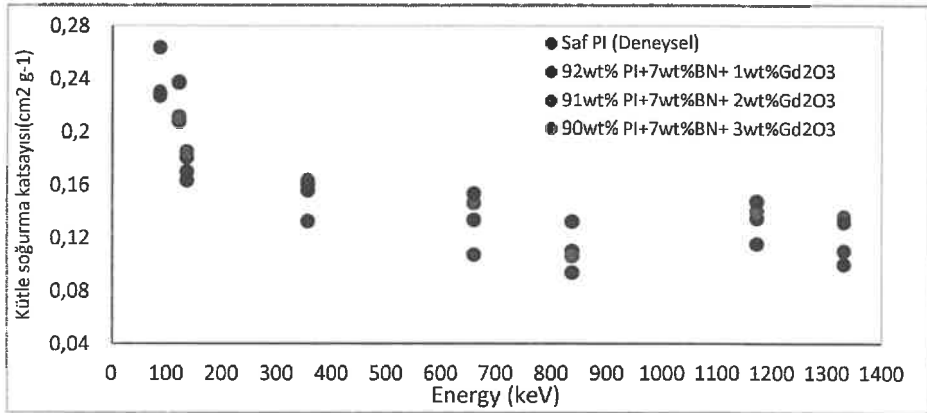
4.4.3. h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri

Şekil 4.65'de, (%3-%7-%11 BN+%1-%3Gd₂O₃)/PI nano parçacıklar içeren nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları gösterilmiştir. Şekil 4.65'de, poliimid ana matris içerisinde katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak üretilen örneklerin gama soğurma katsayılarının genel olarak yükseldiği görülmektedir. Saf poliimidin kütle soğurma katsayısının yüksek olması ve Gd₂O₃ katkısının eklenmesi, üretilen örneklerin soğurma katsayılarını daha da arttırmıştır. Örneğin, saf poliimidin 1332,5 keV enerjide kütle soğurma katsayısı 0,0996 cm²g⁻¹ bulunurken, bu enerjide en yüksek %3 BN+%3

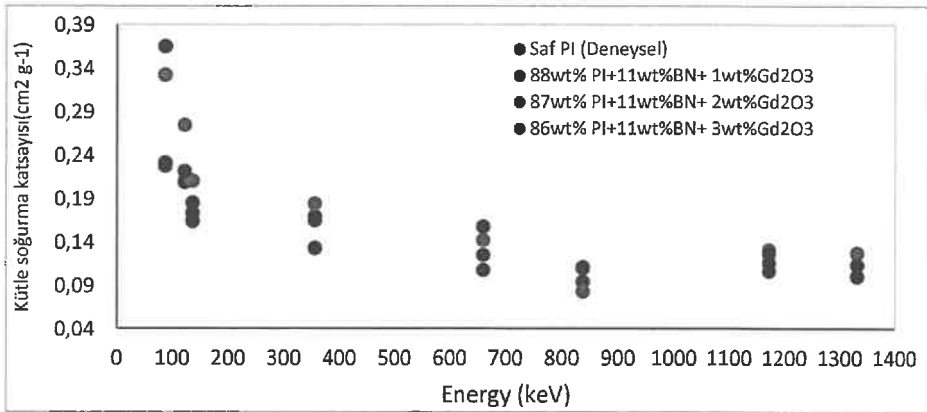
Gd₂O₃'li örnekte kütle soğurma katsayısı 0,1506 cm²g⁻¹ değere ulaşmış ve katsayıda yaklaşık olarak %51 civarında bir artış gerçekleşmiştir.



(a)



(b)



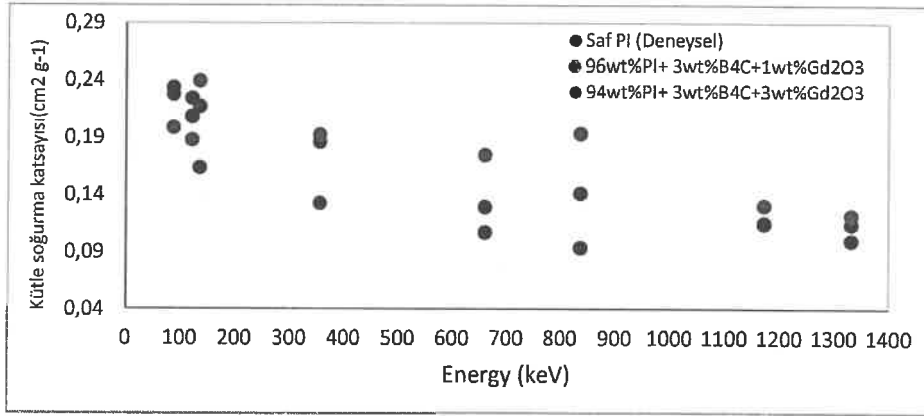
(c)

Şekil 4.65. a) %3 BN; b) %7BN; c) %11BN nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları

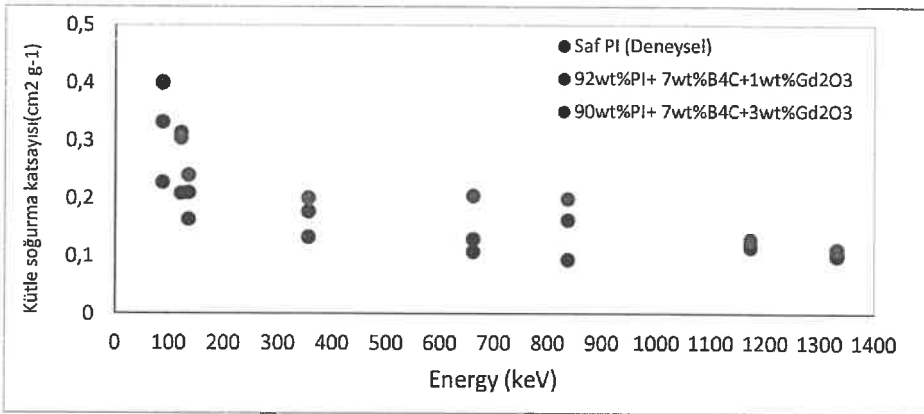
4.4.4. B₄C/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin gama soğurma özellikleri

Şekil 4.66 'de, poliimid matrisli (%3-%7-%11 B₄C/%1-%3 Gd₂O₃)/PI nano parçacıklar içeren nano kompozitlerin gama soğurma karakteristikleri gösterilmiştir.

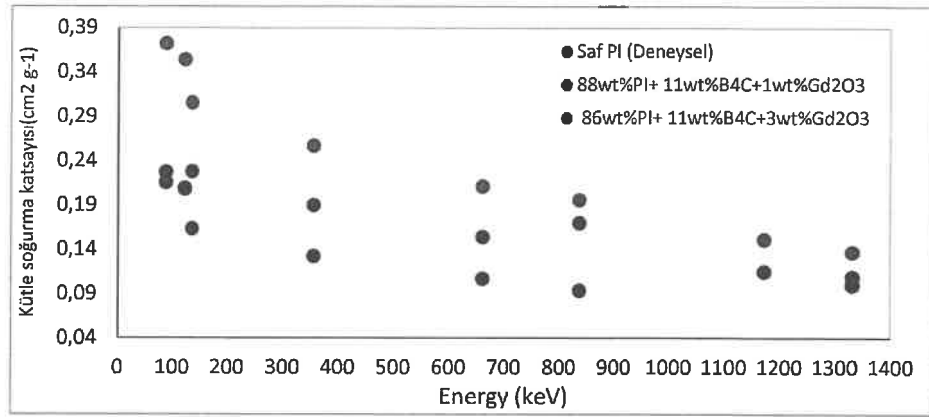
Bu grup örneklerde Gd₂O₃ katkısının kütle soğurma katsayısı üzerindeki etkisi çizilen Şekil 4.66'dan açıkça görülmektedir. Bu etki %3 ve %11 B₄C katkılı örneklerde daha belirgindir. 1332,5 keV enerjide en yüksek kütle soğurma katsayısı 0,1368 cm²g⁻¹ değeri ile %11 B₄C+%3 Gd₂O₃ içerikli örnekte elde edilmiş ve saf poliimide göre %37 civarında kütle soğurma katsayısında artışa neden olmuştur.



(a)



(b)



(c)

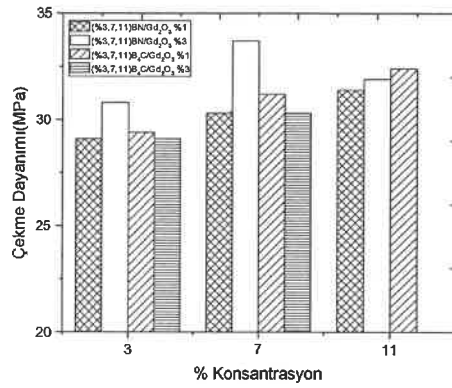
Şekil 4.66. a)%3 B₄C; b)%7B₄C; c) %11B₄C nano kompozitlerin kütle soğurma katsayıları

5. TARTIŞMA

5.1. Mekanik Testlerin Karşılaştırılması

5.1.1. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin mekanik karakterizasyonlarının karşılaştırılması

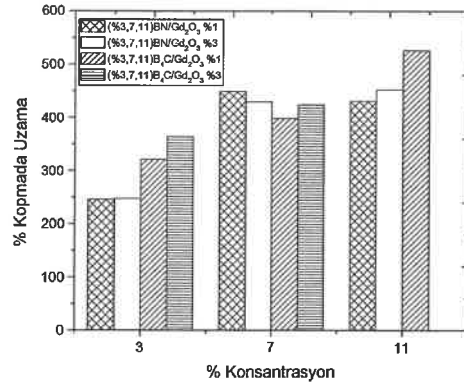
Üretilen (%3-%7-%11 h-BN+%1-%3Gd₂O₃)/YYPE ile (%3-%7-%11 B₄C+%1-%3 Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerinin çekme dayanımı (MPa), kopmada uzama (%) ve darbe dayanımlarının (kJ/m²) karşılaştırılması, sırasıyla, Şekilde 5.1, 5.2 ve 5.3’de gösterilmiştir. Şekilde 5.1’de görüldüğü gibi h-BN ile hazırlanmış kompozitler de hem h-BN hem de Gd₂O₃ ilave edilmesiyle özelliklerinin iyileştiği görülmüştür, ancak B₄C ilave edilmiş kompozitlerde Gd₂O₃ ilave edilmesiyle azalan özellik gözlenmiştir. h-BN ile B₄C arasındaki çekme dayanımında gözlenebilecek farklılıklardan en önemlisi h-BN eklenmiş kompozitlerin çok daha iyi arayüzey yapışma sağlamış olmasıdır.



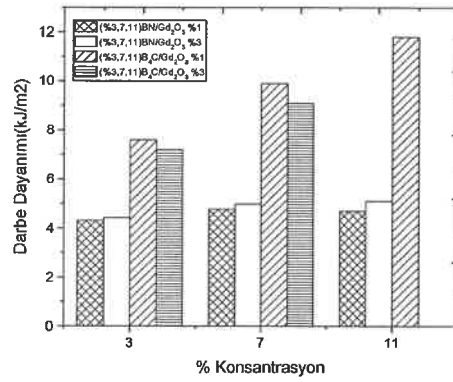
Şekil 5.1. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin çekme dayanımının h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması

Şekil 5.2’de hem h-BN hem de B₄C oranlarının artmasıyla kopmada uzama değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Kopmada uzama değerleri %3, %7 ve %11 oranlarında değişiklikler göstermiş, özellikle %7 oranında h-BN, B₄C’e göre daha iyi özellik gösterirken, %11 oranında tersi durum gözlenmiştir.

Şekil 5.3’de ise h-BN/Gd₂O₃/YYPE kompozitleri ile B₄C/Gd₂O₃/YYPE kompozitlerinin %3, %7 ve %11 oranlarında h-BN ve B₄C katkılanmasıyla darbe dayanımının nasıl değiştiği karşılaştırılmıştır. h-BN ilave edilerek hazırlanmış kompozitlere oranla, B₄C ilave edilerek hazırlanmış kompozitlerin darbe dayanımında yaklaşık iki kat artış gözlenmiştir.



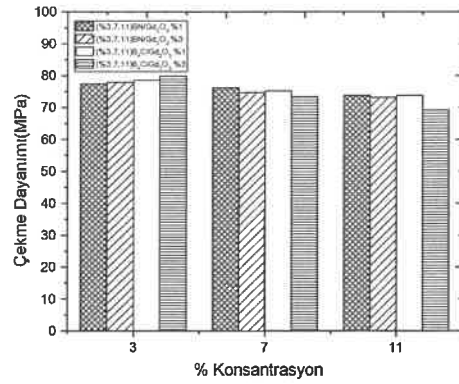
Şekil 5.2. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin kopmada uzama değerlerinin Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması



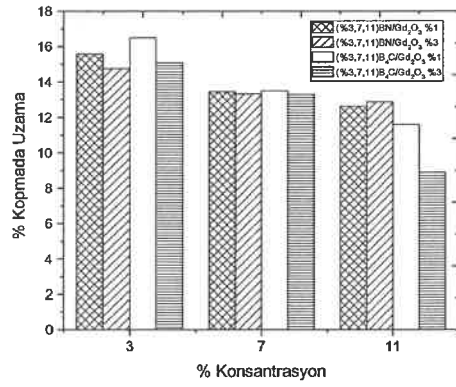
Şekil 5.3. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin darbe dayanımının ve Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması

5.1.2. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin mekanik karakterizasyonlarının karşılaştırılması

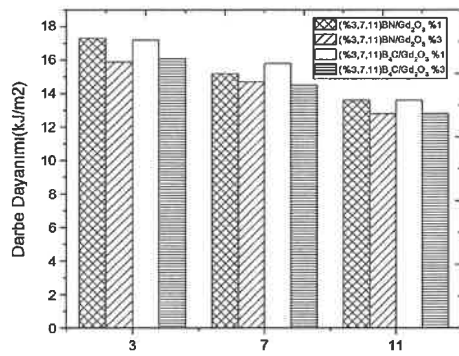
Poliimid ana matrise farklı oranlarda katılan h-BN, B₄C ve Gd₂O₃ nano parçacıklara bağlı olarak üretilen (%3-%7-%11 BN+%1-%2-%3Gd₂O₃)/PI ile (%3-%7-%11B₄C+%1-%3Gd₂O₃)/PI örneklerinin çekme dayanımı (MPa), kopmada uzama (%) ve darbe dayanımlarının (kJ/m²) karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da gösterilmiştir. Şekil 5.4'de nano parçacık katkı oranlarının artmasıyla çekme dayanım testlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da ise karşılaştırılan iki kompozitin Gd₂O₃ nano parçacık oranlarının artmasıyla önemli bir değişiklik olmazken, h-BN ve B₄C nano parçacıklarının katkı oranı arttıkça bir düşüş gözlenmiştir.



Şekil 5.4. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin çekme dayanımının Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması



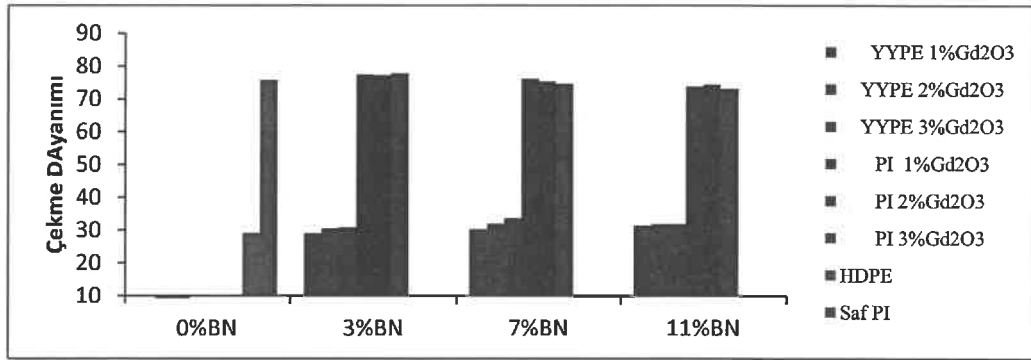
Şekil 5.5. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin kopmada uzama Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması



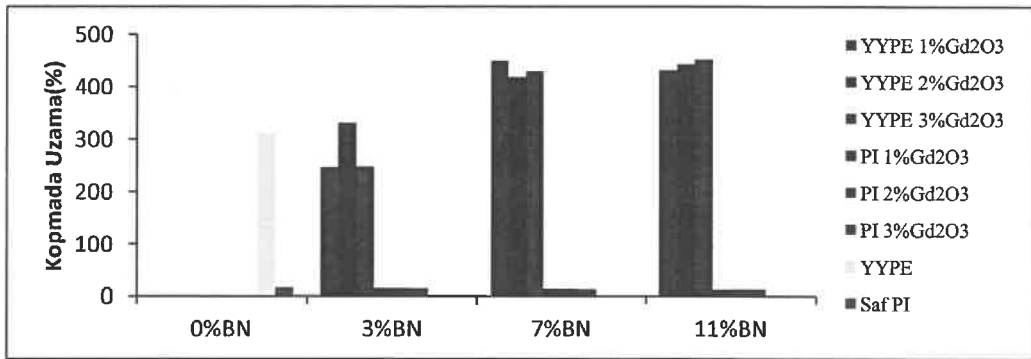
Şekil 5.6. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin darbe dayanımının Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması

5.1.3. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin mekanik sonuçlarının karşılaştırılması

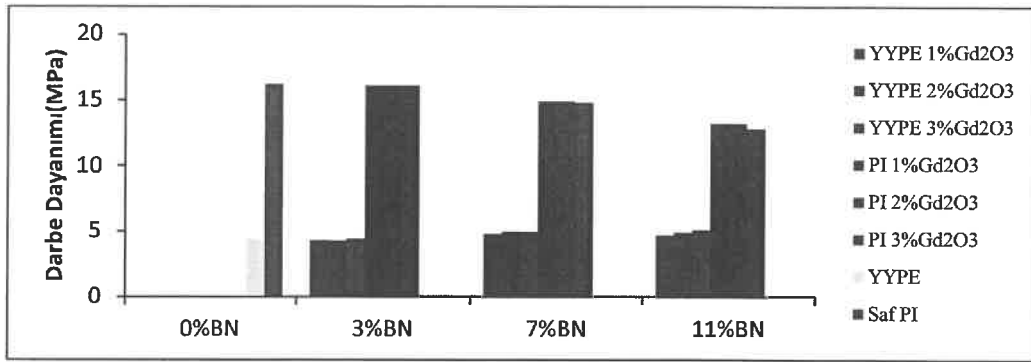
Yüksek yoğunluklu (%3-%11 h-BN+%1-%3Gd₂O₃)/YYPE ve (%3-%7-%11 BN+%1-%2-%3Gd₂O₃)/PI matrisli nano kompozitlerin çekme dayanımı (MPa), kopmada uzama (%) ve darbe dayanımlarının (kJ/m²) karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da gösterilmiştir. Bu şekillerde kompozitlerin mekanik testleri incelendiğinde, saf poliimid ile hazırlanmış kompozitlerin darbe ve çekme testlerinin YYPE ile hazırlanmış kompozitlerin sonuçlarına göre yaklaşık dört kat iyileştiği, fakat kopmada uzama değerlerinde YYPE tabanlı kompozitlerin sonuçlarının çok daha iyi olduğu gözlenmiştir. Darbe dayanımı değerinde, artan h-BN oranlarında ise poliimid tabanlı kompozitlerinde hafif düşme eğilimi elde edilmiştir.



Şekil 5.7. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin çekme dayanımının Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması



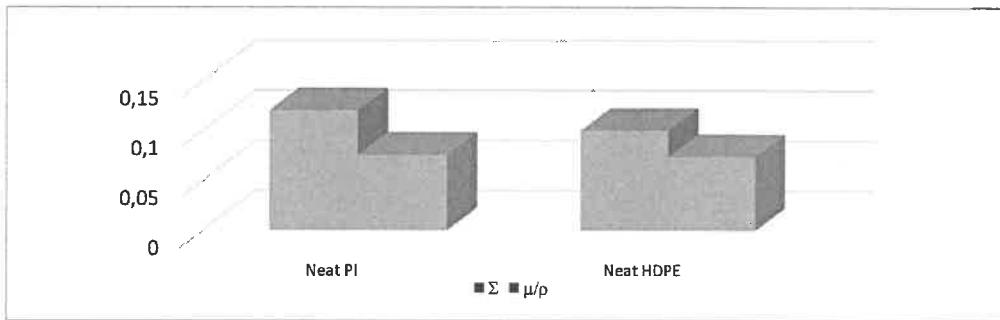
Şekil 5.8. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin kopmada uzama değerlerinin Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması



Şekil 5.9. h-BN/Gd₂O₃/YYPE nano kompozitleri ile h-BN/Gd₂O₃/PI nano kompozitlerin darbe dayanımının Gd₂O₃ konsantrasyonuna bağlı değişiminin karşılaştırılması

5.2. Üretilen Nano Kompozitlerin Nötron ve Gama Soğurma Özelliklerinin Karşılaştırılması

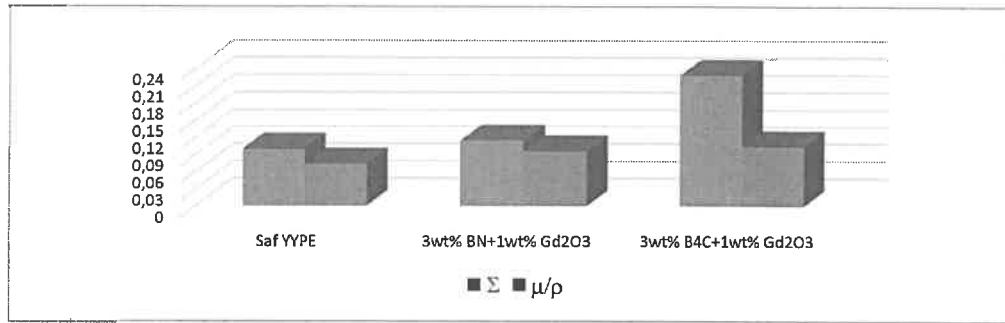
Tezin bu bölümünde kullanılan ana matris sabit tutularak, BN, B₄C ve Gd₂O₃'in katkı miktarlarına bağlı olarak, nötron soğurmada toplam makroskobik etki tesir kesiti (Σ , cm⁻¹) ve gama radyasyonu soğurmada ise kütle soğurma katsayılarındaki (μ/ρ , cm²g⁻¹) değişimler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Öncelikle, hem yüksek yoğunluklu polietilen hem de poliimid matrisli kompozitlerin geliştirilen nötron ve gama soğurma özelliklerine neden olan asıl etken(ler)in daha iyi anlaşılması amacıyla saf poliimid ve saf yüksek yoğunluklu polietilenin toplam makroskobik tesir kesiti ve kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 5.10). Şekil 5.10'dan da anlaşılacağı üzere, poliimid ($\mu/\rho_{PI}=0,0756$ cm²g⁻¹) ve polietilenin ($\mu/\rho_{YYPE}=0,0737$ cm²g⁻¹) kütle soğurma katsayıları yaklaşık olarak aynı olmasına rağmen, makroskobik tesir kesitlerinde ($\Sigma_{PI}=0,1200$ cm⁻¹, $\Sigma_{YYPE}=0,0999$ cm⁻¹) yaklaşık %21 gibi bir fark vardır.



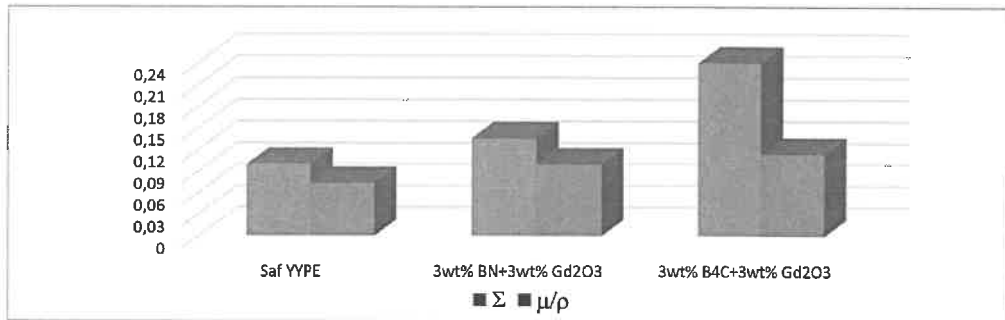
Şekil 5.10. Saf poliimid ve yüksek yoğunluklu polietilenin toplam makroskobik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

5.2.1. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/YYPE kompozitlerin nötron ve gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması

Şekil 5.11'de (%3 BN/B₄C+ %1-3 Gd₂O₃)/YYPE örneklerin toplam makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilene katkılanan iki termal nötron soğurucu materyal olan BN ve B₄C'den, hangisinin nötron soğurmada daha iyi/etkin olduğunun belirlenmesi amacıyla çizilen Şekil 5.11'den, her iki termal nötron soğurucu materyal içeren örneklerin saf polietilene göre daha yüksek toplam makroskopik tesir kesitine sahip olduğu, aynı zamanda B₄C'lü polimer yapının nötron soğurmada daha etkin olduğu göze çarpmaktadır. Gama soğurmada da %3 B₄C'lü kompozitin kütle soğurma katsayıları %3 BN'lü kompozite göre yüksek olduğu izlenmiştir. Sonuç olarak, yüksek yoğunluklu polietilene aynı miktarda %3 BN yerine %3 B₄C katkılanması, saf polietilenin makroskopik tesir kesitinde yaklaşık olarak ortalama %128 ile %245, kütle soğurma katsayısında ise yaklaşık olarak %41 ile %60 civarında bir artışa neden olmuştur.



(a)



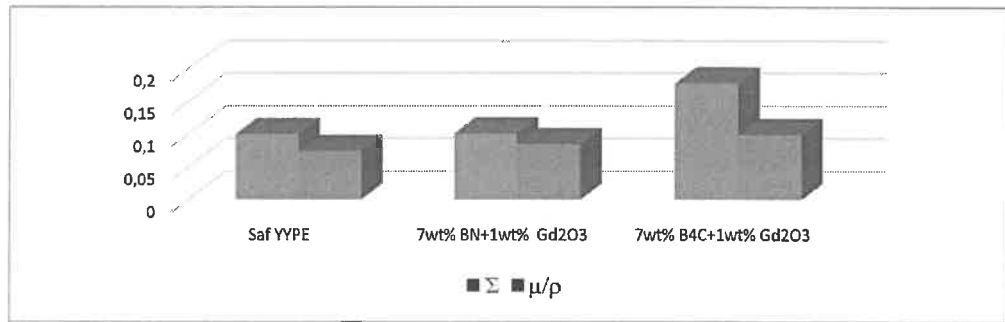
(b)

Şekil 5.11. a) (%3 BN/B₄C+%1Gd₂O₃)/YYPE; b) (%3 BN/B₄C+%3 Gd₂O₃)/YYPE örneklerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

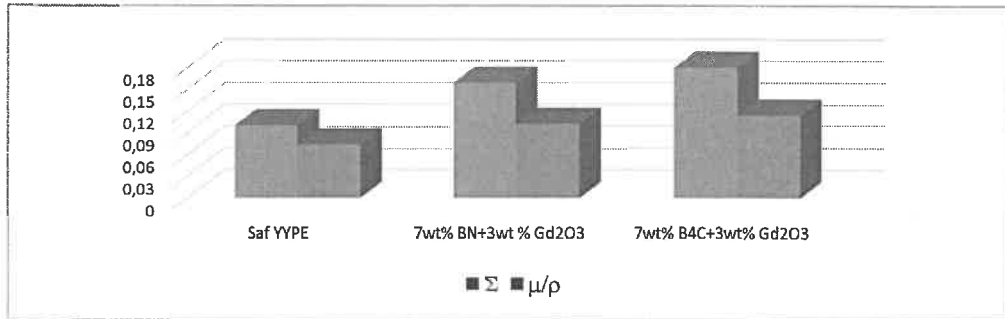
Şekil 5.12'de (%7 BN/B₄C+%1-3 Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları gösterilmiştir. %7 katkılı örneklerde hem nötron hem de gama soğurmada B₄C'lü katkı kompozitlerin daha etkin olduğu, B₄C katkısı makroskopik tesir kesitinde saf polietilene göre %140 (%3 Gd₂O₃'li örnek), %7 BN katkılı örneğe göre ise yaklaşık olarak %50 civarında artışa neden olmuştur. Bununla birlikte, Gd₂O₃ miktarının artmasıyla da örneklerin kütle soğurma

katsayılarının yükseldiği görülmüş, örneğin BN ve B₄C katkılı örneklerde, Gd₂O₃ miktarının %1'den %3'e yükseltilmesi kütle soğurma katsayısını, sırasıyla, %12 ile %22, saf polietilene göre ise %38 ile %52 yükseltmiştir.

Şekil 5.13'de ise (%11 BN/B₄C+%1-%3 Gd₂O₃)/YYPE nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları gösterilmiştir. %11 katkılı BN ve B₄C katkısı (%3 Gd₂O₃), saf polietilene göre makroskopik tesir kesitini yaklaşık olarak %191 ile %280 arasında ve kütle soğurma katsayısının ise %30-55 arasında yükselmesine neden olmuştur.



(a)



(b)

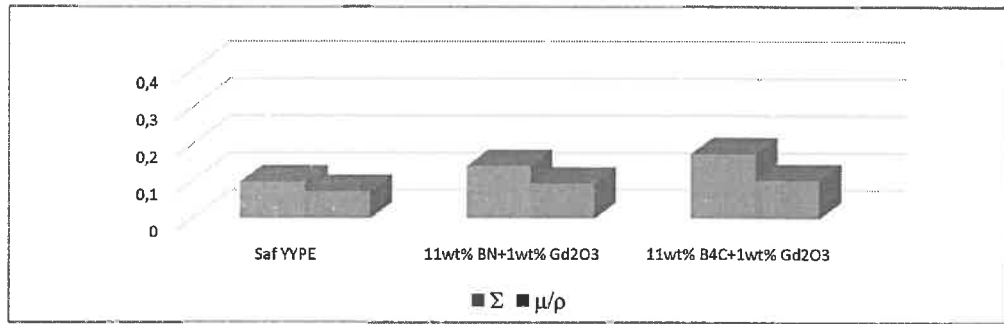
Şekil 5.12. a) (%7 BN/B₄C+%1 Gd₂O₃)/YYPE; b) (%7 BN/B₄C+%3 Gd₂O₃)/YYPE örneklerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

Ana matris olarak yüksek yoğunluklu polietilen kullanılarak üretilen bu gruptaki nano kompozitlerde, genel olarak katkılanan nano parçacık miktarlarına bağlı olarak daha yüksek değerlerde makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları elde edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek miktarlarda katkılanan nano parçacıklar beklenildiği gibi yüksek sonuçlar vermemektedir. Bu durum B₄C ve Gd₂O₃ katkılanmasında açıkça görülmektedir.

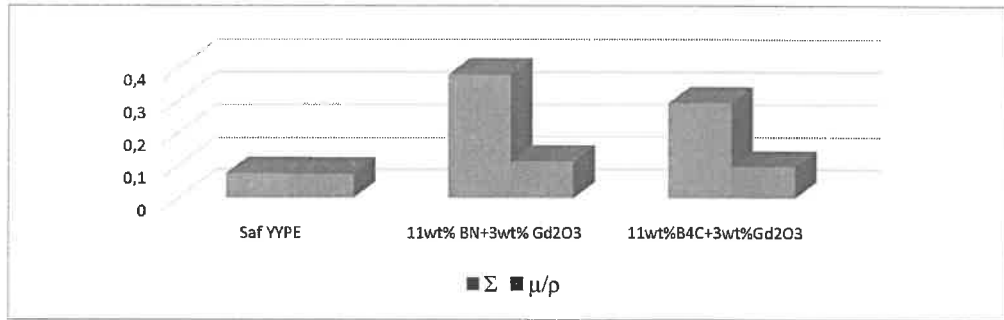
(%11 B₄C+ %3 Gd₂O₃)/YYPE kompozit hem nötron hem de gama soğurmada BN'li örneğe göre soğurma kabiliyetinin zayıfladığı görülmektedir (Şekil 5.13). Ancak, (%11 BN/B₄C+ %1 Gd₂O₃)/YYPE örneklerde böyle bir durum göze çarpmamakla birlikte, B₄C'li örneklerin nötron ve gama soğurma katsayılarından, sırasıyla, %23 ve

%10 daha yüksektir. Benzer bir durum noktasal gama kaynakları ile yapılan gama radyasyonu soğurma deneylerinde de elde edilmiştir. Buna göre, yüksek miktarda B_4C ve Gd_2O_3 'in birlikte bir yapı içerisinde (polimer yapıda, çünkü başka bir matriste, örn. metal, benzer sonuç vermeyebilir) kullanılması radyasyonun soğurulması açısından kötü sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak nötron zırhlamada en iyi ve en kötü toplam makroskobik tesir kesiti değerleri %11 BN+%3 Gd_2O_3 ($\Sigma=0,3804 \text{ cm}^{-1}$) ve %7 B_4C +%1 Gd_2O_3 ($\Sigma=0,1011 \text{ cm}^{-1}$) kompozitlerde elde edilmiştir. Gama soğurmada ise genel olarak Gd_2O_3 katkı oranının yüksek olduğu kompozitlerin kütle soğurma katsayıları, beklenildiği gibi, yüksek bulunmuştur. Örneğin, en iyi ve en kötü kütle soğurma katsayısı değerleri sırasıyla, %3 B_4C +%3 Gd_2O_3 ($\mu/\rho=0,1144 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$) ve %7 BN+%1 Gd_2O_3 ($\mu/\rho=0,0843 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$) örneklerde elde edilmiştir. Bununla birlikte, diğer nano parçacıkların miktar olarak yükselmesi, gama soğurma özelliklerinde yükselişe neden olmaktadır. Örnek olarak, %1 Gd_2O_3 katkılı örneklerin gama soğurma değerlerinin BN ve B_4C miktarına bağlı olarak hemen hemen hiç değişmediği, %3 Gd_2O_3 katkılı örneklerde ise BN katkı yüzdesinin %3'den %11'e yükselmesi gama soğurma katsayısında yaklaşık olarak %10 gibi bir artışa neden olmuştur.



(a)

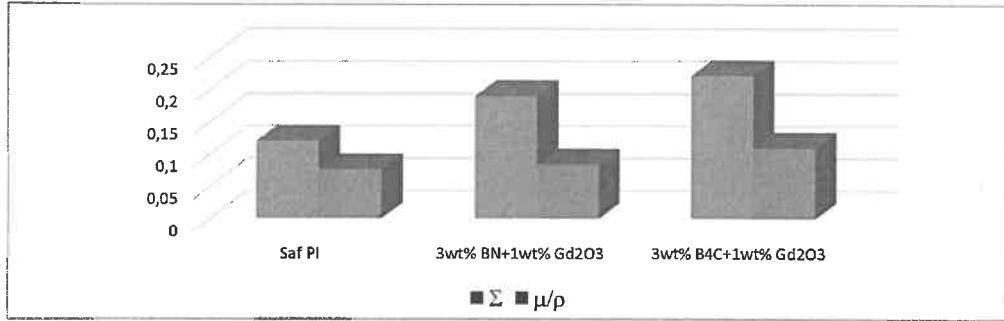


(b)

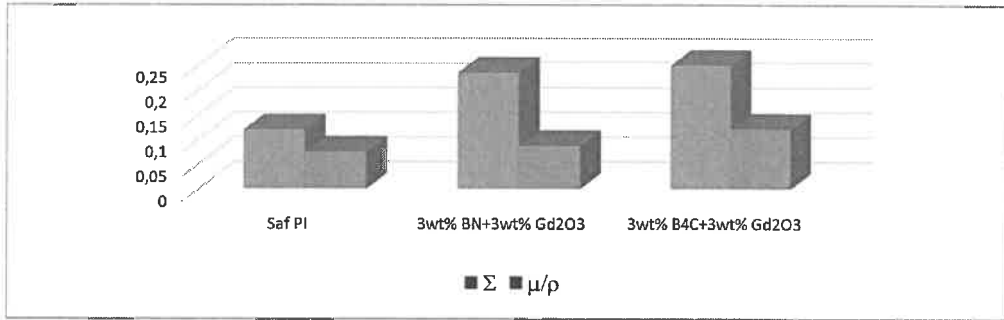
Şekil 5.13. a) (%11 BN/ B_4C +%1 Gd_2O_3)/YYPE; **b)** (%11 BN/ B_4C +%3 Gd_2O_3)/YYPE nano kompozitlerin makroskobik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

5.2.2. (BN/B₄C+Gd₂O₃)/PI kompozitlerin nötron ve gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması

Şekil 5.14' de (%3 BN/B₄C+ %1-3 Gd₂O₃)/PI örneklerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları gösterilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilenli kompozitlerde olduğu gibi, nötron soğurmada poliimid matrisli örneklerde B₄C etkisinin daha da büyük (%11 katkı oranı hariç) olduğu Şekil 5.14'de açıkça görülmektedir. Saf poliimidin makroskopik etki tesir kesitinin yüksek olmasından dolayı, matris yapıya katkılanan nano yapıların toplam makroskopik etki tesir kesitine katkısı polietilene göre daha düşük kalmıştır. Örneğin; %3 BN nano parçacık katkısı (%1-%3 Gd₂O₃) katkılı poliimidin makroskopik tesir kesitini saf poliimide göre %58-96 oranında, kütle soğurma katsayısını da ortalama %25 yükseltirken, %3 B₄C katkılanması ile bu değerleri, sırasıyla, %84-135 ve %58-73 oranında yükseltmiştir. Sonuç olarak, poliimide düşük yüzdelerde nano parçacık ilavelerinde, B₄C katkısının daha başarılı olduğu söylenebilir.



(a)

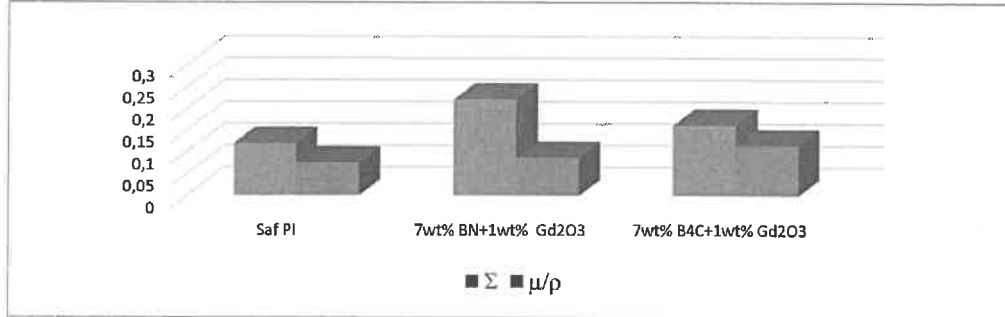


(b)

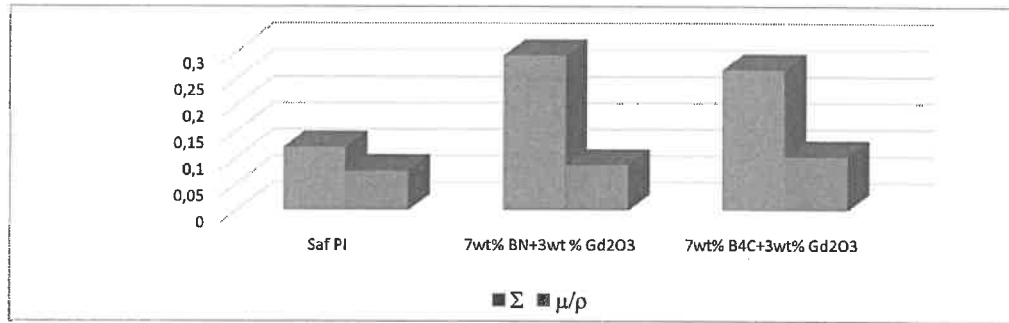
Şekil 5.14. a) (%3 BN/B₄C+%1 Gd₂O₃)/PI; **b)** (%3 BN/B₄C+%3 Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

%7 BN ve B₄C katkılanan poliimid matrisli kompozitlerin nötron ve gama soğurma karakteristikleri Şekil 5.15'de gösterilmiştir. %7 katkılı örneklerde BN ve B₄C'ün karşılaştırılmasında, gerek nötron gerekse gama soğurmada BN'ün daha etkin olduğu Şekil 5.15'de görülmektedir. %7 B₄C katkılı bu örnekler, %3 B₄C katkı oranlı örnekler ile kıyaslandığında, katkı yüzdesi arttıkça nötron soğurma özelliği kötüleşmektedir. Örneğin, matris içerisinde B₄C oranının %3'ten %7'e çıkarılması (%1 Gd₂O₃'li) durumunda, toplam makroskopik etki tesir kesiti yaklaşık olarak %37

oranında azaltmıştır. Bununla birlikte, %7 BN ve %7 B₄C katkılı örneklerde nötron soğurmada Gd₂O₃ nano parçacıkların etkisi açıkça görülmektedir. Saf poliimide %7 BN ve %3 Gd₂O₃ eklenmesi, saf poliimidin toplam makroskobik tesir kesitini yaklaşık olarak %96 yükseltmiştir.



(a)

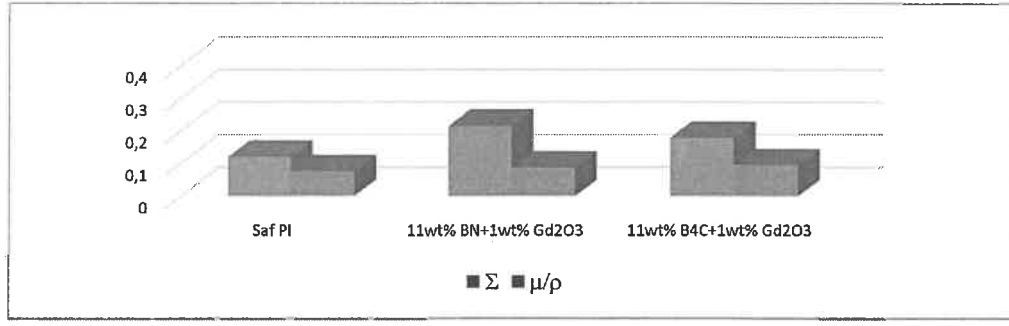


(b)

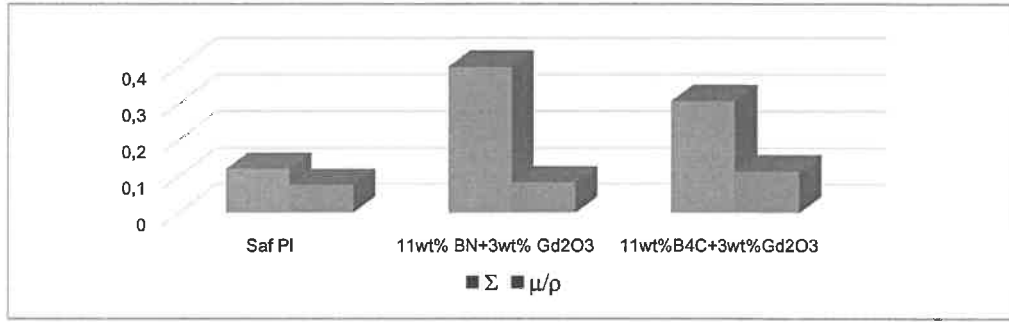
Şekil 5.15. a) (%7 BN/B₄C+%1 Gd₂O₃)/PI; **b)** (%7 BN/B₄C+%3 Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin makroskobik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

Son olarak, Şekil 5.16'da (%11 BN/B₄C+ %1-3 Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin toplam makroskobik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları verilmektedir. Bu gruptaki karşılaştırmada, %7 BN ve B₄C katkılı örneklerde görüldüğü gibi, yüksek katkı oranlarında BN nano parçacıkların nötron soğurma kabiliyetleri B₄C'den daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Nötron soğurmada %11 BN katkısının %11 B₄C'den çok daha iyi olduğu Şekil 5.16'da açıkça görülmektedir. %11 BN+%1 Gd₂O₃ içerikli örneğin makroskobik tesir kesiti, B₄C'lü örneğin makroskobik tesir kesitinden %20 yüksek, %11 BN+%3 Gd₂O₃ kompozitin makroskobik tesir kesiti ise B₄C içerikli örnekten yaklaşık olarak %32 daha yüksek makroskobik tesir kesitine sahip olduğu bulunmuştur. %11 BN+%3 Gd₂O₃ kompozit saf poliimidin makroskobik tesir kesitinden yaklaşık olarak %238 daha yüksek bir değere sahiptir. Saf poliimid matrise düşük miktarlarda B₄C katkısı ile elde edilen kompozitlerin yüksek makroskobik tesir kesitlerine sahip olduğu, yüksek katkı miktarlarında ise BN içerikli kompozitlerin makroskobik tesir kesitlerinin yüksek olduğu görülmüştür.



(a)

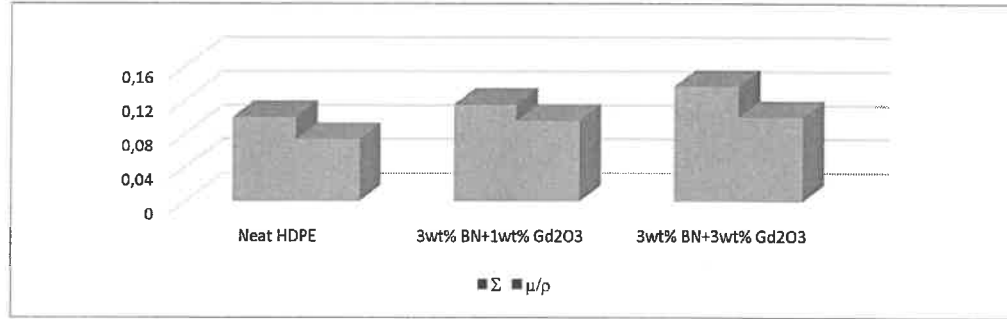


(b)

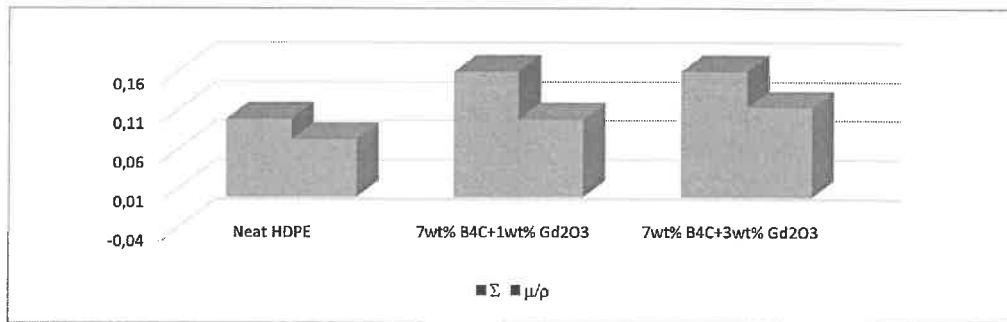
Şekil 5.16. a) (%11 BN/B₄C+%1 Gd₂O₃)/PI; **b)** (%11 BN/B₄C+%3 Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin makroskopik etki tesir kesitleri ve kütle soğurma katsayıları

Bu çalışmada ana matrislere Gd₂O₃ nano yapının katkılanmasının temel nedeni; nötron tutucu olarak kullanılabilecek polimer tabanlı soğurucuların gama radyasyon soğurma özelliklerinin (kütle soğurma katsayısı) belirli oranda (ani gama probleminden dolayı) yükseltilmesini sağlamaktır. Gerek nötron soğurma deneylerinde ölçülen gama doz hızlarından (yukarıdaki grafikler) gerekse laboratuvarında noktasal gama kaynaklarıyla yapılan gama soğurma deneylerinde (bir sonraki bölümde verilen grafikler) Gd₂O₃ nano parçacıkları kullanılarak üretilen bu görevini yerine getirdiği açıkça görülmüştür. Gd₂O₃'in bu görevine ek olarak nötron soğurmada etkinliğinin ne olduğunun belirlenmesi, iki farklı radyasyona karşı soğurma özelliği gösteren bu yapı için önemlidir. Bunun için, üretilen nano kompozitlerin toplam makroskopik etki tesir kesitlerinin katkılanan Gd₂O₃ miktarına bağlı olarak nasıl değiştiği irdelenmiştir. Gd₂O₃ nano parçacıklar kullanılarak üretilen polietilen ve poliimid matrisli nano kompozitlerin nötron soğurma kabiliyetlerini yükselttiği belirlenmiştir. Bu durum her iki ana matris (YYPE ve PI) için sadece iki farklı katkı (BN ve B₄C) ve katkı oranları için gösterilmiştir. Çünkü üretilen örneklerin genelinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

(%3 BN+%1-%3 Gd₂O₃)/YYPE ve (%7 B₄C +%1-%3 Gd₂O₃)/YYPE kompozitlerin toplam makroskopik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları Şekil 5.17'de gösterilmiştir. % 3 BN katkılı yüksek yoğunluklu polietilenli örneklerde, Gd₂O₃ miktarının %1'den %3'e çıkarılması durumunda, soğurucu materyalin makroskopik etki tesir kesitinde yaklaşık olarak %15 civarında, %7 B₄C katkılı örneklerde ise %35'ler civarında artışa neden olduğu Şekil 5.17'den anlaşılmaktadır.



(a)

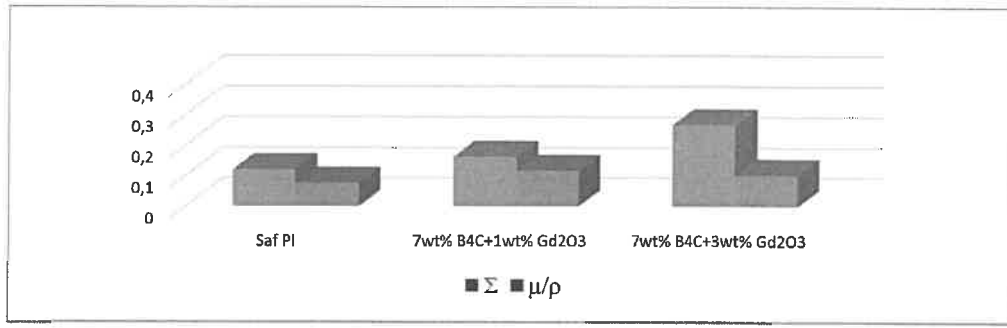


(b)

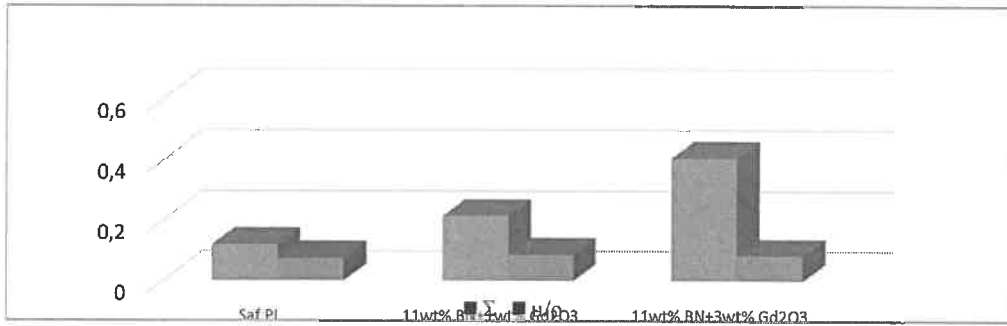
Şekil 5.17. a) %3 BN b) %7 B₄C katkılı yüksek yoğunluklu polietilenli örneklerin Gd₂O₃ oranına göre toplam makroskobik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları

Poliimid matrisli örneklerde ise (%7 B₄C +%1-3 Gd₂O₃)/PI ve (%11 BN+%1-3 Gd₂O₃)/PI kompozitlerin toplam makroskobik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları Şekil 5.18’de gösterilmiştir. %7 B₄C katkılı poliimid örneklerde Gd₂O₃ miktarının %1’den %3’e çıkarılması durumunda soğurucu materyalin makroskobik etki tesir kesiti yaklaşık olarak %66 civarında, %11BN katkılı örnekte ise %88 artışa neden olduğu Şekil 5.18’den anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, Gd₂O₃ katkısı kompozitlerin hem nötron hem de gama soğurma özelliklerini istenilen doğrultuda arttırmıştır. Nötron deneylerinden elde edilen en önemli sonuçlardan biriside; üretilen nano kompozitlere %1 ve %3 oranında Gd₂O₃’in ilave edilmesi, soğurucu materyalin nötron ile etkileşiminde Gd atomlarından kaynaklı ani gamaların oluşmamasıdır. Çünkü nötron soğurma çalışmalarında, yapılan deneylerin videosu kaydedilmiş ve gama doz hızında (μR/h) herhangi bir ani yükselmelere rastlanmamıştır. Bu durum önceden ön görüldüğü için, kompozitlere katılan Gd₂O₃ miktarı çok düşük miktarlarda tutulmuştur. Nötron-madde etkileşiminde ani gamaların meydana gelmemesi, üretilen bu nötron soğurucu nano kompozitlerin bu alanda kullanılabilirliği açısından en önemli parametreler arasındadır.



(a)



(b)

Şekil 5.18. a) %7 B₄C; b) %11 BN katkılı poliimidli örneklerin Gd₂O₃ oranına göre toplam makroskobik etki tesir kesiti ve kütle soğurma katsayıları

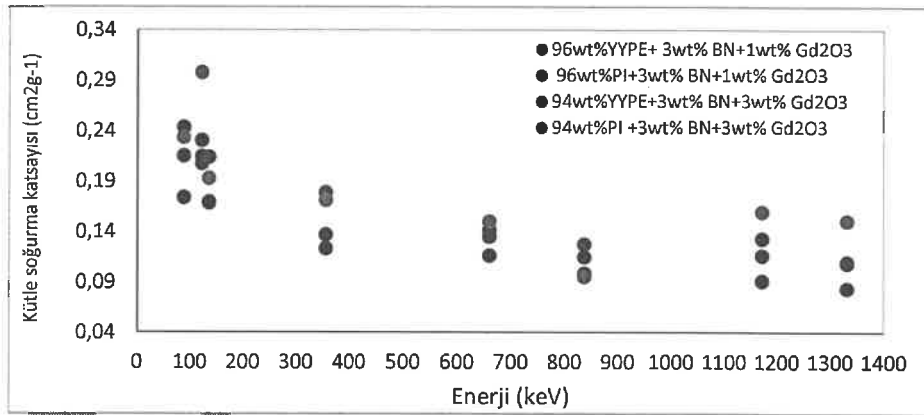
5.2.3. (BN+Gd₂O₃)/YYPE ile (BN+Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin Gama soğurma özelliklerinin karşılaştırılması

Bu bölümde üretilen BN katkılı yüksek yoğunluklu polietilen ile poliimid tabanlı kompozitlerin gama spektroskopi yöntemi ile farklı enerjilerde (88 keV-1332,5 keV aralığında) 6 noktasal gama kaynağı kullanılarak kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması yapılmıştır. Gama ışınlarının madde içerisinde soğurulması yüklü parçacıkların veya nötronun soğurulmasından tamamen farklıdır. Atom içerisinde etkileşme yoğunlukla atomik elektronlarla olur ve gama enerjisinin tamamını veya bir kısmını tek etkileşimde kaybedebilir. Bu nedenle gama radyasyonu zırhlamasında yüksek yoğunluklu ve atom numarası büyük olan maddeler kullanılmaktadır. Üretilen nano kompozitlerin gama soğurma kabiliyetlerinin artırılması için ana matris içerisine Gd₂O₃ nano parçacıklar küçük yüzdelerde (%1 ve %3) katkılanmış ve oluşturulan bu üçlü yapı çok fonksiyonlu radyasyon soğurucuların gama soğurma katsayılarının yükseltilmesi hedeflenmiştir. Katkılanan Gd₂O₃ nano parçacıkların amaçlanan bu doğrultuda işlevsel olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla her bir enerji değerinde elde edilen kütle soğurma katsayılarının katkılanan Gd₂O₃ nano parçacık oranlarına bağlı olarak, kullanılan ana matrisler bazında karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilmiştir. Üçlü yapı olarak üretilen sistem içindeki diğer nano parçacıklar küçük atom numaralı (H, C, N ve O) elementlerden oluştuğundan, gama radyasyonun soğurulmasında en büyük katkı Gd atomlarındanadır.

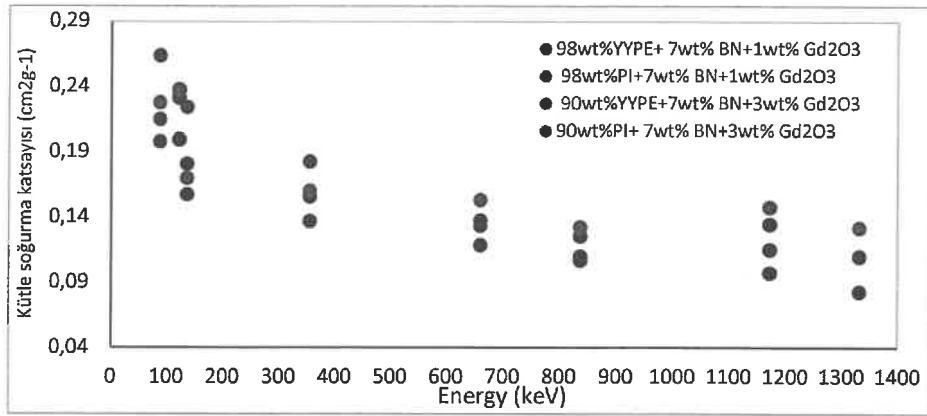
Yukarıdaki bölümlerde, nötron soğurma deneyleri esnasında ölçülen gama dozları kullanılarak hesaplanan kütle soğurma katsayılarının (yüksek enerjileri gamalar için), katkılanan Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak yapılan ilk değerlendirmede, genel olarak yüksek Gd_2O_3 miktarında kütle soğurma katsayılarının büyük olduğu bulunmuştur. Düşük enerjilerde gama spektroskopisi ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi de yapılmış ve ilk olarak %3-%7-%11 BN ve B_4C katkılı örneklerin kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.19'daki gibi verilmiştir.

Şekil 5.19'da, polimer ana matrise ilave edilen Gd_2O_3 'in katkı miktarına bağlı olarak üretilen nano kompozitlerin, bazı enerjide dalgalanmalar olmasına rağmen, genel olarak kütle soğurma katsayılarının yükseldiği görülmüştür. En yüksek enerjide (^{60}Co , $E_\gamma=1332,5$ keV), polietilen matrisli örneklerde en düşük ve en yüksek kütle soğurma katsayısı, sırasıyla, $0,0835 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ ile (%3 BN+%1 Gd_2O_3)/YYPE'de ve $0,1101 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ ile de (%3 BN+%3 Gd_2O_3)/YYPE örneğinde elde edilmiştir. Poliimid matrisli örneklerde ise en düşük ve en yüksek değer, sırasıyla, $0,0995 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ ile (%1 BN+%1 Gd_2O_3)/PI'de ve $0,1506 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ ile (%3 BN+%3 Gd_2O_3)/PI kompozitinde elde edilmiştir. Diğer nano kompozitler ise Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak bu değerler arasında kütle soğurma katsayılarına sahiptirler. En yüksek iki enerji değerinde, her üç oranda da en iyi sonuç %3 Gd_2O_3 katkılı poliimid matrisli kompozitlerde elde edilmiştir. Gama soğurma katsayısında ikinci en iyi sonuç, düşük BN (%3 ve %7) katkılı örneklerin %1 Gd_2O_3 katkılı örneğinde, yüksek BN katkılı (%11) örneklerde ise %3 Gd_2O_3 katkılı yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerde gözlenmiştir.

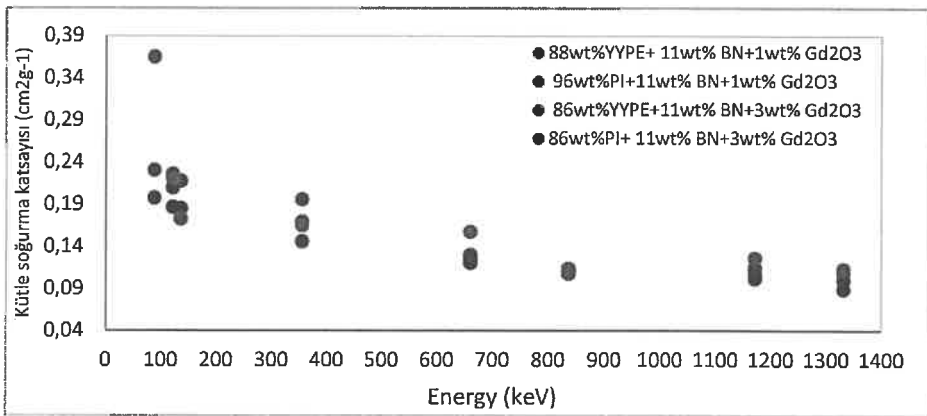
Sonuç olarak, $E_\gamma=1332,5$ keV enerjide elde edilen kütle soğurma katsayılarına dayanarak, gadolinyum oksit saf poliimidin ve yüksek yoğunluklu polietilenin kütle soğurma katsayılarında ($\mu/\rho_{PI}=0,0996 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$ ve $\mu/\rho_{YYPE}=0,0596$) %50 ile %85 arasında bir artışa neden olmuştur.



(a)



(b)

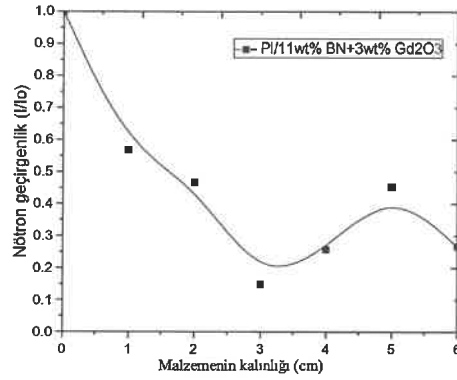


(c)

Şekil 5.19. %3-7-11 BN katkılı polietilen ve poliimid tabalı kompozitlerin Gd_2O_3 miktarına bağlı olarak kütle soğurma katsayıları

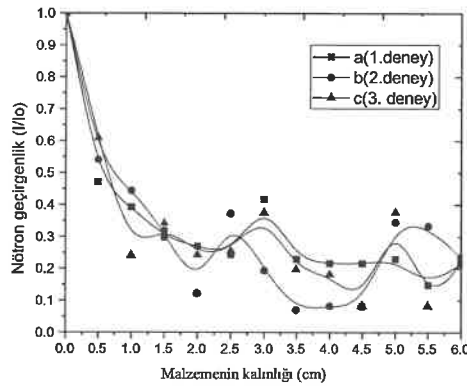
5.2.4. (%11BN+%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitin nötron geçirgenlik eğrilerindeki değişimlerin kalınlığa bağlı olarak tekrar incelenmesi

(%11BN+%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozitin nötron geçirgenlik eğrilerindeki değişimler (0'dan 6 cm'e kadar 1cm aralıklarla artan kalınlıklarda) Bölüm 4.3.3'de gözden geçirilmişti (Şekil 5.20). Tez çalışmasının bu bölümünde ise aynı nano kompozitler için deneyler, ara kalınlıklar için (0.5 cm aralıklarla artan kalınlıklarda 0.5, 1, 1.5...6 cm'e kadar) üç kez tekrarlanarak yeniden yapılmıştır. (%11BN+%3 Gd_2O_3)/PI nano kompozit için tekrarlanan deneyler a, b, c olarak isimlendirildi. Kompozitin ara kalınlıklara göre elde edilen nötron geçirgenlikleri (Şekil 5.21)'de gösterilmiştir. Tam sayılı kalınlıklarda elde edilen değerler (Şekil 5.20) ile kesikli kalınlıklarda elde edilen (Şekil 5.21) değerlerin karşılaştırılması sayesinde ara kalınlıklarda elde edilen nötron soğurma eğrilerindeki değişimler daha net gözlemlenmiştir. Aynı deneylerin üç kez tekrarlanmasıyla deney sistemin güvenilirliği ve meydana gelen değişimlerin/dalgalandırmaların neden kaynaklandığı konusunda bilgi sahibi olunmaya çalışılmıştır.



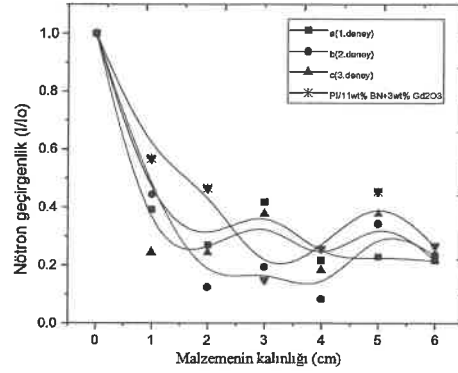
Şekil 5.20. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitlerin nötron geçirgenlik eğrileri

Şekil 5.20'de (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitin soğurma eğrilerine bakıldığında özellikle 3-4 cm'de ortalama %90-95'ler seviyesinde nötronlar soğrulurken, 4-6 cm kalınlıklarda ortalama %70-75'ler civarında nötron soğrulması gerçekleşmiştir. Şekil 5.21'e bakıldığında ise her üç deney için de 0-3 cm aralığında %80 ile %90 oranında nötronların soğrulduğu gözlenmiştir. Özellikle b yani 2. tekrarlanan deneyde 2 cm'de %90 seviyesinde bir soğurma gerçekleşmiştir. Bu deneylerden anlaşıldığı gibi düşük kalınlıklarda nötron soğurma veriminin oldukça iyi seviyelere yükseldiği ve dalgalanmanın az olduğu izlenmiştir. Bunun yanı sıra, nötron soğurma deneyleri ara kalınlık değerlerinde gerçekleştirildiğinden Şekil 5.21'de gösterilen soğurma eğrilerindeki dalgalanma, Şekil 5.20'de 1 cm aralıklarla yapılmış deneyler ile karşılaştırıldığında farklılık göstermektedir.



Şekil 5.21. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitleri için 0.5 cm aralıklarla üç kez tekrarlanan nötron geçirgenlik eğrileri

Yapılan deneyde, ara kalınlık değerlerinin çıkartılmasıyla çizilen yeni grafik göz önüne alındığında Şekil 5.20'da olduğu gibi elde edilen grafikte benzer soğurma eğrileri gözlemlenmiştir (Şekil 5.22). Kalınlık arttıkça nötron soğurma eğrilerinde meydana gelen dalgalanmaların sebebinin nötron-madde etkileşmelerinden kaynaklı fazla termal nötronların açığa çıkması ve bu açığa çıkan termal nötronlarında dedektörün sayımlarına eklenmesinden kaynaklı olduğu düşünülmüştür.



Şekil 5.22. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitleri için tekrarlanan deneylerin soğurma eğrilerinin karşılaştırılması

5.2.5. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompozitin 2.5-3-3.5 cm kalınlıklar için farklı numuneler üzerine yapılan deneysel çalışmalar

(%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompoziti için üretilmiş 1'er cm kalınlıktaki numuneler 1 den 6'ya kadar numaralandırıldı ve d, e, f gibi gruplandırılarak nötron soğurma deneyleri tekrar yapıldı. Örneğin 2.5 cm kalınlık için d(1,2) olarak gruplandırdığımız deney 1 ve 2 numaralı numune ile 0.5 cm kalınlığın eklenmesiyle elde edildi. 2.5, 3, 3.5 cm için deneyler farklı numunelerde tekrarlandığında Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te görüldüğü gibi nötron sayım değerlerinin birbirlerine yakın değerlerde olduğu sadece f olarak isimlendirdiğimiz deneylerde çok büyük olmayan farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda 1 cm kalınlıkta üretilen nano kompozit numunelerin birbirine yakın homojenlikte olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca elde edilen bu sonucun, Bölüm 4.2.1'de malzemenin morfolojik olarak incelenmesi ile elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 5.1. (%11BN+%3Gd₂O₃)/PI nano kompoziti için 2.5 cm kalınlıkta yapılan deneyler

Kalınlık 2.5 cm	Nötron	Net nötron sayımı
BKGR	0.71	
0	1.53	0.82
d(1,2)	1.06	0.35
e(3,4)	1.00	0.29
f(5,6)	0.93	0.22

Çizelge 5.2. (%¹¹BN+%³Gd₂O₃)/PI nano kompoziti için 3 cm kalınlıkta yapılan deneyler

Kalınlık 3 cm	Nötron	Net nötron sayısı
BKGR	0.71	
0	1.60	0.89
d(1, 2, 3)	0.83	0.12
e(3, 4, 6)	0.86	0.15
f(1, 2, 6)	0.81	0.10

Çizelge 5.3. (%¹¹BN+%³Gd₂O₃)/PI nano kompoziti için 3.5 cm kalınlıkta yapılan deneyler

Kalınlık 3.5 cm	Nötron	Net nötron sayısı
BKGR	0.71	
0	1.54	0.83
d(1, 2, 3)	1.02	0.31
e(3, 4, 6)	0.98	0.27
f(1, 2, 6)	0.93	0.22

6. SONUÇLAR

Nükleer uygulamalarda önemli hale gelmiş bor ürünlerinin (BN ve B_4C), Gadolinyum Oksit (Gd_2O_3)'in aynı matris içinde farklı yüzdelerde kullanılmasıyla nano malzemeler elde edilmiştir. Ayrıca tez önerisi aşamasında planlanan nano boyutta malzemelerin üretilmesi, üretilen malzemelerin karakterizasyonlarının yapılması ve istenilen boyutlarda nano kompozit haline gelmesi tezin en önemli sonuçlarından birisidir.

Yüksek yoğunluklu polietilen ve poliimidin mekaniksel test sonuçları karşılaştırıldığında poliimid (PI) ile hazırlanmış kompozitlerin darbe ve çekme testlerinin yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile hazırlanmış kompozitlerin sonuçlarına göre yaklaşık dört kat daha iyi olduğu ve en iyi değerler ise (%3 BN+ %3 Gd_2O_3)/PI içerikli kompozitte elde edilmiştir. Kopmada uzama değerleri kıyaslandığında ise (%7 BN+ %1 Gd_2O_3)/YYPE içerikli örneklerin sonuçlarının saf poliimid matrisli kompozitlere göre iyi olduğu görülmüştür.

Tez çalışmasıyla elde edilen sonuçların katkı sağlayacağı bilim alanları; a) Nano yapıların üretilmesi (BN, B_4C ve Gd_2O_3) ile malzeme bilimine, b) Polimer tabanlı nano kompozitlerin üretilmesiyle kimya veya polimer mühendislik bilimine ve c) Üretilen bu malzemelerin nötron ve gama radyasyonunun zırhlamasında kullanılması, ülkemizde bu alanda katma değeri yüksek çalışmaların yetersiz olduğu uygulamalı nükleer bilimlere önemli katkı sağlayacaktır.

Üretilen nano kompozitlerin, nötron ve gama radyasyonunun ne kadarını soğurduğunu anlamak için yapılan nötron deneyleri sonucunda, gerek nötron soğurmada gerekse gama soğurmada (BN+ Gd_2O_3)/PI yapıların, diğer yapılara göre daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Öyle ki saf poliimide, %11 BN +%3 Gd_2O_3 eklenmesi ile makroscopic tesir kesiti %238, kütle soğurma katsayısını ise %22 civarında arttırmıştır. İkinci en iyi sonuç ise (B_4C + Gd_2O_3)/YYPE gruplarından alınmıştır. Saf yüksek yoğunluklu polietilen ve poliimidin nötron ve gama soğurma kabiliyetleri BN ve Gd_2O_3 nano parçacıklarının ilave edilmesiyle, bazı katkı oranlarında küçük bir yüzde olsa da iyileştirilmiştir. Bu bağlamda, nötron soğurma kapasitesi an az artan (%7 BN+%1 Gd_2O_3)/YYPE örnek olurken, en çok artan (%11 BN+%3 Gd_2O_3)/PI içerikli örnek olmuştur. Bu sonucu, tez çalışması boyunca yapılan deneylerin gözlemlenen verilerinden hesaplanarak elde edilen bulgular desteklemektedir. Özellikle Gd_2O_3 tek bir yapı içerisinde iki önemli işlevi (nötron ve gama soğurma), ikinci gama radyasyonu üretmeksizin yerine getirmiştir.

Çok yüksek enerjilerde nötron (600 MeV) ve proton (120 GeV) zırhlama deneylerinde polietilen matrisli BN ve B_4C katkılı kompozitlerin, standart zırhlama materyali olarak kullanılan alüminyum ile karşılaştırıldığı çalışmada, en iyi sonuç B_4C katkılı polietilenden elde edilmiştir (Harrison 2009). Bu çalışmada da benzer bir sonuç elde edilmiştir. Öyle ki, polietilen tabanlı BN ve B_4C katkılı kompozitlerin toplam nötron etkileşime tesir kesitleri karşılaştırıldığında, genel olarak B_4C katkılı örneklerin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Wang ve arkadaşlarının (2015) yaptığı çalışmada, karbon fiber takviyeli Sm_2O_3 /PI kompozitlerin makroscopic etki tesir kesitlerini teorik olarak farklı nötron

enerjilerinde hesaplamış ve >1000 keV'den büyük nötron enerjilerde $\Sigma=0,12$ cm⁻¹ olarak bulmuştur. Çalışmamızda ise ortalama 4,5 MeV enerjili nötronlara karşı soğurma deneylerinde poliimid matrisli kompozitlerin makroskobik etki tesir kesitleri 0,1691 cm⁻¹ ile 0,4052 cm⁻¹ arasında değişen değerlerde elde edilmiştir. Bununla birlikte, elde ettiğimiz sonuçları literatürden karşılaştıracığımız benzer içerikte çalışmalar olmadığından, elde ettiğimiz sonuçlar literatüre çok büyük katkı yapacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Botelho, M. Z., Kunzel, R., Okuno, E., Levenhagen, R. S., Basegio, T. and Bergmann, C. P. 2011. X-ray Transmission Through Nanostructured and Microstructured CuO Materials. *Applied Radiation and Isotopes*, 69: 527-530.
- Calzada, E., Grünauer, F., Schillinger, B. and Türck, H. 2011. Reusable Shielding Material for Neutron- and Gamma-Radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 661: 77-80.
- Celli, M., Grazzi, F. and Zoppi M.. 2006. A new ceramic material for shielding pulsed neutron scattering instruments, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 565: 861-863.
- Chimi, Y., Iwase, A., Ishikawa, N., Kobiyama, M., Inami, T. and Okuda, S. 2001. Accumulation and Recovery of Defect in İon-İrradiated Nanocrystalline, *J. Nucl. Mater*, 297:355-357.
- Chung, D.D.L. 2001. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials. *Carbon*, 39: 279-285.
- Cucinotta, F. A., Kim, Y. M. and Ren, L. 2006. Evaluating Shielding Effectiveness for Reducing Space Radiation Cancer Risk. *Radiation Measurements*, 41: 1173-1185.
- El-Sayed, A., Ali, M. A. M. and Ismail, M. R. 2001. Natural fibre high-density polyethylene and lead oxide composites for radiation shielding. *Radiat. Phys. Chem.*, 66: 185-195.
- Erdem, M., Baykara, O., Doğru, M. and Kuluöztürk, F. 2010. A novel shielding material prepared from solid waste containing lead for gamma ray. *Radiat. Phys.Chem.*, 79: 917-922.
- Eskizeybek, V., Sarı, F., Gulce, H., Gulce, A. and Avcı A. 2012. Preparation of the new polyaniline/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for degradation of methylene blue and malachite green dyes under UV and natural sun lights irradiations, *Applied Catalysis B: Environmental*:119- 120, 197- 206.
- Fu, S.Y., Feng, X.Q., Lauke, B. and Mai, Y.W. 2008. Effects of particle size, particle/matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties of particulate-polymer composites. *Compozite Part B: Engineering*: 39, 933-961.
- Gaier, J.R. 2008. Effect of Intercalation in Graphite Epoxy Composites on the Shielding of High Energy Radiation. *Journal of Materials Research*: 13, 2297-2301.
- Geçgel, O. 2009. Hamile Ratlarda Oksidatif Strese Neden Olan Radyasyona Karşı Kolemanitli Betonun Koruyucu Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Gordus, A.A. 1967. Quantitative Non-destructive Neutron Activation Analysis of Silver in Coins. *Archaeometry*:10(1), pp78-86.
- Gu, F.X., Karnik, R., Wang, A. and Ngssenbaum, L.E. 2007. Targeted nanoparticles for cancer therapy. *NanoToday*: 2(3), 14-21.

- Gwaily, S.E., Badawy, M.M., Hassan, H.H. and Madani, M. 2002. Natural Rubber Composites as Thermal Neutron Radiation Shields I. B4C/NR Composites. *Polym. Test.* :21, 129.
- Harrison, C., Weaver, S., Bertelsen, C., Burgett, E., Nolan, H. and Grulke, E. 2008. Polyethylene/Boron Nitride Composites for Space Radiation Shielding. *Journal of Applied Polymer Science*: 109, 2529-2538.
- Harrison, C., Burgett E., Hertel, N. and Grulke, E. 2009. Polyethylene/Boron Composites for Radiation Shielding Applications. AIP Conference Proceedings: 969, 484; <https://doi.org/10.1063/1.2845006>
- Hierold, C. and Helbling. T. 2007. Nano electromechanical sensors based on carbonnanotubes sensors and actuators. *A. Physical*: 136, 51-61.
- Höhne, G. W. H., Hemminger, W. F. and Flammersheim, H. J. 2003. Differential Scanning Calorimetry, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin.
- Kaloshkin S, D., Tcherdyntsev V.V., Gorshenkov M.V., Gulbin V. N. and Kuznetsov S.A. 2012. Radiation- Protective Polymer-Matrix Nanostructured Composites. *Journal of Alloys and Compounds*:536, 522-536.
- Karagöz, S. 2012. Poli(laktik asit)/modifiye termoplastik nişasta karışımları. Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 301647.
- Khan, S.A., Gambhir, S. and Ahmad, A. 2014. Extracellular biosynthesis of gadolinium oxide (Gd₂O₃) nanoparticles, their biodistribution and bioconjugation with the chemically modified anticancer drug taxol, *Beilstein J. Nanotechnology*:5, 249-257.
- Kim, J., Lee, B.C., Uhm, Y.R., Miller, W.H. 2014. Enhancement of thermal neutron attenuation of nano-B4C, -BN dispersed neutron shielding polymer nanocomposites. *J. Nucl. Mater*: 453, 48–53.
- Knoll, G.F. 2002. *Radiation Detection and Measurement*, University of Michigan.
- Kornmann, X. 2001. "Polimer Layered Silcate Nanocomposites", EMP, Dübendorf, Switzerland, 44-56.
- Kodal, M. 2014. Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit) Temelli Nanokompozitlerinin Fiziksel Özellikleri Ve Kristalizasyon Davranışının İncelenmesi, Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 136 s.
- Krane, K.S. 2011. Nükleer Fizik 1. Cilt. Çeviri Editörü: Prof. Dr. Başar Şarer. Palme Yayıncılık, Ankara, 405 s.
- Lilley, J, S. 2001. Nuclear Physics, John Wiley&Sons Ltd., England.
- Martin, J.E. 2013. Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği, Çeviri Editörleri: Prof.Dr. Güneş Tanır, Doç.Dr. Mustafa Hicabi Bölükdemir, Yrd. Doç. Dr. Kemak Koç, Palme Yayıncılık, Ankara,822s.
- Mortensen, M.W., Sorensen P.G., Bjorkdahl, O., Jensen, M.R., Gundersen, H.J.G. and Bjornholm, T. 2006. Preparation and characterization of boron carbide nanoparticles for use as a novel agent in T cell-guided boron neuron capture therapy. *Applied Radiation Isotopes*: 64, 315–324.

- Nambiar, S. and Yeow, J.T.W. 2012. Polymer-Composite Materials for Radiation Protection, *ACS Applie Materials & Interfaces*: 4, 5717-5726.
- Nasrabadi, M.N., Baghban, G. 2013. Neutron shielding design for ^{241}Am -Be neutron source considering different sites to achieve maximum thermal and fast neutron flux using MCNPX code, *Annals of Nuclear Energy*: 59, 47-52.
- Nita, N., Schaeublin, R., Victoria, M. and Valiev, R. Z. 2005. *Philos. Mag.* :85, 723-735.
- Najafi, E. and Shin, K. 2005. Radiation Resistant Polymer-Carbon Nanotube Nanocomposite Thin Films, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*: 257-258, 333-337.
- Nuclear -Chicago Corp. 1960. Analytical Chemistry, 32 (10), pp107A.
- Okuno, K. 2005. Neutron shielding material based on colemanite and epoxy resin, *Radiat. Prot. Dosim*: 115, 258.
- Pande, S., Singh, B. P., Mathur, R. B., Dhami, T. L., Saini, P. and Dhawan, S. K. 2009. Improved Electromagnetic Interference Shielding Properties of MWCNT-PMMA Composites Using Layered Structures, *Nano Express*, 4,327-334.
- Sakurai, Y., Sasaki, A. and Kobayashi, T.. 2004. Development of neutron shielding material using metathesis-polymer matrix, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*: 21,455-461.
- Samaras, M., Derlet, P. M., Van Swygenhoven, H. and Victoria, M. 2003. Radiation damage near grain boundaries. *Philos. Mag.* : 83, 3599-3607.
- Schimmerling, W., Cucinotta, F. A. and Wilson, J. W. 2003. Radiation Risk and Human Space Exploration, *Advance in Space Research*: 31, 27-34.
- Selvalakshmi, T., Sellaiyan, S., Uedonob A. And Bose A.C. 2014. Investigation of defect related photoluminescence property of multicolour emitting $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Dy}^{3+}$ phosphor, *RSC Advances*: 65, 34257-24266.
- Seo, K. S., Fornes, R. E., Gilbert, R. D. and Memory, J. D. 1988. Effects of Ionizing Radiation on Epoxy, Graphite Fiber, and Epoxy/Graphite Fiber Composites. Part II: RadicalT and Radical Decay Behavior, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*:226, 533-544.
- Schimmerling, W., Cucinotta, F. A. and Wilson, J. W.. 2003. Radiation Risk and Human Space Exploration. *Advance in Space Research*: 31,27-34.
- Shultis, J, K. and Faw, R.E. 2005. Radiation Shielding Technology, *Health Physics Society*: 88, 297-322.
- Stewart, D.Y., Harrison, P.F., Morgan, B. and Ramachers, Y., 2007. Radiation shielding for underground low-background experiments. *Nucl. Instrum. Meth. A*: 571, 651-662.
- Subramanian, C., Suri, A.K. and Murthy, T.S.R.Ch. 2010. Development of Boron-based materials for nuclear application, *Barc Newsletter*, 313.

- Şahin L. 2013. Parçacıklar ve Radyasyonun madde ile etkileşmesi. <thm.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/yazokulu4/dersnotlari/Latife_sahin.doc>Alındığı tarih, 28.03.2013.
- Tiwari, V. K., Shripathi, T., Lalla, N. P. and Maiti, P. 2012. Nanoparticle Induced Piezoelectric, Super Toughened, Radiation Resistant, Multi-Functional Nanohybrids, *Nanoscale*, 4, 167–175.
- Tsoufanidis, N. 1995. Measurement and Detection of Radiation. Second Edition. Taylor & Francis, Washington, 614 p.
- Wang P., Tang X., Chai H. and Chen D.. 2015. Design, fabrication, and properties of a continuous carbon-fiberreinforced Sm_2O_3 /polyimide gamma ray/neutron shielding material. *Fusion Engineering and Design*: 101, 218-225.
- Xu, C., Tung, G.A. and Sun S.. 2008. Size and Concentration Effect of Gold Nanoparticles on X-ray Attenuation As Measured on Computed Tomography. *Chemistry of Materials*: 20, 4167-4169.
- Yiğit, Z. 1996. Endüstriyel Atık Malzemesi Olan Kâğıt ile Bor Elementi Kullanılarak Nötron Zırhlamasında Etkili bir Zırh Geliştirilmesi. Yüksek lisans tezi, İTÜ, İstanbul.
- Yue, K., Luo, W., Dong, X., Wang, C., Wu, G., Jiang, M. and Zha, Y. 2009. A New Lead-Free Radiation Shielding Material for Radiotherapy, *Radiation Protection Dosimetry*: 4, 256-260.
- Zeitlin, C., Guetersloh, S.B., Heilbronn, L.H. and Miller, J., 2006. Measurements of materials shielding properties with 1 GeV/nuc ^{56}Fe . *Nucl. Instrum. Meth. B*: 252, 308–318.
- Zhang, W., Zeng, J., Liu, L. and Fang, Y. 2004. A Novel Property of Styrene–Butadiene–Styrene/Clay Nanocomposites: Radiation Resistance. *Journal Materials Chemistry*: 14, 209–213.
- Zhi, C. Y., Bando, Y., Wang, L.w., Tang, C.C., Kuwahara, H. and Golberg, D. 2008. Mechanical and Thermal Properties of Polymethyl Methacrylate-BN Nanotube Composites. *Journal of Nanomaterials*: doi:10.1155/2008/642036.

ÖZGEÇMİŞ

Şerife Gözde İRİM
gozde.irim@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi
2009-2012	Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Kayseri
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi
2004-2008	Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Sivas

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1-Irim, Ş.G., AlchekhWis, A., Keskin, M.A., Baykara, O., Ozkoc, G., Avcı, A., Doğru, M., Karakoç, M. 2018. Physical, mechanical and neutron shielding properties of h-BN/Gd₂O₃/HDPE ternary nanocomposites, *Radiation Physics and Chemistry*, 144: 1013-1020.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Aydemir, Ş.G. , Acer, E., Erol, H. , Gündüz, M. 2011. Al-Zn Alaşımında Isıl İletkenliğin Bileşim ve Sıcaklık ile Değişimi. Türk Fizik Derneği 28. Uluslararası Fizik Kongresi, ss. 201-201, 6-9 Eylül, Muğla, Türkiye.

2- Gündüz, M., Aydemir, Ş.G., Acer, E., Erol, H. 2011. Measurement Solid-Liquid Surface Energies From Grain Boundary Grooves Profiles, John Hunt International Symposium, ss. 395-406, 12-14 Aralık, İngiltere.

3- Gündüz, M., Erol, H., Acer, E., Aydemir, Ş.G., 2014. Solid-Liquid Surface Energy of Al-Zn Alloys, 4 Th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition, ss. 551-551, 24-27 Nisan, Muğla, Türkiye.

- 4- Baykara, O., Alchekhwis, A., İrim, Ş.G., Kuluöztürk, F., Ozkoc, G., Avcı, A., Doğru, M. 2015. Mechanical, Thermal And γ -Ray Shielding Properties Of Hdpe/Bn/Gd₂O₃ ternary Nano composites :“Effects Of Particle Concentration”, 4 Th Polymeric Composites Symposium, ss. 201-205, 7-9 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- 5- Baykara, O., Alchekhwis, A., İrim, Ş.G., Kuluöztürk, F., Ozkoc, G., Avcı, A. and Doğru, M. 2015. Self-Attenuation Of Gamma Rays By Hdpe/Hbn Composites: “Estimation Of Particle Size Effect”, 4 Th Polymeric Composites Symposium, ss. 311-316, 7-9 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- 6- Keskin, M.A., Kaybal, H.B., Ulus, H., Şerife, G.İ., Baykara, O., Avcı, A. and Karakoç, M.. 2017. Production of Boron Carbide Nanoparticles by Arc-Discharge in Deionized Water., VII. International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection, ss. 248-248, 12-13 October, Zreanjanin, Serbia.
- 7- İrim, G., Elchekwis, A., Baykara, O. and Özkoç, G.. 2017. B4C/GD2O3/YYPE Nanokompozitlerin Mekanik, Termal, Nötron Radyasyonu Soğurma Özellikleri, 6. Fiziksel Kimya Kongresi, ss. 134-134, 15-18 Mayıs, Zonguldak, Türkiye.