

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**RADYASYONDAN KORUNMAK İÇİN TUNGSTEN
OKSİT-POLİMER KOMPOZİTLERİNİN
HAZIRLANMASI GAMA IŞINLARINI TUTMA VE
TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Berna KÖRPİNAR

Danışman: Doç. Dr. Hakan AKAT

Kimya Anabilim Dalı
Fizikokimya Yüksek Lisans Programı

İzmir
2019

BERNA KÖRPINAR tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Radyasyondan Korunmak için Tungsten oksit-Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması Gama ışınlarını tutma ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 20.12.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Hakan AKAT
Raportör Üye : Prof. Dr. Uğur AVCIBAŞI
Üye : Prof. Dr. Mehmet BALCAN

İmza

.....
.....
.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “**Radyasyondan Korunmak İçin Tungsten Oksit-Polimer Kompozitlerinin Hazırlanması Gama Işınlarını Tutma Ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

20 / 12 / 2019

İmzası

Berna KÖRPİNAR

ÖZET**RADYASYONDAN KORUNMAK İÇİN TUNGSTEN OKSİT-POLİMER
KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI GAMA IŞINLARINI TUTMA
VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

KÖRPİNAR, Berna

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Assoc. Prof. Dr. Hakan AKAT

20 Aralık 2019, 76 sayfa

Bu çalışmada, radikal polimerizasyon metodu ile poliHEMA, poli(HEMA-*ko*-S) ve polistiren sentezlendi. Bu amaç için, HEMA, Stiren, HEMA ve stiren, istenilen polimerleri vermek üzere sırasıyla, 0,5, 2,5 ve 2 saat boyunca 70 °C' de AIBN ile reaksiyona sokuldu. Sentezlenen PHEMA, Poli(HEMA-*ko*-S) ve PS FTIR, GPC, XRD, SEM, TG ve ¹H NMR spektroskopisi ile karakterize edildi. %10 ila %50 tungsten(VI) oksit ve bu polimerler arasında 80-100 °C' de kompozitler oluşturuldu. Kompozitlerin gama ışını lineer soğurma katsayıları(μ) NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanarak hesaplandı. Kompozitlerin teorik soğurma katsayıları, XCOM platformu tarafından temel analizleri göz önüne alınarak varsayımsal olarak hesaplandı. SEM analizinin sonuçlarına göre, tungsten(VI) oksit partikülleri ve PHEMA, Poli (HEMA-*ko*-S), PS arasında homojen dağılım gözlemlendi. Geçirgenlik parametreleri yarı geçirgenlik (HVL), 1/10 geçirgenlik (TVL) ve ortalama serbest yol (MFP) hesaplandı. İncelenen kompozitler arasında en iyi koruyucu malzemenin, daha düşük soğurucu kalınlığına ve daha yüksek bir doğrusal zayıflama katsayısına sahip PHEMA+50% WO₃. 2H₂O kompozitinin olduğu gözlemlendi. Ayrıca, Işınlanmamış ve ışınlanmış polimer kompozitlerin ısıl bozulması da incelendi.

Anahtar kelimeler: PHEMA, Poli(HEMA-*ko*-S), PS, Tungsten(VI)oksit, kompozitler, gama ışını lineer soğurma katsayıları (μ), Kütle soğurma katsayısı, NaI(Tl), Geçirgenlik parametreleri, Termal bozunma.

ABSTRACT**PREPARATION AND INVESTIGATION OF TUNGSTEN OXIDE-
POLYMER COMPOSITES FOR GAMMA RADIATION SHIELDING
AND THERMAL PROPERTIES**

KÖRPINAR, Berna

Master Thesis in Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan AKAT

December, 20, 2019, 76 pages

In the current study, it was shown that polyHEMA, poly(HEMA-*co*-S) and PolyStyrene composites including tungsten (VI) oxide were formed in groups (10% to 50%) by radical polymerization. For this goal, HEMA, Styrene, Hema and styrene were reacted with AIBN at 70 °C for 0,5 h, 2,5 h, and 2 hours at different solvent to give the consistent polymers respectively. Synthesized polyHEMA, poly(HEMA-*co*-S) and PolyStyrene were defined by FTIR, GPC, XRD, TG and ¹H NMR spectroscopy. These polymers and tungsten (VI)oxide were formed composites between 80-100 °C. The gamma ray attenuation coefficient of composites were calculated using the NaI(Tl) scintillation detector. The theoretical absorption coefficients of the composites were also calculated hypothetically by the XCOM platform, taking into account fundamental analysis of composites. Consistent with the consequences of SEM analysis, were observed homogeneous distribution among tungsten (VI) oxide particles and PHEMA, Poli(HEMA-*ko*-S), PS. Shielding parameters as the tenth value thickness, the half-value thickness, and the mean free path were calculated. Among the composites studied, the best protective material was observed PHEMA +50% WO₃ with lower absorption thicknesses and a higher linear attenuation coefficient. Also, thermal degradation of unirradiated and irradiated polymer composites had been examined.

Keywords: polyHEMA, PHEMA-*ko*-PS, PS, tungsten(VI) oxide, composites, gamma-ray linear attenuation coefficient, Mass Attenuation Coefficient, NaI(Tl), transmission parameters, thermal degradation

ÖNSÖZ

Bu çalışmada radyasyondan korunmak için tungsten oksit bazlı polimer kompozitlerin hazırlanması ve termal özelliklerinin incelenmesi istenmiştir.

Bu çalışmanın planlanmasında ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, değerli bilgilerini benimle paylaşan, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemi asla unutamayacağım saygıdeğer danışmanıma; Assoc. Prof. Dr. Hakan AKAT'a, lisansüstü eğitimimin ders aşamasında bana kazandırdıkları için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattığı için Prof. Dr. Mehmet Balcan'a ve Doç. Dr. Yeliz Yıldırım'a ve akademik yolculuğum boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İZMİR

20/12/2019

Adı-Soyadı

Berna KÖRPINAR

İÇİNDEKİLERSayfa

İÇ KAPAK.....	i
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xii
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xix
TABLULARIN LİSTESİ	xxv
SEMBOLLER VE AÇIKLAMALARI	xxvii
1. GİRİŞ	1

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
1.1 Polimerlerin yapısı ve özellikleri	4
1.2 Polimer sentez metotları.....	7
1.2.1 Basamaklı(Reaktif Son Grup) Polimerizasyonu	7
1.2.2 Radikal Zincir (Katılma) Polimerizasyonu	8
1.2.3 İyonik Zincir (Katılma) Polimerizasyonu.....	12
1.2.3.1 Katyonik polimerizasyon	13
1.2.3.2 Anyonik Polimerizasyon	13
1.3 Kopolimerizasyon	14
1.4 Polimerlerin termal(ısı) özellikleri	15
1.5 Tungsten(VI) oksit.....	16
1.6 Kompozit malzemeler	18
1.6.1 Polimer matrisli kompozitler	19
1.6.2 Seramik matrisli kompozitler	19

İÇİNDEKİLER (Devam)Sayfa

1.6.3	Metal matrisli kompozitler	20
1.7	Gama ışını	21
1.8	Gama ışın kaynağı	21
1.9	Gama ışınlarının madde ile etkileşimi.....	22
1.9.1	Fotoelektrik Etki	23
1.9.2	Compton saçılması.....	23
1.9.3	Çift oluşumu	25
1.10	Soğurma.....	26
1.11	Lineer Soğurma Katsayısı	26
1.12	Kütle Soğurma Katsayısı.....	28
1.13	NaI(Tl) dedektörü	28
1.14	¹³⁷ Cs (662 keV) ve ⁶⁰ Co (1172 ve 1332 keV) nokta kaynaklar.....	29
1.15	Yarı Değer Kalınlığı (HVL)	30
1.16	Ortalama Serbest Yol (MFP)	30

İÇİNDEKİLER (Devam)Sayfa

1.17 Onda Bir Kalınlık (TVL)	30
2. DENEYSEL KISIM	31
2.1 Materyaller	31
2.2 Kullanılan Cihazlar	31
2.2.1 Poli(2-Hidroksietil Metakrilat)'ın Sentezi (PHEMA)	31
2.2.2 Poli(2-Hidroksietil Metakrilat- <i>ko</i> -Stiren)'in Sentezi Poli(HEMA- <i>ko</i> -S)	31
2.2.3 Polistiren'in sentezi (PS)	33
2.3 WO ₃ .2H ₂ O'nun Hazırlanması	35
2.4 Polimer-Tungsten(VI) oksit (WO ₃ .2H ₂ O) kompozitlerinin oluşturulması	37
2.5 Polimer Kompozitlerinin Morfolojisi	38
2.6 Tungsten(VI)oksitin Kristalliği	38
2.7 Gama Işını Lineer Soğurma Katsayılarının Ölçülmesi	38

İÇİNDEKİLER (Devam)Sayfa

2.8 Teorik Gama Işını Lineer Soğurma Katsayılarının Hesaplanması	45
2.9 Geçirgenlik Parametrelerinin Hesaplanması	47
3. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	48
3.1 Kompozitlerin Lineer Soğurma Katsayıları	50
3.2 Tungsten(VI) oksit katkı maddesinin lineer soğurma katsayıları değişimi üzerindeki etkisi.....	54
3.3 Gama Işınları Geçirgenlik Parametreleri	57
3.4 Polimerlerin Termal Bozunması	64
REFERANSLAR	68
TEŞEKKÜR	73
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Temel radyasyondan korunma prosesi	1
1.2 Radyasyon çeşitleri ve bazı maddelere nüfus etme mesafeleri	2
1.3 Amorf, yarı-kristal ve kristal maddelerde ısı geçişler sırasında gözlenen davranış değişiklikleri.....	16
1.4 Monoklinik WO ₃ 'ün kristal yapısı.....	17
1.5 WO ₃ katısının farklı sıcaklıklarda renkleri	17
1.6 Kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye fazı	18
1.7 Elektromanyetik Spektrum	21
1.8 Elektromanyetik radyasyon etkileşmelerinin soğurucunun atom numarasına ve radyasyonun enerjisine göre değişimi	22
1.9 Fotoelektrik etki	23
1.10 Compton saçılması	24
1.11 Çift Oluşumu	25

ŞEKİLLERİN LİSTESİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.12 Işınlayıcı radyasyonun (x -ışını, γ -ışını,) dx kalınlıklı bir maddeden geçerken soğurulması	27
1.13 Sintilatör ve fotoçoğaltıcı tüp	29
1.14 Sezyum-137'nin radyoaktif bozunması	29
1.15 Kobalt-60'ın radyoaktif bozunması	30
2.1 Poli(2-hidroksietilmetakrilat)'in 1H -NMR Spektrumu	32
2.2 Poli(2-hidroksietilmetakrilat- <i>ko</i> -stiren)'in 1H -NMR Spektrumu	32
2.3 Polistiren'in 1H -NMR Spektrumu	33
2.4 Poli(2-hidroksietilmetakrilat- <i>ko</i> -stiren), Poli(2-hidroksietilmetakrilat), polistiren, stiren ve 2-hidroksietilmetakrilat monomerlerinin FTIR spektrumları	34
2.5 Poli(HEMA- <i>ko</i> -S), PHEMA ve PS nin Sentezi	35
2.6 Tungsten(VI) Oksitin Hazırlanışı	36
2.7 $WO_3 \cdot 2H_2O$ 'in Termal Bozunma Eğrisi.....	36
2.8 Poli(HEMA) kompozitleri	37
2.9 Poli(HEMA- <i>ko</i> -S) kompozitleri	37

ŞEKİLLERİN LİSTESİ(Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.10 PS kompozitleri	38
2.11 Deney sisteminin şematik görünüşü	39
2.12 Poli(HEMA) -50% WO ₃ kompozitinin gama spektrum.....	39
2.13 Poli(HEMA- <i>ko-S</i>)-% 50 WO ₃ kompozitinin gama spektrumu	40
2.14 PS-50% WO ₃ kompozitinin gama spektrumu	40
2.15 Poli(HEMA) +% 50 WO ₃ için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri.....	42
2.16 Poli(HEMA- <i>ko-S</i>)+50% WO ₃ için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri	44
2.17 PS +50% WO ₃ için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri	45
3.1 (a) Poli(HEMA), (b) WO ₃ ·2H ₂ O, (c) Poli(HEMA) - 50 % tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri	49
3.2 (a) Poli(HEMA- <i>ko-S</i>), (b) WO ₃ ·2H ₂ O, (c) Poli(HEMA- <i>ko-S</i>)-50 % tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.3 (a) PS, (b) $WO_3 \cdot 2H_2O$, (c) PS- 50% tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri	50
3.4 $WO_3 \cdot 2H_2O$ 'in XRD grafiği	50
3.5 (a) Poli(HEMA)-tungsten(VI)oksit (b) Poli(HEMA-ko-S)-tungsten(VI)oksit (c) PS tungsten(VI) oksit kompozitlerin teorik lineer soğurma katsayılarına karşı foton enerji grafikleri	53
3.6 Poli(HEMA) kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayılarının değişimi.....	54
3.7 Poli(HEMA-ko-S) kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayılarının değişimi	55
3.8 PS kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayıları değişimi.....	55
3.9 Lineer soğurma katsayıları ve Poli(HEMA) kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki	56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ(Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.10 Lineer soğurma katsayıları ve Poli(HEMA-ko-S)kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki	56
3.11 Lineer soğurma katsayıları ve PS kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki.....	57
3.12 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için Poli(HEMA) ve Poli(HEMA)-tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı Değer Kalınlık, (b) Onda Bir Kalınlık (c) Ortalama Serbest Yol	60
3.13 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için Poli(HEMA-ko-S)ve Poli(HEMA-ko-S)-tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı Değer Kalınlık, (b) Onda Bir Kalınlık (c) Ortalama Serbest Yol.....	61
3.14 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için PS ve PS-tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı Değer Kalınlık, (b) Onda Bir Kalınlık (c) Ortalama Serbest Yol	63
3.15 Işınlamadan önce Poli(HEMA) ve Poli(HEMA)-WO ₃ .2H ₂ O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri.....	64
3.16 Işınlamadan sonra Poli(HEMA) ve Poli(HEMA)-WO ₃ .2H ₂ O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ(Devam)ŞekilSayfa

- 3.17 Işınlamadan önce Poli(HEMA-*ko*-S) ve Poli(HEMA-*ko*-S)-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri65
- 3.18 Işınlamadan sonra Poli(HEMA-*ko*-S) ve Poli(HEMA-*ko*-S)-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri65
- 3.19 Işınlamadan önce PS ve PS-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri.....66
- 3.20 Işınlamadan sonra PS ve PS-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri66

TABLULARIN LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Zincir ve Basamaklı Polimerizasyon mekanizmasının ayırt edici özellikleri.....	12
2.1 Kompozit malzemelerin kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları	46
3.1 Kompozitlerin Deneysel Ve Teorik Lineer Soğurma Katsayıları	51
3.2 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için kompozitlerin HVL, TVL ve MFP değerleri	58

SEMBOLLER VE KISALTMALAR**Semboller****Açıklamalar**

μ	Lineer soğurma katsayısı
g/mol	Molekül ağırlığı
Å^0	Angstron
Hz	Hertz
m	Metre
τ	Fotoelektrik soğurma katsayısı
σ	Saçılma soğurma katsayısı
$\rho / \text{g/cm}^3$	Yoğunluk
$x_{1/2}$	Yarı değer kalınlık
λ	Ortalama serbest yol
$x_{1/10}$	Onda bir kalınlık
mL	mililitre
g	gram
dk	dakika
sp^2	hibritleşme türü
mol/L	molar
mm	minimetre
cm	santimetre
x	kalınlık
cm^2/g	Kütle soğurma katsayısı

SEMBOLLER VE KISALTMALAR(Devam)

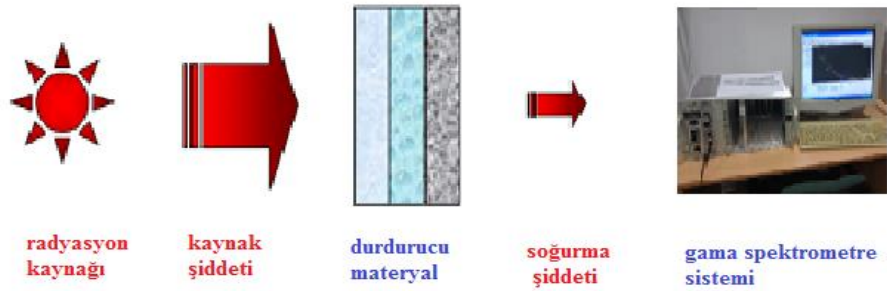
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
HEMA	2-hidroksietilmetakrilat
Poli(HEMA)	Poli (2-hidroksietil metakrilat)
S	Stiren
PS	Polistiren
Poli(HEMA- <i>ko</i> -S)	Poli(2-hidroksietilmetakrilat- <i>ko</i> -stiren)
¹ H NMR	Nükleer manyetik rezonans
FTIR	Fourier Transform Infrared Spektrofotometresi
GPC	Jel Geçirgenlik Kromatografisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işımları Difraktometresi
TGA	Termogravimetrik Analiz
XCOM	Bilgisayar tabanlı program
HVL	Yarı değer kalınlık
TVL	Onda bir kalınlık
MFP	Ortalama serbest yol
NaI(Tl)	Sodyum İyodür Talyum
D _p	Polimerizasyon derecesi
M _p	Polimerin molekül ağırlığı
M _m	Monomerin molekül ağırlığı
C-C bağı	Karbon-karbon bağı
C-H bağı	Karbon-hidrojen bağı
N-H bağı	Azot-hidrojen bağı

SEMBOLLER VE KISALTMALAR(Devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
N-N bağı	Azot-azot bağı
Si-C	Silisyum-karbon
Si-OH	Silisyum-hidroksit
Si-O-R	Silisyum alkoksit
AIBN	2,2'-Azobisizobutironitril
BPO	Benzoilperoksit
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Te	Erime sıcaklığı
WO ₃	Tungsten(VI) oksit
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Kalsiyum Fosfat

1. GİRİŞ

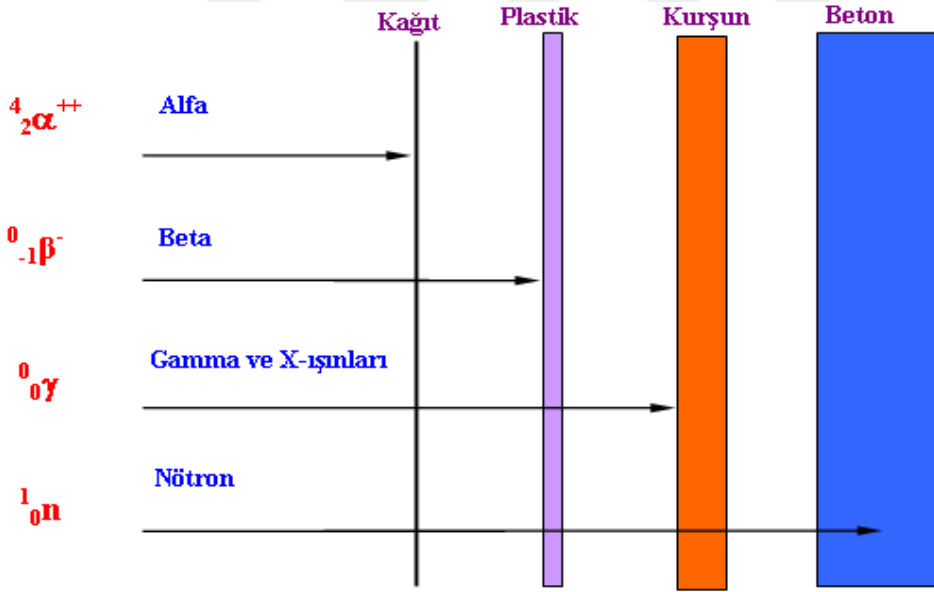
Radyasyon durdurma özelliği yüksek materyaller nükleer tıp başta olmak üzere özellikle uzay ile ilgili çalışmalarda oldukça önem arz etmektedir. Gama, x-ışınları Ultraviyole, nötronlar, protonlar, pi mezonlar, enerjistik iyonlar, elektronlar ve diğerleri Dünya atmosferi dışında astronot ve hassas elektronik cihazların maruz kalabileceği radyasyon türleridir. Parçacıkların her biri kendi enerji transferi özelliğine sahiptir ve radyasyondan korunmak için özel malzeme ve cihaz gerektirir. (Knoll vd, 2000; Tsoulfanidis vd., 1995). Bu tür radyasyonların durdurulmasını sağlayabilecek materyaller üzerine çalışmalar uzay teknolojisinde önemli yer tutmaktadır. Böyle radyasyon türlerine eş zamanlı maruz kalınması makul sınırlar içerisinde durdurucu maddelerin kütlelerini artmaksızın personel ve cihazları korumak zordur. Doğrudan iyonlaştırıcı radyasyon durdurucu ortam ile çok kuvvetli şekilde etkileşir ve bundan dolayı kolayca durur. Buna karşılık, dolaylı iyonlaştırıcı radyasyon, çok geniş bir alana nüfuz edebilir ve durdurmak için gerekli durdurucular çok pahalı olabilirler. Bu nedenlerden dolayı son zamanlarda, en sık karşılaşılan dolaylı iyonlaştırıcı radyasyonlardan örneğin nötron ve fotonlardan korunma çalışmalarına ilgi artmaktadır.(Tsoulfanidis vd., 1995)



Şekil 1.1 Temel radyasyondan korunma prosesi (Practical Gamma Ray Spectroscopy, 2008).

Gama radyasyonu, yüksek enerjili olan elektromanyetik dalgalarıdır ($\lambda > 10^{-12}$ m). Bu nedenle partikül tipi (alfa, beta) iyonlaştırıcı radyasyondan daha yüksek bir girişe sahiptir (Knoll vd, 2000; Tsoulfanidis vd., 1995). Gama radyasyonun çok sayıda uygulama alanı vardır. Bu radyasyondan korunmak için koruyucu malzeme tiplerini ve özelliklerini araştırmak büyük önem taşır. Çeşitli maddeler

radyasyondan korunma amaçlı kullanılmaktadır. Koruma maddelerinin uygun türünü seçmek için, durdurulan radyasyon türü, enerjisi ve indirgenen doz düzeyine dikkat edilmesi gerekmektedir. Seçilen materyal, öncelikle etkili durdurucu olmalıdır. Dış kaynaklı bir radyasyonda ise, en önemli olan personelin korunmasıdır. Etkili bir durdurmada, zararlı radyasyon emisyonu az mesafede büyük enerji kaybına uğrayacaktır. Fakat materyalin ağırlığı, fiyatı gibi diğer faktörler de durdurucu maddenin seçilmesinde etkili olabilir. Etkili bir durdurucu madde absorblayıcı ortamın atomları ve nükleer radyasyon arasındaki etkileşim tarafından belirlenir. Durdurucu ortam absorblayıcı ortamın atom numarası, radyasyonun enerjisi ve türüne dikkat edilerek seçilmelidir. Bu bağlamda radyasyon durdurma özelliği yüksek bir materyal sentezi, radyoaktif materyallerin etkin olduğu alanlarda kullanım alanı bulması açısından önem arz etmektedir



Şekil 1.2 Radyasyon çeşitleri ve bazı maddelere nüfus etme mesafeleri (Emrah Kuloğlu; Yükseklikanstezi, 2014).

Bilindiği üzere, Gama ışınları atom ve kütle numarası büyük olan elementler tarafından durdurulabilir. Dolayısıyla, gama radyasyonunu durdurmak için bu tür elementler kullanılırsa, ışınlar en iyi şekilde soğurulmuş olur. Çekirdek ne kadar ağır olursa, soğuruculuğu o kadar iyidir (Harrison vd., 2008). Tarihsel olarak, yüksek yoğunluklu ve yüksek atom numarasına sahip malzemeler radyasyondan korunmak için kullanılmıştır. Örneğin, kurşun, çelik, beton, tungsten gibi

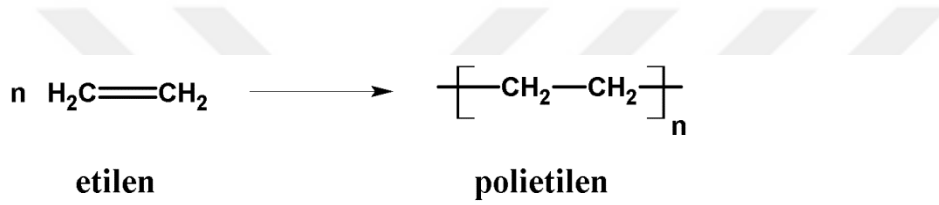
malzemeler gama ışınından en etkili biçimde korunmak için kullanılan madde ve materyallerdir. Gama ışınından koruma malzemelerinden biri olan kurşun, en çok kullanılan elementtir. Prensip olarak, kurşun gama ışınlarını azaltmada etkilidir çünkü yüksek yoğunluklu ve yüksek atom numarasına sahiptir. Kurşun kalkanlar, alanın sınırlı olduğu yerlerde sıklıkla kullanılır (Knoll vd, 2000; Erdem, 2010). Ancak kurşunun en büyük dezavantajı, düşük erime noktası ve zehirli olmasıdır (Lamarsh vd., 2001). Demir veya çelik de yaygın bir gama ışını koruma malzemesidir ve genellikle zırhlama malzemesi olarak kullanılır. Bu gibi durumlarda, çeliğin iç kısmının kurşunla kaplanması maliyeti düşürmenin etkili bir yoludur. Beton, yapısal alanlarda kısıtlama olmadığına kullanılan alternatif bir koruyucu malzemedir. Beton, genellikle düşük hacimli veya yüksek hacimli kalkanların yapımında kullanılır. Tungsten, küçük kalkanlar veya kolimatörler için çekici bir malzemedir. Tungsten, literatürde, birçok yerde radyasyon soğurmada etkili ve ekonomik olarak kullanılma potansiyeli olan bir malzeme olarak belirtilmiştir (Harrison vd., 2008).

Yapılan bir çalışmada kurşunun yerine tungsten ve hidrojenize edilmiş (stiren-bütadien-stiren) SBS kopolimerinin kullanılmasıyla yeni bir materyal elde edilmiştir. Monte Carlo metodu kullanılarak çalışmışlardır. Teorik olarak yapılan bu çalışma sonunda tungsten ile polimerlerin karıştırılarak hazırlanan kompozitlerin istenilen zırhlama materyali olabileceği belirtilmiştir (Yue vd., 2009). Diğer bir çalışmada ise radyoterapide radyasyondan korunma amaçlı yüksek yoğunluklu polimer-metal kompozitleri kullanılmıştır. Bu kompozitlerin hazırlanmasında tungsten tozu ve polimer karıştırılarak yüksek yoğunluğa ulaşılmış ve düşük x-ışını geçirgenliği saptanmıştır (Ivanova vd., 2007). Martínez-Barrera ve arkadaşları 2009 ve 2013 yılında yapmış olduğu çalışmada mermer parçacıklarının boyutlarının poliestir beton karışımlarına olan etkisini araştırmışlardır. Durkee çalışmasında kurşun ve patentini aldığı polimer kompozit ile bakır, bronz, demir gibi metalleri karşılaştırmıştır. Elde ettiği bu kompozitin zırhlama potansiyelini çeşitli radyasyon kaynaklarıyla test etmiştir. Bulmuş olduğu sonuçlar ile kurşun kullanarak elde ettiği sonuçlar arasında kıyaslama yapmıştır. (Durkee vd., 1998).

Bu çalışmanın temel amacı, hafif, ince, şekillenebilen yüksek kaliteli bir radyasyon koruyucu malzeme elde etmek ve bu malzemenin gama radyasyon soğurma katsayısının araştırmaktır.

1.1 Polimerlerin yapısı ve özellikleri

Makromoleküller(veya polimerler) en az birkaç yüz kovalent bağlarla birbirine bağlanmış atomdan oluşur ve 10^3 g/mol'nin üzerinde molar kütlelere sahiptir. Birbirine kovalent bağla bağlanarak polimerizasyon tepkimeleriyle büyük moleküller haline gelen küçük molekül ağırlıklı maddelere monomer denir. Etilen molekülleri, polimerleşerek polietilene molekülüne dönüşümü basitçe;



tepkimesiyle gösterilir. Örneğin, Polietilende olduğu gibi çok sayıda küçük molekül kimyasal bağla bağlanarak bir araya gelmesi sonucu büyük molekül kütleli zincirler oluşturur. Bu nedenle makromolekül, polimer veya polimer zinciri kavramaları birbirleri yerine kullanılabilir.

Bir polimer molekülü karbon, oksijen, azot, hidrojen, halojenler, kükürt, fosfor, silisyum vb. gibi atomların kovalent bağlarla birbirine bağlandığı uzun zincir olarak da tanımlanabilir. Polimer zincirinde yinelenen birimlere **mer** denir. Polimerizasyon derecesi(Dp), ve molekül ağırlığı(M), makromoleküler maddelerin en önemli özellikleridir. Polimerizasyon derecesi, polimer zincirini oluşturmak için kaç monomer ünitesinin birbirine kovalent olarak bağlandığını gösterir. Bir başka deyişle (Dp), zincir başına düşen ortalama yinelenen monomer molekülü sayısıdır. Buradan, polimerin molekül ağırlığı (Mp) doğrudan monomerin molekül ağırlığı(Mm) ile (Dp) nin çarpımından hesaplanabilir.

$$\mathbf{M_p = D_p \times M_m}$$

Polimer zincirinin kararlı bir yapı oluşturabilmesi için ana zincir üzerindeki atomlar arası bağların yeterli enerjide olması gerekir. Genel olarak polimerlerde bulunan atomlara arası bağlar kısaca şunlardır:

- ✓ **C-C Bağı:** Ana zincirde bulunan nötral ve çok kararlı bir bağıdır.
- ✓ **C-H Bağı:** Ana zincir üzerinde yer almaz. Nötral ve kararlı değildir.
- ✓ **Oksijen Bağları:** Ana zincire ve yan gruplarda bulunabilir. Bağları çok polardır. Bu bağlar polimerde anhidrid, eter, karbonil, ester, polikarbonat, karboksil grubu gibi gruplar içinde bulunabilir.
- ✓ **Azot Bağları:** Polarlığı karbon ile oksijen arasındadır. Nitril grubu, N-H, poliüretan grubu, izosiyonat, nitro grubu gibi gruplar içinde N-N bağı şeklinde bulunabilirler.
- ✓ **Halojen Bağları:** Ana zincir üzerinde bulunmazlar. Polimer yapısında bulunan tüm halojenler karbon atomu ile bağlanmıştır.
- ✓ **Kükürt Bağları:** Polarlığı oksijenden azdır. Sülfon grupları içindeki kükürt bağları oldukça kuvvetlidir.
- ✓ **Silisyum Bağları:** Karbondan daha elektropozitifdir. Organosilan (Si-C) grubu, silanon (Si-OH) grubu, organosiloksan (Si-O-R) grubu, silikon (Si-O-Si) grubu şeklinde polimer yapısında bulunabilirler.
- ✓ **Fosfor Bağları:** Azot elementinden daha elektropozitifdir. Alev direnci en yüksek yapılarda bulunur.

Ayrıca, kimyasal olarak tepkime vermeyen(inert) polimer molekülleri arasında ya da bir molekülün farklı atomları arasında oluşan bağlar da oluşabilir. Bunlar Vander-Wals kuvvetlerinden doğan bağlar olarak adlandırılır. Yukarıda sayılan bu bağlar, polimerik malzemelerin özelliklerini büyük oranda etkilemektedir. Genel

olarak, kovalent bağlar birincil bağlardır ve polimerik malzemenin fotokimyasal ve ısı kararlılığı gibi kimyasal kararlılığını belirler. Buna karşın, polimerlerin erime, çözünme, buharlaşma, adsorpsiyon, difüzyon, deformasyon vb. gibi birçok fiziksel özelliklerini ikincil bağlar belirler.

Polimerlerin sentezi ve sentezlenen polimerlerin başka reaksiyonlar içinde kullanılması, polimeri oluşturan monomerler birimlerinin üzerinde bulunan aktif gruplara bağlıdır. Mevcut polimerlerden, çeşitli polimer sentez yöntemleri kullanılarak yeni polimerlerin elde edilmesi ise polimerlerde bulunan reaktif gruplara bağlıdır. Bu reaktif gruplar polimerleşme sırasında kullanılan monomerlerin özelliğiyle saptanabilirler. Bu tür monomerlere **fonksiyonel monomerler** denir. Örneğin, monomerlerdeki amin, aldehit, hidroksil, karboksil, grupları ile vinil gibi fonksiyonel grupların varlığı, bu monomerlerden oluşan, polimerlere belli bir fonksiyonellik kazandıracaktır. Fonksiyonel gruplar bulunduran polimer ve kopolimerler, son zamanlarda çoğu çalışmada polimerlerin uyumlu hale getirilmesinde ve uyumlu polimer karışımlarının elde edilmesinde ayrıca polimerlerin ısısal ve termo mekanik özelliklerinin değiştirilmesinde kullanılmaktadır.(Polymer Chemistry,2013)

Polimerlerde bir başka özellik ise, polimerlerin çözünürlüğüdür. Bir polimerik malzemenin çözünmesi iki basamakta gerçekleştirilebilen yavaş bir olaydır. Çözücü molekülleri, ilk aşamada polimer içine difüzlenir ve şişerek jel oluşturur. Polimer molekülleri ile çözücü arasındaki ikincil etkileşimler kuvvetli ise, ikinci aşamada, polimer-çözücü etkileşimleri polimer-polimer etkileşimlerini yener ve polimer çözünür. Ayrıca yüksek molekül kütleli bir polimerin çözünmesi uzun süre alabilir.

Polimer molekülleri arasında kuvvetli hidrojen bağlarının bulunması, polimerin çapraz bağlanması, başlangıçta oluşan jelin dağılmasını, başka bir deyişle polimerin çözünmesini engeller. Polar kristal polimerler çoğu çözücüde çözünemez. Fakat, polar polimerlerin polaritesine uygun çözücülerle karıştırılması ekzotermik bir olaydır ve bu polimeri erime noktasının oldukça altındaki sıcaklıklarda çözebilen çözümler vardır.

1.2 Polimer sentez metotları

Sentetik polimerlerin oluşumu, yüzlerce ila binlerce monomer molekülünün kimyasal olarak bağlanması yoluyla meydana gelen bir süreçtir. Sonuç olarak, makromoleküler zincirler oluşur (Polymer Chemistry, 2003).

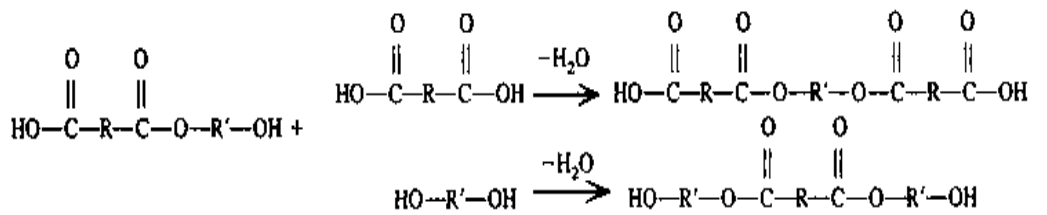
1.2.1 Basamaklı (Reaktif Son Grup) Polimerizasyonu

Basamaklı polimerizasyon yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin sentezinde kullanılan metotlardan biridir. En az iki fonksiyonel grup "OH", "COOH", "NH₂" vb gibi içeren monomerlerin küçük bir molekülün ortamdan ayrılmasıyla örneğin; H₂O, NH₃, HCl vb gibi oluşan polimerler basamaklı polimerler olarak adlandırılır.



Basamaklı polimerizasyon polimerleşme reaksiyonundan farklı olarak kademeli olarak ilerler ve her kademedeki oluşan madde karışımdan kolayca ayrılır. Öncelikle iki monomer reaksiyona girerek dimer oluşturur. Dimer, diğer bir monomerle birleşerek trimer oluşturur ve başka bir dimerle birleşerek tetramere dönüşür ve benzer adımlarla zincir büyümeye devam eder. Polimerizasyon ortamında farklı büyüklükteki molekül birbiriyle reaksiyona verebilir ve polimerin molekül kütlesi uzun zaman diliminde yavaş yavaş artar. En yüksek molekül ağırlıklı polimere reaksiyonun sonunda ulaşılır.

Basamaklı polimerler Diels-Alder katılması, kondensasyon, Friedel-Crafts tepkimeleri ile sentezlenebilirler. Sözü edilen tepkimeler içinde kondensasyon, basamaklı polimer eldesine en uygundur ve çoğu ticari polimer bu yolla üretilir. (Polymer Chemistry, 2003).

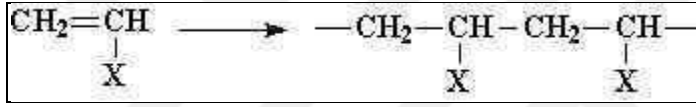


1.2.2 Radikal Zincir (Katılma) Polimerizasyonu

Bu polimerizasyon türünde monomerler doğrudan birbirlerine katılarak makromerler zincir yapısını oluşturur. Bu polimerizasyona örnek olarak doymamış bağlar içeren etilen, stiren, vinilklorür gibi monomerlerin

polimerizasyonu verilebilir. Zincir polimerizasyonu; serbest radikaller, iyonlar veya koordinasyon kompleks sistemler üzerinden gerçekleşebilir.

Katılma polimerlerinde küçük molekül kaybı meydana gelmez. Katılma polimerlerinin en önemli grubu doymamış vinil monomeri türevidir.



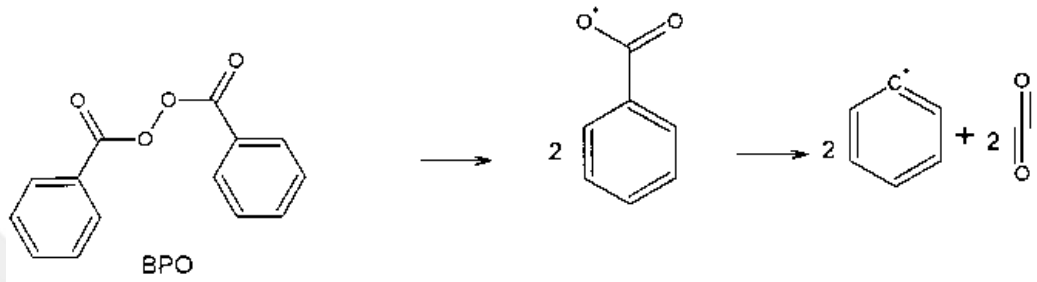
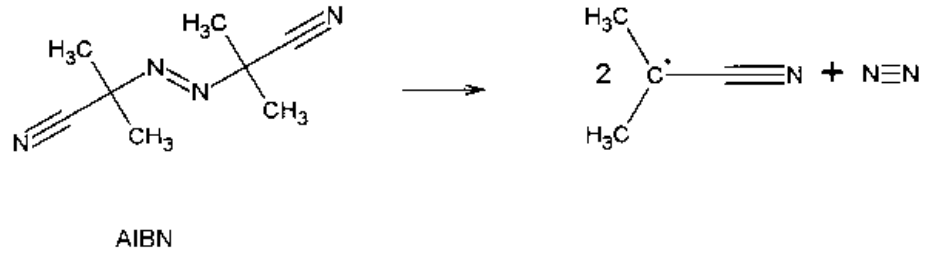
Radikal mekanizmaya göre yürüyen katılma polimerizasyonu üç basamakta gerçekleşir:

Başlama Basamağı

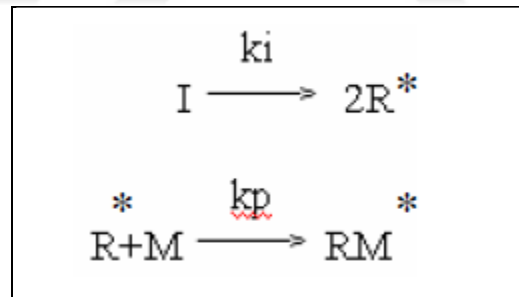
Bu basamakta monomer molekülleri kimyasal veya fiziksel yolla aktifleştirilerek radikal haline dönüştürülür. Bu basamak başlangıç aktivitesinin oluşturulduğu bir basamak gibi düşünülebilir.

Bu basamağın gerçekleştirilmesi için izlenen en yaygın yöntem sisteme dışarıdan başlatıcıların ilave edilmesidir. Bu amaçla inorganik veya organik peroksitler ve diazo bileşikler veya redoks başlatıcıları kullanılır.

Başlatıcılara örnek olarak 2,2'-azobisisobutironitril (AIBN) ve benzoil peroksit (BPO) verilebilir. Bu organik peroksit 60 °C-90 °C sıcaklık aralığında aşağıdaki reaksiyona göre kolaylıkla parçalanarak radikal oluşur. (Polymer Chemistry, 2003).

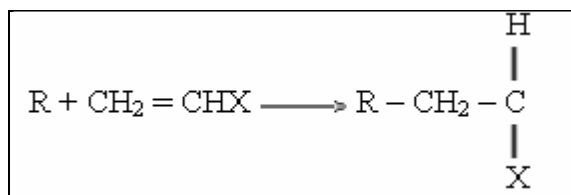


Radikal polimerizasyonunda başlama basamağındaki reaksiyonlar bu şekilde gösterilebilir (Polimer Kimyasına Giriş, 1998).



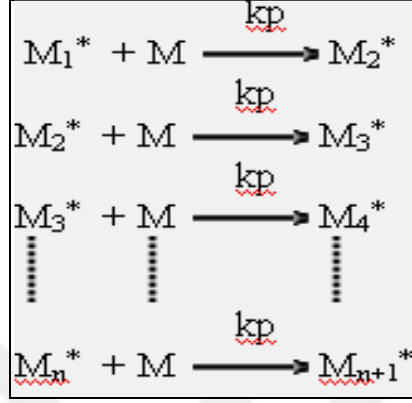
Burada I ve R* sırası ile başlatıcı ve radikali, M ve RM* sırası ile monomer ve radikali; k_i ve k_p ise hız sabitlerini göstermektedir.

Monomeri örneklendirirsek reaksiyon şu şekilde gerçekleşir.



Çoğalma basamağı

Başlama basamağında oluşan zincir radikali monomer moleküllerinin katılması ile büyür. Çoğalma reaksiyonunda yüzlerce, bazen binlerce monomer birimi zincire katılabilir. Zincirlerin büyümesi,



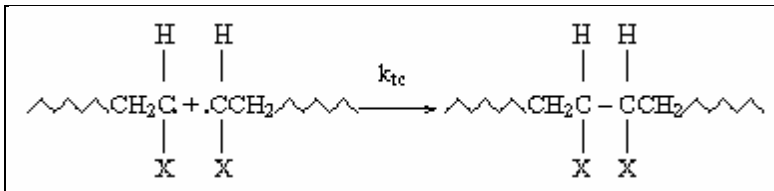
Reaksiyon denklemleri ile gösterilebilir. Burada k_p çoğalma reaksiyonunun hız sabitidir (Polimer Kimyasına Giriş, 1998).

Sonlanma basamağı

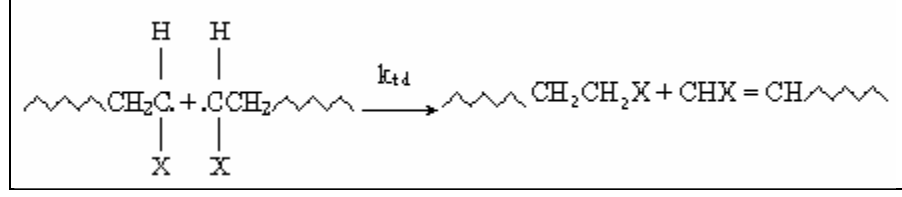
Büyümekte olan polimer zincirlerinin çoğalması bir noktada durur. Burada aktif uçlar pasifleşerek yapıyı kararlı hale getirirler ve polimerleşme tamamlanır. Sonlanma basamağı iki türlü olabilir.

Birleşme ile sonlanma

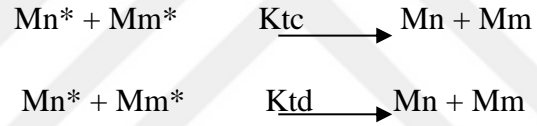
İki radikalın birbirine katılmasıdır.



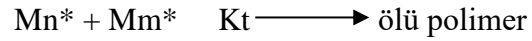
Orantısız sonlanma



Burada hidrojen transferi ile iki polimer molekülü oluşur. Bu moleküllerden birinde doymuş, ötekinde ise doymamış son gruplar vardır. Sonlanma reaksiyonları genel olarak;



Denklemleri ile gösterilir. Burada k_{tc} ve k_{td} , sırasıyla, birleşmeyle sonlanma ve orantısız sonlanma reaksiyonlarının hız sabitleridir. Sonlanma basamağı;



şeklinde gösterilebilir ve k_t bu reaksiyonun hız sabitidir. Ölü polimer; terimi çoğalan radikalde büyümenin sona erdiğini belirtir.

Tablo 1.1 Zincir ve Basamaklı Polimerizasyon mekanizmasının ayırt edici özellikleri

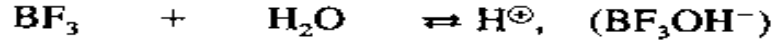
Zincir Polimerizasyonu	Basamaklı Polimerizasyon
<p>i. Reaksiyonun ilerlemesi zincire tekrarlanan birimin katılması ile meydana gelir.</p> <p>ii. Monomer konsantrasyonu reaksiyon boyunca gittikçe azalır.</p> <p>iii. Yüksek molekül ağırlıklı polimer oluşur. Polimerin molekül ağırlığı reaksiyon boyunca küçük değişimlere uğrar.</p> <p>iv. Reaksiyon zamanının artması ile yüksek verim meydana gelir fakat molekül ağırlığı çok değişmez.</p> <p>v. Reaksiyon karışımı, yalnızca monomer, yüksek molekül ağırlıklı polimer ve çok az miktarda büyüyen zincir içerir.</p>	<p>i. İki molekül tür varlığında reaksiyon gerçekleşir.</p> <p>ii. Monomer polimerizasyon derecesi (DP) 10 olduğunda, ortadan kalkar. % 1 den daha az monomer kalır.</p> <p>iii. Polimerin molekül ağırlığı reaksiyon boyunca artar.</p> <p>iv. Reaksiyon zamanının arttırılması ile esasen daha yüksek molekül ağırlıklı polimer elde edilir.</p> <p>v. Herhangi bir adımda tüm moleküler türler dağılımı hesaplanabilir.</p>

1.2.3 İyonik Zincir (Katılma) Polimerizasyonu

Zincir polimerizasyonu serbest radikaller üzerinden olduğu kadar iyonlar (anyonlar ve katyonlar) ve koordinasyon kompleks yapıcı ajanlar üzerinden de yürüyebilir. Bu tip polimerizasyon genellikle katalizörlerin ayrı bir fazda bulunduğu heterojen sistemleri içerir. Reaksiyonlar, radikal polimerizasyona göre daha hızlıdır. İyonik polimerizasyonda katalizörler su, alkol gibi polar çözücülerde değil, metil klorür gibi apolar çözücülerde aktivite gösterirler. İyonik polimerizasyon da serbest radikal polimerizasyon gibi başlama, üreme, sonlanma basamakları üzerinden yürür.

1.2.3.1 Katyonik polimerizasyon

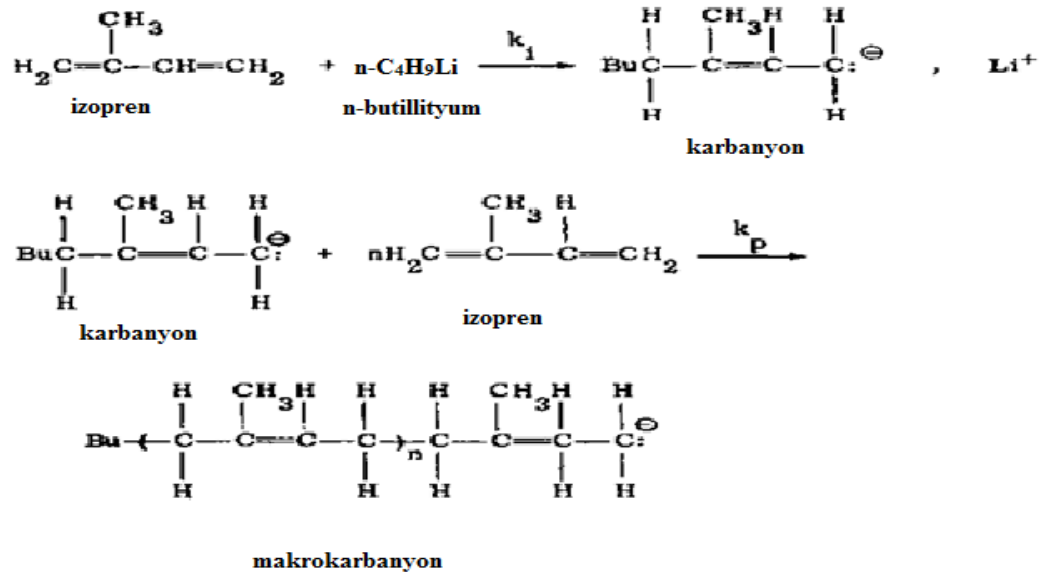
Radikalik ve anyonik polimerizasyonu gibi katyonik polimerizasyonda bir zincir tepkimesidir. Bu nedenle radikalik ve anyonik polimerizasyonda gözlenen başlama, büyüme, zincir transferi ve sonlanma tepkimeleri katyonik polimerizasyon için de geçerlidir.



Katyonik polimerizasyon, kuvvetli protonik asitler ve Levis asitleriyle başlatılabilir. Polimerizasyon tepkimesi karbokasyon oluşumu üzerinden ilerler.

1.2.3.2 Anyonik Polimerizasyon

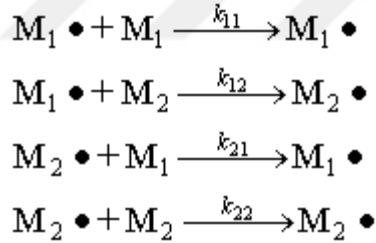
Anyonik polimerizasyon, diğer zincir tepkimelerine benzer şekilde başlama, büyüme, zincir transferi ve sonlanma üzerinden ilerler. Ancak safsızlıklardan arındırılmış anyonik polimerizasyon sistemlerinde sonlanma tepkimeleri önemsizdir ve sonlanma olmadığı varsayılır. Ayrıca anyonik polimerizasyon genelde düşük sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için, dallanma ve zincir transfer tepkimelerinin de anlamı yoktur. Polimerizasyon tepkimesi karboanyon oluşumu üzerinden ilerler. Önemli anyonik polimerizasyon başlatıcılarından olan organik lityum bileşikleri, lityum metali ve bir organik halojenürün etkileşimiyle; Grignard bileşikleri, magnezyum ve organik halojenürler kullanılarak hazırlanır.



1.3 Kopolimerizasyon

İki veya daha fazla monomer birlikte polimerleştğinde kompleks bir polimer oluşur. Kopolimerlerin fiziksel özellikleri homopolimerlerden farklıdır ve bu farkın ölçüsü kopolimerin bileşimine bağlıdır. Genelde rastgele ve alternatif kopolimerler kendilerini oluşturan homopolimerlerin özellikleri arasında özelliklere sahiplerken, blok ve graft kopolimerler homopolimerlerinin herikisinin özelliklerini de gösterirler. Çünkü onların segmentleri polimer zincir boyunca düzensiz olarak yerleşmiş olup kopolimerler düzenli bir şekle sahip değildir. Bu nedenle de; pekçok kopolimer amorfudur. Bununla beraber, eğer taktisite ya da segmentlerin yerleri nedeniyle yeterince düzenlilik sağlanırsa kristalize kopolimerler hazırlanabilir.

Kopolimerizasyonun mekanizması homopolimerizasyonunkine benzer fakat çeşitli monomerlerin reaktifliklerinin monomerden monomere göre çok değiştiği hesaba katılmalıdır. M_1 ve M_2 monomerlerinin kopolimerleştiğini düşünebiliriz. M_1 ve M_2 radikalleri aşağıdaki şekillerde reaksiyon verebilir:



Bu dört süreçteki hızlar elbette ki farklı olacaktır. Eğer M_1 ve M_2 nin konsantrasyonunun sabit kaldığını (kararlı hal davranışı), sonra M_1 in M_2 ye katılma hızının M_2 nin M_1 e katılma hızına eşit olduğunu düşünürsek

$$k_{12} [M_1 \bullet] [M_2] = k_{21} [M_2 \bullet] [M_1]$$

yazılabilir. M_1 ve M_2 nin yok olma hızı aşağıdaki eşitliklerle verilebilir:

$$\begin{aligned} \frac{-d[M_1]}{dt} &= k_{11} [M_1 \bullet] [M_1] + k_{21} [M_2 \bullet] [M_1] \\ \frac{-d[M_2]}{dt} &= k_{12} [M_1 \bullet] [M_2] + k_{22} [M_2 \bullet] [M_2] \end{aligned}$$

$$\frac{d[M_1]}{d[M_2]} = \frac{[M_1]}{[M_2]} \left(\frac{k_{11}[M_1 \bullet] + k_{21}[M_2 \bullet]}{k_{12}[M_1 \bullet] + k_{22}[M_2 \bullet]} \right)$$

Eğer bir üstteki eşitlikle bu eşitliği birleştirir ve $k_{11}/k_{12} = r_1$ ve $k_{22}/k_{21} = r_2$ olarak belirlersek herhangi bir andaki kopolimerin bileşimini veren **kopolimer eşitliğini** türetebiliriz. Bu eşitliğin doğruluğu deneysel olarak kanıtlamışlardır.

$$\frac{d[M_1]}{d[M_2]} = \frac{[M_1]}{[M_2]} \left(\frac{r_1[M_1] + [M_2]}{[M_1] + r_2[M_2]} \right)$$

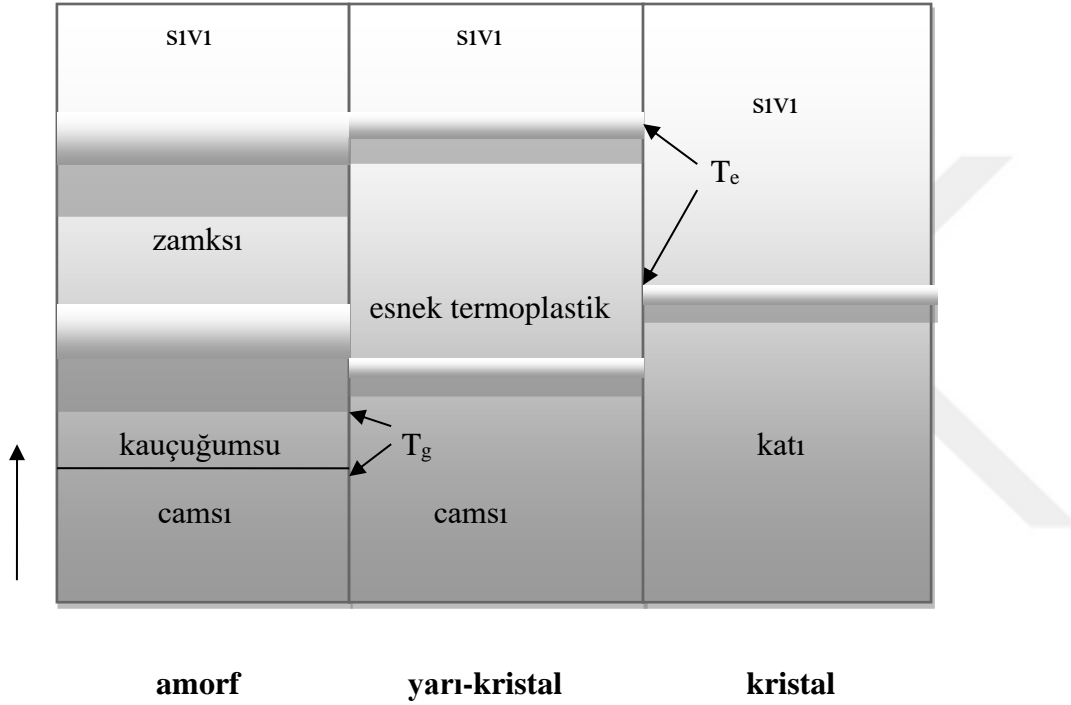
r_1 ve r_2 terimleri **reaktiflik oranları** olarak adlandırılır ve göreceli olarak monomerlerin homopolimerize veya kopolimerize olma eğilimlerini verir. Eğer $r_1 > 1$ ise; M_1 homopolimerize olma eğilimindedir. Oysa $r_1 < 1$ ise kopolimerize olmayı tercih eder (Stevens M.P., 1975).

1.4 Polimerlerin termal(ısı) özellikleri

Polimerlerin ısı karşısındaki davranışları, yapılarında amorf ya da kristal bölgelerin varlığına yakından bağlıdır. Amorf polimerler yeterince düşük sıcaklıklarda sert ve kırılğandırılar (cam gibi). Böyle bir polimer ısıtıldığında camsı geçiş sıcaklığı (Tg) adı verilen bir sıcaklıkta yumuşar ve kauçuk özellikleri gösterir (poliizobütülen, polibütadien gibi). Polimerin camsı geçiş sıcaklığı üzerinde ısıtılması sürdürülürse; polimer, kauçuğumsu davranışı da bırakarak zamk görüntüsü üzerinden yeterince yüksek sıcaklıklarda sıvı halini alır. Ancak; kauçuğumsu, zamksı ve sıvı davranış değişiklikleri arasında kesin sıcaklık değerleri yoktur, geçişler derecelidir.

Yarı-kristal polimerlerin örgüsünde amorf ve kristal bölgeler birlikte bulunur. Bu polimerler camsı geçiş sıcaklıkları altında, amorf polimerler gibi kırılğandırılar. Kırılğanlılık özelliklerini camsı geçiş sıcaklığına kadar korurlar. Camsı geçiş sıcaklığı geçildiğinde belli derecede yumuşaklık kazanmakla birlikte kristal yapılarından dolayı esnek termoplastik davranışa geçerler (polietilen,

polipropilen gibi). Yapıdaki kristal bölgeler, amorf bölgeler için çapraz bağlayıcı görevi yaparak polimer örgüsünü sıkıca bir arada tutar. Bu nedenle yarı-kristalin polimerler erime sıcaklığına kadar (T_e) esnek termoplastik özelliklerini değiştirmezler ve erime sıcaklığında kristal yapıları yıkılarak viskoz bir sıvı verecek şekilde erirler. Tam kristal polimerler serttirler ve amorf bölgeler bulunmadığından camsı geçiş göstermezler. Erime sıcaklıklarına ulaşıldığında kristal yapı yıkılır ve polimer erir.(Polymer Chemistry, 2003).

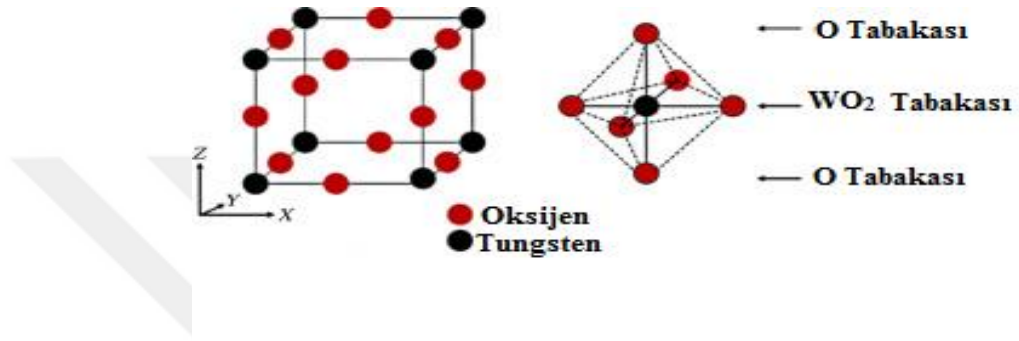


Şekil 1.3 Amorf, yarı-kristal ve kristal maddelerde ısıl geçişler sırasında gözlenen davranış değişiklikleri (Saçak M. ,2002).

1.5 Tungsten(VI)oksit

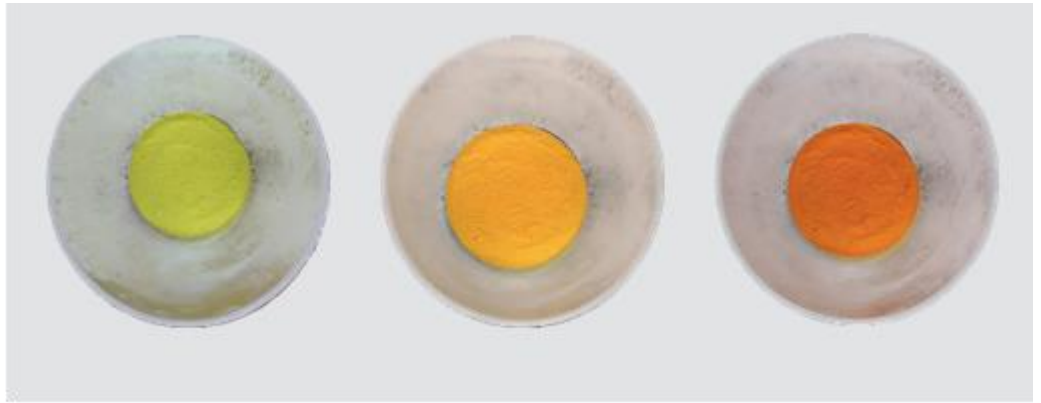
Tungsten oksit(WO_3), tungsten trioksit ya da tungstik anhidrit WO_3 olarak bilinen, oksijen ve bir geçiş metali tungsten içeren bir kimyasal bileşiktir. Tungsten oksit, kataliz, fotoelektrot, elektrokromik cihaz ve kimyasal sensörler için önemli bir fonksiyonel materyal olarak potansiyel uygulamalara sahiptir. (Zhi-me vd., 2007). Bu uygulamalar, tungsten oksit bazlı malzeme araştırma ve mühendisliği alanında muazzam bir itici güç olmuştur. Son zamanlarda, malzemelerin işlevsel özelliklerini geliştirmek için mezoyapılı ve mesoporlu tungsten oksitlerin sentezi üzerinde çok fazla çaba sarf edilmiştir.

Tungsten oksit (WO_3) doğada hidratlar olarak bulunur ve tungsten, tungstat ve alaşımlarından elde edilir. Seramik pigment olarak da kullanılan sarı bir tozdur. WO_6 oktahedranın köşe ve kenar paylaşımı ile oluşturulan WO_3 kristalleri, monoklinik, triklinik, ortorombik, tetragonal ve kübik WO_3 gibi çeşitli fazlara yol açar. Oda sıcaklığında, en kararlı faz, 17 °C ila 330 °C arasında elde edilen monoklinik WO_3 'tür. (Ramana, 2006).



Şekil 1.4 Monoklinik WO_3 'ün kristal yapısı

Tungsten oksit (WO_3) oda sıcaklığında soluk limon sarısı renkte iken daha fazla 200-300°C'ye ısıtıldığında, koyu sarı renk alır. 400 ila 500 °C'de koyu turuncu renktedir.



WO_3 25 °C

WO_3 200–300 °C

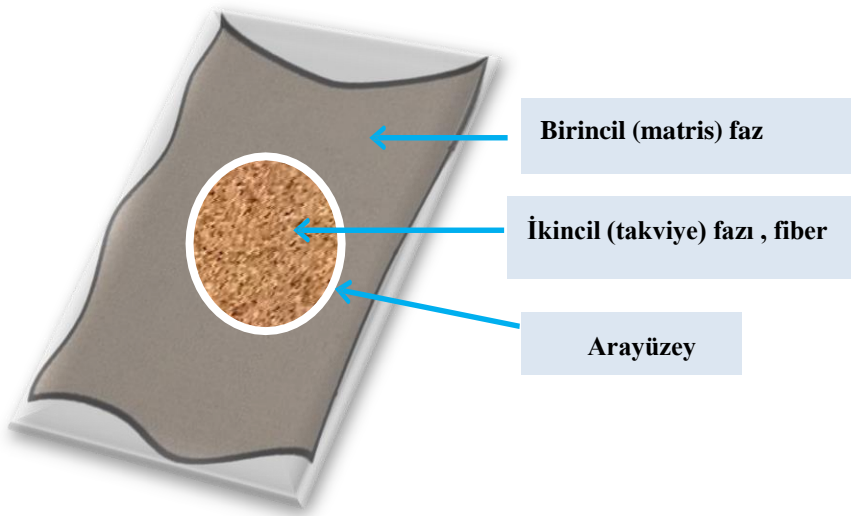
WO_3 400-500 °C

Şekil 1.5 WO_3 katısının farklı sıcaklıklarda renkleri

1.6 Kompozit malzemeler

Kompozit malzeme, bir malzemenin genellikle takviye sağladığı iki veya daha fazla malzemenin makroskopik, fiziksel bir kombinasyonudur. Kompozit malzemenin üretilmesindeki amaç, tek başına uygun olmayan, birbiri içerisinde çözünemeyen malzemeleri kullanım alanlarına uygun özellikleri verebilecek duruma getirmek için yeni özellikler katmaktır. Doğal kompozitler hem hayvanlarda hem de bitkilerde bulunur. Doğal kompozitlere örnek olarak ahşaplar ve kemikler verilebilir. Ahşabın bileşenler selüloz ve lignindir. Kemikler ise ağırlıklı $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ tan oluşan sert fakat kırılğan malzeme ve protein gibi yumuşak ve esnek malzemedir oluşur.

Çoğu kompozit malzeme iki ana bileşenden oluşur. Birincil faz sürekli ve **matris** olarak adlandırılırken, ikincil faz, genellikle süreksiz faz, **takviye** olarak adlandırılır. Matris fazı polimer, metal, metal alaşımı, seramik esaslı malzemelerden oluşabilir. Matris malzemeler kompozite tokluk ve süneklik özelliği kazandırır ve malzemeleri bir arada tutarlar. Takviye fazı ise; Çelik, karbür, aramid, naylon vb. malzemelerden oluşabilir. Kompozit malzemeler genelde dayanımlarını sert ve gevrek olan takviye malzemelerinden alırlar. Kompozitler; metal-metal, metal-seramik, metal-polimer, seramik-polimer, seramik-seramik veya polimer-polimer olabilir.



Şekil 1.6 Kompozit malzemeyi oluşturan matris ve takviye fazı (Composite Materials, 2013).

1.6.1 Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler (PMK), matrisi yüksek molekül ağırlıklı polimerik yapılar olan kompozit malzemelerdir. Bu kompozit malzemelerin matrisleri termoplastikler (poliolefinler, alifatik ve aromatik poliamidler, PTFE, v.s.), termosetler (fenoplastlar, aminoplastlar, epoksi, polyester, organosilikon ve diğer polimerik bağlayıcılar), elastomerlerdir (vulkanize doğal bütadien-akrilonitril kauçuğu, bütül kauçuğu ve diğer kauçuklar). Dolgu maddelerinin kullanılması orijinal polimerin mekanik, elektromagnetik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilir ve bazı durumlarda polimerin maliyetine kıyasla nihai kompozitin maliyetini düşürebilir.

Ayrıca, polimerik matrislerde takviye olarak seramik veya metalik partiküller de kullanılabilir. Bunlar; malzemenin modülünü artırır, ancak kuvvetinde önemli bir artış sağlamaz, hatta zayıflamasına neden olabilir. Yine de, elektronik sanayinde, fiziksel özelliklerinin yeterli olması nedeniyle partikül takviyeli polimerlerin kullanımı oldukça yaygındır. Bu tip uygulamalarda monolitik polimere seramik partiküller (alumina, alüminyum nitrid) ve hatta elmas takviyeler ilave edilerek termal iletkenliği yüksek, termal genleşme katsayısı düşük olan elektrik izolasyon malzemeleri yapılır.

1.6.2 Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozitler (SMK), seramik matrisle takviye fazların oluşturduğu iki veya daha fazla bileşenden oluşan malzeme olarak tanımlanır. “Seramik” terimi geniş bir inorganik malzemeler grubunu kapsar; silika bazlı camlar, kristalin seramikler, intermetalikler ve karbon gibi. Bunların tümü yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapısal malzemelerdir. Kimyasal bağları genellikle bir kovalent hibrid ve iyoniktir; dolayısıyla ergime noktaları yüksek, kimyasal stabiliteyi yüksek, elastik modülleri yüksek ve atomik hareketlilikleri düşüktür. Bu özelliklerinin sonucu olarak çok serttirler ve kaymaya dirençlidirler, fakat kırılırlar. Genel olarak kompozitteki fiber miktarının artması malzemenin kuvvetini ve çatlama dayanımını da artırır. CMC’lerin jet uçaklarında ve endüstride (fırın malzemesi, enerji dönüşüm sistemleri, gaz türbinleri ve ısı motorları gibi) kullanımı oldukça yaygındır.

1.6.3 Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler (MMK), esneyebilir bir metal matris ile takviye malzemelerden oluşan kompozitlerdir; matris daima bir metal olarak tanımlanırsa da metaller ve hafif metal alaşımlarıdır. Metal matris kompozitlerin çalışma sıcaklıkları 200-800 °C dolayındadır; bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamaları gerektiren ortamlara uygundur.

Pek çok polimer matris kompozitlere kıyasla metal matris kompozitlerin mekanik özellikleri, kayma ve sıkıştırma kuvveti daha yüksektir; ayrıca, yüksek sıcaklığa uyumu PMC'lerden daha iyidir. MMC'ler önemli miktarda su absorblamazlar, alevlenmezler, elektrik ve ısı iletkenlikleri yüksektir ve ışınlar karşı dirençlidir. En önemli dezavantajları takviye malzemeyle kimyasal ve mekanik uyumluluğunun zayıflığı ve reçine matrislere kıyasla işleme koşullarının daha sert olmasıdır.

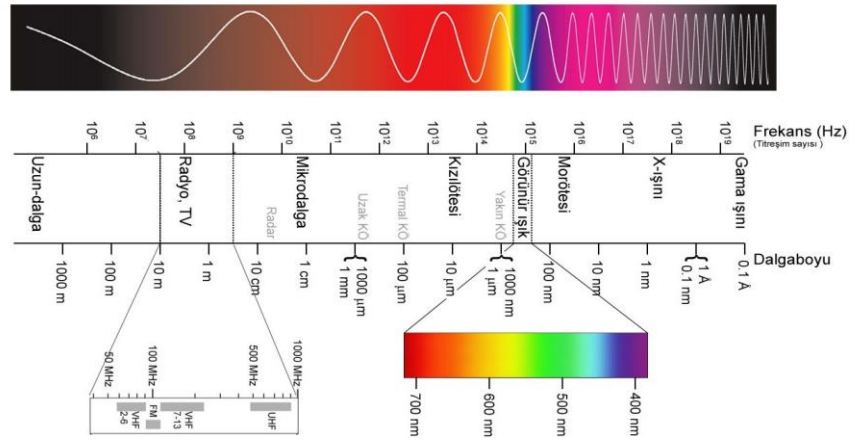
Alüminyum, magnezyum, titanyum ve bakır gibi metallerin alaşımları matris olarak kullanılan süper alaşımlardır. Takviye malzemeler partiküller, sürekli ve süreksiz fiberler ve whiskerler olabilir; bunlar, hacimce %10-60 arasında kullanılabilir. Tipik sürekli fiberler; karbon, silikon karbid, boron, alumina ve refraktör metallerdir. Süreksiz fiberler genellikle silikon karbid, whiskerler, kesilmiş fiberler (alumina ve karbon) ve partiküllerdir (SiC ve Al₂O₃). (bilsenbesergil.blogspot.com). Kompozit malzemeler uzun ömürleri, hafiflikleri, yüksek kimyasal ve mekanik dayanımları, kalıplama kolaylığı, yüksek dielektrik direnci, şeffaflık özelliği, korozyon dayanımı, çeşitlilik sağlaması, tasarım esnekliğinin olması, beton ve ahşap yüzeylere uygulanabilmesi, yanmazlık özelliği taşıması, sızdırmazlık (su izolasyonu), ısı ve UV ışınlarına dayanım ve montaj kolaylığı gibi pek çok üstün özelliklerinden dolayı tercih edilirler. Fakat en büyük dezavantajı maliyetinin yüksek olmasıdır. Elde edilen ürün daha verimli olmasına rağmen, kompozitlerin üretiminde kullanılan hammaddeler genellikle pahalıdır.

Kompozit malzemeler bu üstün özelliklerinden dolayı sanayide ve günlük hayatımızda birçok alana öncülük etmektedir. Kompozit malzemeler; denizcilik sektöründe, uzay teknolojisinde, tıp alanında (tıbbi cihazların imalatında), robot teknolojisi, kimya sanayisi, elektrik-elektronik teknolojisi, müzik aletleri

endüstrisi, inşaat ve yapı teknolojisi, otomotiv teknolojisi, savunma sanayi ve havacılık sektörü, gıda ve tarım sektörü, spor malzemeleri imalatı (yüksek atlama sıırıkları, tenis raketleri, sörf, yarış tekneleri, kayak vs.) kullanılmaktadır.

1.7 Gama ışını

Gama ışınları olarak da bilinen gama radyasyonu, yüksek frekanslı ve yüksek enerjili elektromanyetik radyasyondur ve bu nedenle çok kısa dalga boyuna (10^{-3} A^0 ila 1 A^0) sahiptir. Elektrik yükü yoktur ve elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.(R Nuclear Physics 2nd edition, 2011) Gama ışınları iyonlaştırıcı özelliktedir ve bu nedenle biyolojik olarak tehlikelidir. Gama ışınları, son derece kararsız yüksek enerjili atom çekirdeğinin bozunmasıyla oluşur. Gama ışınları, doğal olarak oluşan radyoaktif izotoplardan ve kozmik ışın parçacıkları atmosferik etkileşimleri ile ikincil radyasyonlar sonucu meydana gelir. Gama ışınları, Brehmsstrahlung mekanizması, ters Compton saçılması ve Senkrotron radyasyonu ile ikincil gama ışınlarına neden olan çok yüksek elektron enerjisinin üretildiği astronomik süreç sayısına göre üretilir. Gama ışınları tipik olarak 10^{19} exahertz'in (veya $>10^{19}$ Hz) üzerindeki frekanslara sahiptir ve bu nedenle 100 keV 'in üzerinde enerjiye ve 10 piko-metreden daha az dalga boylarına (bir atomun çapından daha az) sahiptir.



Şekil 1.7 Elektromanyetik Spektrum

1.8 Gama ışın kaynağı

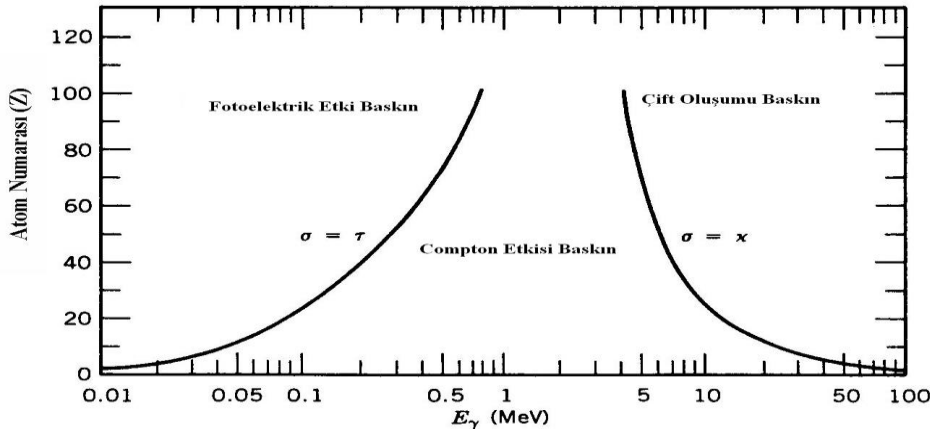
Dünyadaki doğal gama ışınlarının kaynakları, doğal olarak oluşan potasyum-40 gibi radyoizotoplardan gama bozunmasını içerir. Yüksek enerjili gama ışını farklı işlemlerle ikincil gama ışınları üretir. Bu astronomik gama

ışınlarının büyük bir kısmı dünya atmosferi tarafından taranıp ve uzay aracı tarafından tespit edilmelidir. Gama ışınlarının önemli bir yapay kaynağı, nükleer reaktörlerde ve nükleer pion bozunması ve nükleer füzyon gibi yüksek enerjili fizik deneylerinde meydana gelen fisyonu içerir. X-ışını tüpleri tarafından yayılan elektromanyetik radyasyonların neredeyse her zaman radyoaktif çekirdeklerin yaydığı gama ışınlarından daha uzun bir dalga boyu vardır (Physics for Diagnostic Radiology, 1999).

X-ışını ve gama ışınları dalga boyu temelinde ayırt edilebilir. Radyasyon ile 10^{-11} m gibi dalga boylarından daha kısa şınlar gama ışınları olarak tanımlanır (Handbook of Chemistry and Physics, 1961). X-ışınlarının ve gama ışınlarının sınıflandırılması kökenlerine göre yapılabilir. X ışınları, çekirdeğin dışındaki elektronlar tarafından yayılır. Gama ışınları çekirdeğin yaydığı ışınlardır. (Claus vd., 2005).

1.9 Gama ışınlarının madde ile etkileşimi

Gama ışınları madde ile 3 yolla etkileşir. **1-Fotoelektrik Etki 2. Compton Saçılması 3. Çift oluşumudur.** Gama ışınlarının madde ile etkileşimi fotonlarının enerjisi ve etkileştikleri malzemenin atom numarası ve yoğunluğuna bağlıdır. Düşük enerjilerdeki ve yüksek atom numarasına (Z) sahip malzemeleriyle fotoelektrik etki ana etkileşim sürecidir. Ara enerjilerde ve düşük atom numarasına(Z) sahip malzemelerde Compton saçılması daha olasıdır. Çok yüksek enerjilerde Çift oluşumu en baskın etkileşim sürecidir.

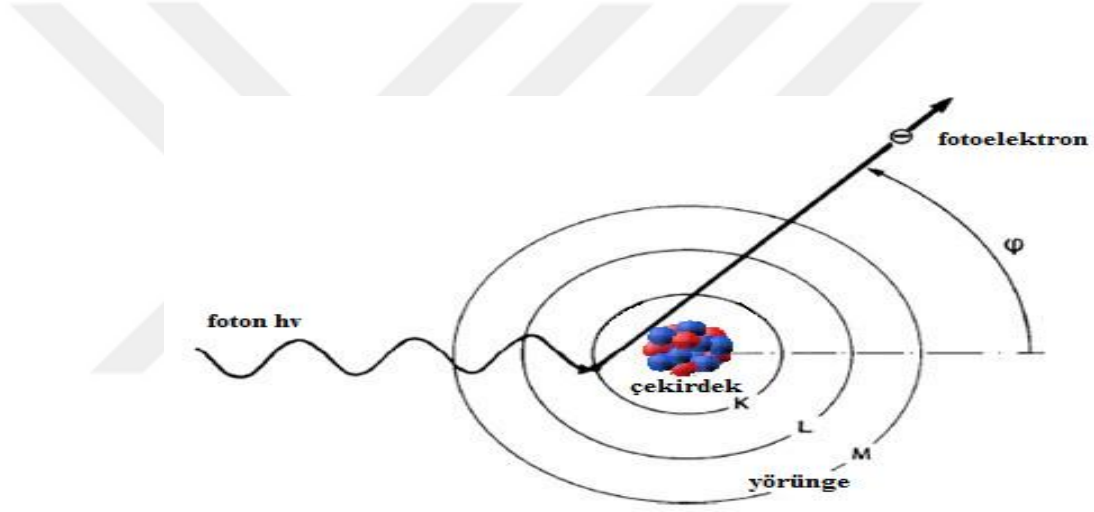


Şekil 1.8 Elektromanyetik radyasyon etkileşmelerinin soğurucunun atom numarasına ve radyasyonun enerjisine göre değişimi (Emrah Kuloğlu; Yüksek Lisans Tezi 2014).

1.9.1 Fotoelektrik Etki

Böyle bir etkide foton atomla etkileştiğinde, etkileştiği atomun yörüngesindeki bir elektron tarafından tamamen soğurulur. Buradaki fotonun enerjisi yörüngedeki elektronun bağlanma enerjisinden (E_B) yüksek ise elektron yörüngeyi aradaki fark kadar bir kinetik enerji (E_K) ile dışarı atılır. Bu olayda atomdan dışarı atılan elektrona, **fotoelektron** denir. Bir elektronunu kaybeden atom da iyonize olabilir. Fotoelektrik süreçte bir foton tüm enerjisini bir elektrona aktarır (foto elektronlar, fotoelektrik-etkide bir malzemedен çıkarılan elektronlar), daha sonra bu elektronlar atomdan uzaklaştırılır.

$$E_K = h\nu - E_B$$



Şekil 1.9 Fotoelektrik etki (Practical Gamma ray spectrometry, 2008).

1.9.2 Compton saçılması

Compton etkisinin karakteristiği, gelen fotonun toplam enerjisinin sadece bir kısmının bir elektrona aktarılmasıdır. Foton tarafından elektrona verilen enerjinin miktarı, saçılma açısına ve fotonun başlangıçtaki enerjisiyle değişir. Compton elektronu (geri tepme elektronu) olarak adlandırılan serbest elektron, elektrona aktarılan enerjiye bağlı olarak belirli bir hıza ulaşır. Enerjinin geri kalanı, başka bir yönde daha düşük enerjinin bir fotonu olarak devam eder ve bu nedenle saçılmış bir foton olarak adlandırılır. Düşük enerji nedeniyle saçılan foton orijinalinden daha uzun bir dalga boyuna sahiptir.

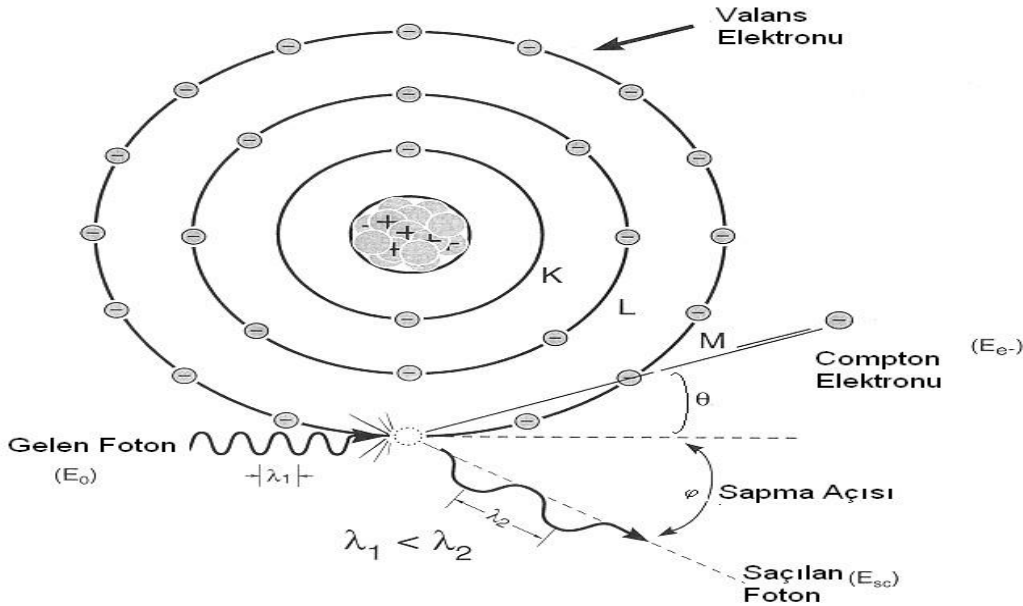
Compton işlemi fotonun enerjisi fotoelektrik prosesin sınır değerini geçtiğinde gerçekleşir. İmpuls ve enerji; Compton elektronu ve saçılan foton arasında bölündüğünden, impulsun korunması yasasına uyulur ve işlem dış kabuklardan gelen elektronlarla da gerçekleşir. Bu nedenle, malzemenin atom numarası (Z) daha az etkilidir. Serbest bırakılan Compton elektronları, enerji içeriğine bağlı olarak, rotaları boyunca diğer atomları iyonize edebilir. Saçılan foton yoluna devam eder ve enerji, fotoelektrik bir işlemin gerçekleşeceği ölçüde azaltılana kadar Compton süreçlerine girmeye devam eder. Ancak o zaman foton kaybolur. Elektronun bağlama enerjisi gama ışını enerjisine kıyasla çok küçük olduğundan, elektronun kinetik enerjisi gama tarafından kaybedilen enerjiye neredeyse eşittir.

$$E_e = E_\gamma - E'$$

E_e :saçılan elektronun enerjisi

E_γ : gelen gama fotonunun enerjisi

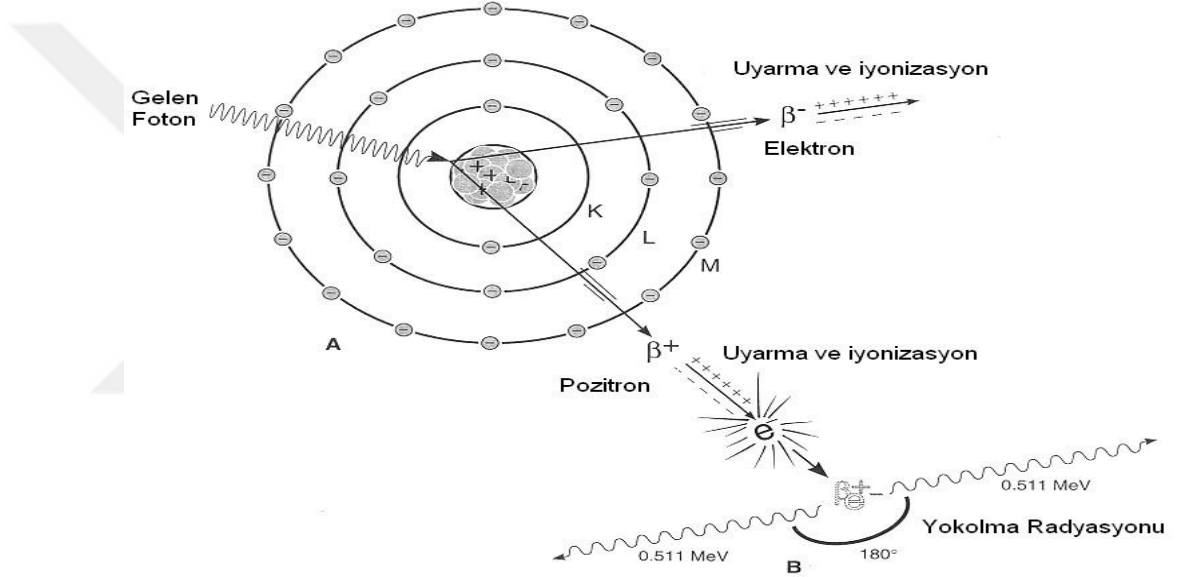
E' : saçılan gama fotonunun enerjisi



Şekil 1.10 Compton saçılması (Emrah Kuloğlu; Yüksek Lisans Tezi 2014).

1.9.3 Çift oluşumu

Enerjisi 1.022 MeV den büyük fotonlar için çift oluşmu Compton sürecine alternatif olarak ortaya çıkabilir. Böyle yüksek enerjilik bir foton bir çekirdeğe yaklaştığında, enerjinin kütleye dönüşümü, çekirdeğin elektrik alanı nedeniyle ortaya çıkabilir. Bununla foton, aynı kütleyle sahip bir elektron ve bir pozitron haline dönüştürülür, ancak ters yüklüdür. Foton enerjisi ise, örneğin, 2 MeV, $2 \times 0.511 = 1.022$ MeV elektron-pozitron çiftine gider ve geri kalan (0.978 MeV) elektron ve pozitron arasında kinetik enerji olarak bölünür. Orijinal fotonun tamamen kaybolduğu bu süreçte, impulsun fazlası çekirdeğe aktarılır.



Şekil 1.11 Çift Oluşumu (Emrah Kuloğlu; Yüksek Lisans Tezi 2014).

Gama ışınının madde ile etkileşim sonucu meydana gelen 3 olaydan sadece fotoelektrik etki sonucunda oluşan foto elektronun enerjisi ilk fotonun enerjisi kadardır. Bu etkileşimlerin tümünün gerçekleşme olasılığı atom numarasının (Z) artışı ile artacaktır. Diğer bir deyişle atom numarası arttıkça gelen foton enerjisini daha çok kaybedeceğinden, yüksek atom numarasına sahip elementler (Ör; Kurşun, Z: 82, Bizmut, Z:83 Tungsten, Z:74) gama ışınları için iyi bir zırhlama materyali olarak kullanılabilir.

1.10 Soğurma

Bir malzeme tabakasından geçen bir foton ışını geniş açı ile saçılabilir veya soğurulabilir. Bu soğurma fotonların soğurucu maddenin atomları ile etkileşmesi sonucu iki olayla gerçekleşir. Birincisi; Elektronik soğurmadır yani fotonların atomlarla etkileşimi sonucu elektronik geçişlere neden olması ile gerçekleşir. İkincisi ise; Fotonların atomlardan saçılması ile gerçekleşen soğurma olayıdır. Saçılan fotonlar, gelen fotonla aynı dalgaboyuna (koherent saçılma sonucu) veya saçılan fotona oranla daha uzun dalgaboyuna (inkoherent saçılma sonucu) sahip olur.

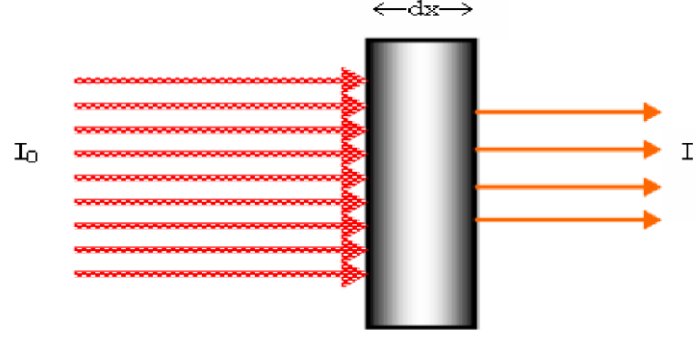
Bu etkiler göz önünde alındığında toplam soğurma katsayısı;

$$\mu = \tau + \sigma$$

olarak bulunur. Bu denklemde, τ fotoelektrik soğurma katsayısı , σ ise saçılma soğurma katsayısıdır.

1.11 Lineer Soğurma Katsayısı

Lineer soğurma katsayısı, belirli bir malzemedan geçerken bir enerji ışınının yoğunluğunun ne ölçüde azaldığını açıklar. Lineer soğurma katsayısı, foton etkileşimlerini arttırmada, birim kalınlık başına belirli bir malzemenin etkinliği hakkında bilgi verir. Lineer soğurma katsayısının büyüklüğü, foton enerjisi ile malzemenin kalınlığına ve yoğunluğuna göre değişirken, soğurma katsayısının spesifik değerleri, aynı malzemenin soğurulmasında farklı foton enerjilerine bağlı olarak değişim gösterecektir. Genel olarak, yüksek lineer soğurma katsayısı değerleri foton enerjisi azaldıkça gözlenir. Bu olayın nedeni, lineer soğurma katsayısının her biri farklı foton etkileşimine bağlı olan üç ana bileşenden oluşmasıdır. Daha düşük enerjide, fotoelektrik etki görülürken, ara enerjilerdeki etkileşim, Compton saçılmasıdır. Son olarak, daha yüksek enerjilerde baskın etkileşim çift oluşumdur, bu süreç 1.022 MeV enerjide meydana gelir. Böylece, düşük enerjilerde fotoelektrik katkı azalır, soğurma artar.



Şekil 1.12 Işınlayıcı radyasyonun (x-ışını, γ-ışını,) dx kalınlıklı bir maddeden geçerken soğurulması (Emrah Kuloğlu; Yüksek Lisans tezi 2014).

Soğurma işlemi; I_0 şiddetli bir fotonun (x-ışını, γ-ışını,) soğurucu bir maddenin dx kalınlığındaki bir tabakasından geçerken şiddetinde dI kadar bir azalma olur ve bu azalma soğurucunun kalınlığı ile orantılıdır.

$$dI = -\mu dx$$

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx$$

Denklemden μ (cm^{-1}) lineer soğurma katsayısıdır ve birim kalınlık üzerine enerji soğurma kesri olarak tanımlanır. Lineer soğurma katsayısı, soğurucu maddenin atom numarasına (Z) ve gelen fotonun (I_0) enerjisine bağlıdır. Bu denklemden x kalınlığı üzerinden integralini alırsak,

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\int_0^x \mu dx$$

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Lambert Beer yasası ifadesi elde edilir. Denklemden de lineer soğurma katsayısı (μ)

$$\mu = x^{-1} \ln(I_0 / I)$$

olarak bulunur. (Practical Gamma ray spectrometry, 2008).

1.12 Kütle Soğurma Katsayısı

Lineer soğurma katsayısının (μ) yoğunluğa (g/cm^3) oranı kütle soğurma katsayısı (cm^2/g) olarak adlandırılır. I_0 şiddetli dar bir ışın demetine sahip mono-enerjik fotonların kütle kalınlığı t ve yoğunluğu olan bir malzeme tabakasına nüfuz etmesi aşağıdaki ilişki ile verilmiştir.

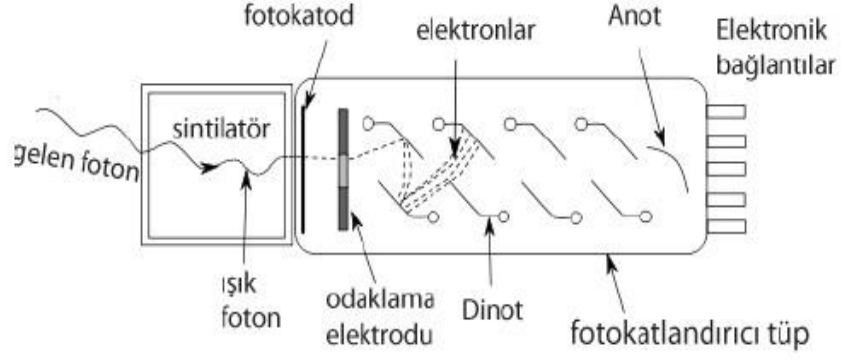
$$I/I_0 = \exp \left[-(\mu/\rho) x \right]$$

$$\mu/\rho = x^{-1} \ln (I_0/I)$$

Kütle soğurma katsayısının, gelen foton yoğunluğu I_0 , iletilen foton yoğunluğu I ve soğurucu madde kalınlığının (t) ölçülen değerlerinden elde edilebileceği görülmektedir. Soğurucu madde kalınlığı, birim alan başına kütle olarak tanımlanır ve kalınlık(t) ve soğurucu maddenin yoğunluğunun (g/cm^3) çarpılmasıyla elde edilir. ($x=p.t$) μ/ρ değeri, özellikle kristalografik foton enerji sisteminde çeşitli deneysel tekniklerden elde edilebilir, son zamanlarda kristalografi birliğinin (IUCR) bir parçası olarak Ceragh ve Hubble tarafından incelenmiş ve değerlendirilmiştir. (Hubble, 1990; Seltzer 1987).

1.13 NaI(Tl) dedektörü

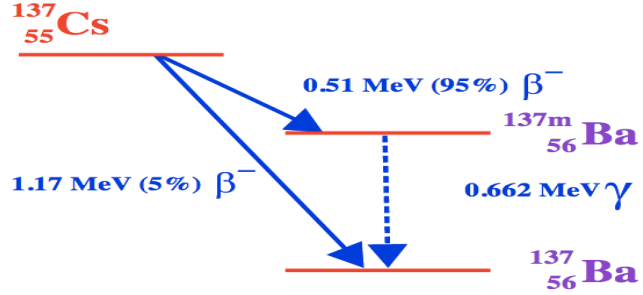
Talyumla aktive edilen sodyum iyodür dedektörü veya NaI(Tl) dedektörü, küçük bir ışık flaşı veya bir sintilasyon üreterek gama ışınına tepki verir. Sintilasyon, fotonun enerjisi ile uyarılan sintilatör elektronlar, temel hale geri döndüğünde ortaya çıkar. Dedektör kristali, sintilasyonu bir elektrik darbesine dönüştüren bir fotoçoğaltıcı tüpüne monte edilir. Fotokatodun ilk pulsu çok küçüktür ve büyük bir puls elde etmek için bir dizi dynod ile birden çok aşamada güçlendirilir.



Şekil 1.13 Sintilatör ve fotoçoğaltıcı tüp

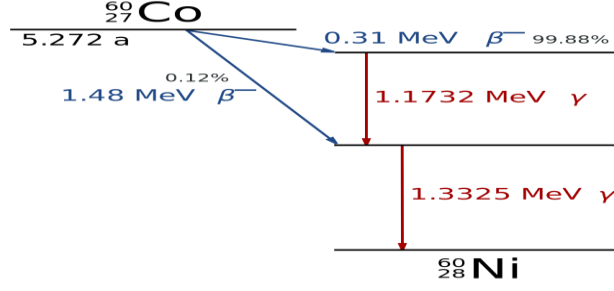
1.14 ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1172 ve 1332 keV) nokta kaynakları

Sezyum-137 (^{137}Cs), ya da radyosezyum, uranyum-235'in nükleer fisyonu ile venükleer reaktörlerde ve nükleer silahlarda diğer bölünebilir izotoplardan meydana gelir. Sezyumun en yaygın kimyasal bileşiklerinin tuzları olan suda yüksek miktarda çözünmesi nedeniyle doğada kolayca yayılır. Sezyum-137 yaklaşık 30.17 yıllık bir yarı ömre sahiptir. Yaklaşık %95 beta emisyonu yaparak Ba-137 izomerine dönüşür. (Gamma Radionuclides and X Ray Spectrometry, 2015).



Şekil 1.14 Sezyum-137'nin radyoaktif bozunması

Kobalt-60, (^{60}Co) iki enerjilik gama ışınına sahip bir beta parçacığı yayarak 5.3 yıllık yarı ömrü ile bozulur; bu iki gama ışınının kombine enerjisi 2.5 MeVdir. Bunlardan biri 1.2 MeV, diğeri 1.3 MeV enerjisine sahiptir.



Şekil 1.15 Kobalt-60'ın radyoaktif bozunması

1.15 Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

Yarı değer kalınlığı veya yarı değer katmanı, ışık şiddetinin orijinal büyüklüğünün yarısına indiren malzemenin kalınlığıdır (Radiation Therapy Planning, 1992). Soğurucu kalınlığı HVL ye eşdeğer olduğunda, N/N_0 $1/2$ 'ye eşittir.

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

1.16 Ortalama Serbest Yol (MFP)

Ortalama serbest yol tek bir parçacığın etkileşmeden önce belirli bir soğurucu ortamdaki geçtiği ortalama mesafedir. Aynı zamanda, bir ışık içindeki büyük bir homojen parçacık popülasyonunun $1/e$ (~%37) fraksiyonunun nüfuz edebileceği derinliktir. Lineer soğurma katsayısı ortalama serbest yol ile ters ilişkilidir (Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, 1986).

$$\lambda = 1/\mu$$

1.17 Onda Bir Kalınlık (TVL)

Onda bir kalınlık (TVL), gelen fotonun yoğunluğunu onda bire indirmek için gerekli absorpsiyon kalınlığıdır. (Gökçe, 2018; Akkurt, 2010).

$$x_{1/10} = \ln 10 / \mu$$

2. DENEYSEL KISIM

2.1 Materyaller

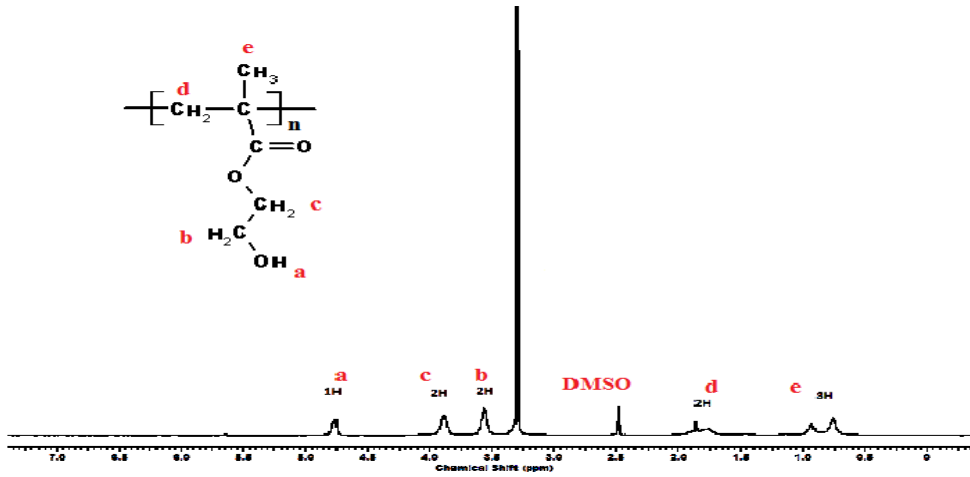
2-hidroksietil metakrilat (HEMA, % 99, Sigma Aldrich), Stiren (% 99, Sigma Aldrich), Azobisisobütironitril (AIBN, % 99, Sigma-Aldrich), Dietyl eter (% 98, Sigma-Aldrich), Etil alkol (% 99, Sigma-Aldrich), Tetrahidrofuran (THF,% 99.8, J.T. Baker), Sodyum Tungstat ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, % 99, Merck), Metil alkol (% 99, Sigma Aldrich), Hidroklorik asit (HCl, % 37, Merck), N-N, Dimetilformamid (DMF, +% 99, Aldrich).

2.2 Kullanılan Cihazlar

^1H -NMR spektrumları, iç standart olarak $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ ile CDCl_3 'de Varian AS-400 spektrometrelerinde, FT-IR spektrumları Perkin Elmer FTIR Spektrumu One-B spektrometresinde kaydedildi. Doğrusal polimerlerin moleküler ağırlıkları ve polidispersiteleri, bir pompa, üç ViscoGEL GPC kolonunu (G2000HHR, G3000HHR ve G4000HHR), bir Viscotek UV detektörünü ve bir Viscotek UV detektörünü içeren bir Viscotek GPCmax otomatik numune alma sistemi kullanılarak jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) ile belirlendi. Tungsten(VI) oksitin mikroyapı ve faz karakterizasyonu taramalı elektron mikroskopu (SEM, Thermo Scientific Apreo S) ile yapılmıştır. X ışını kırınım analizleri (PANALYTICAL Empyrean diffractometer) cihazı ile 2-Theta açısı tarandı.

2.2.1 Poli(2-Hidroksietil Metakrilat)'ın Sentezi Poli(HEMA)

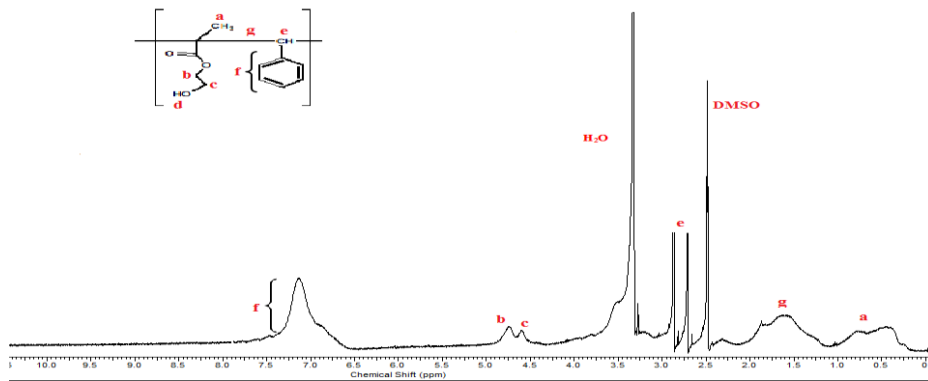
2-hidroksietil metakrilatın(HEMA) serbest radikal polimerizasyonu için iki boyunlu boş bir balona önce vakum uygulandı sonra içerisinden azot gazı geçirildi. 3.0 mL (0,024 mol) HEMA, 6 mL (0,103 mol) etil alkol balon içerisinde çözüldükten sonra, bu çözeltiye 0.18 g (0,001 mol) AIBN ilave edildi. Balondaki çözelti oda sıcaklığında 30 dk karıştırıldı. Sıcaklık 70 °C 'ye yükseltildi ve reaksiyona 30 dk devam edildi. Elde edilen çözelti dietileterde iki kez çöktürüldü ve kurutuldu tartıldı. Elde edilen Poli(HEMA)'nın yapısı ^1H NMR ve FTIR spektroskopisi ile doğrulandı(Şekil 2.1 ve 2.4) $M_n=9500$ g/mol PDI=2.2 .



Şekil 2.1 Poli(2-hidroksietilmetakrilat)'ın ¹H-NMR Spektrumu

2.2.2 Poli(2-Hidroksietil Metakrilat-*ko*-Stiren)'in Sentezi Poli(HEMA-*ko*-S)

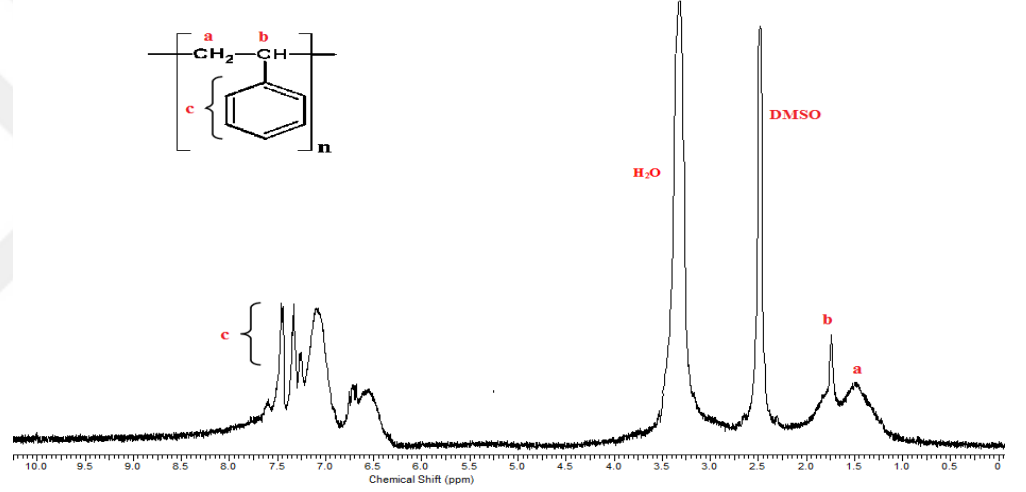
2-Hidroksietilmetakrilat ve Stiren'in serbest radikal polimerizasyonu için iki boyunlu boş bir balona önce vakum uygulandı sonra içerisinden azot gazı geçirildi. 3.0 mL (0,024 mol) HEMA, 3.0 ml (0,026 mol) Stiren 12 ml (0,148 mol) tetrahidrafuran (THF) balon içerisinde çözüldükten sonra, bu çözeltiye 0.36 g (0,002 mol) AIBN ilave edildi. Balondaki çözelti oda sıcaklığında 30 dk karıştırıldı. Sıcaklık 70 °C'ye yükseltildi ve reaksiyona 120 dk devam edildi. Elde edilen çözelti dieterlerde iki kez çöktürüldü, kurutuldu ve tartıldı. Elde edilen poli(HEMA-*ko*-S)'nın yapısı ¹HNMR ve FTIR spektroskopisi ile doğrulandı(Şekil 2.2 ve 2.4) Mn=17100 g/mol PDI=2.2



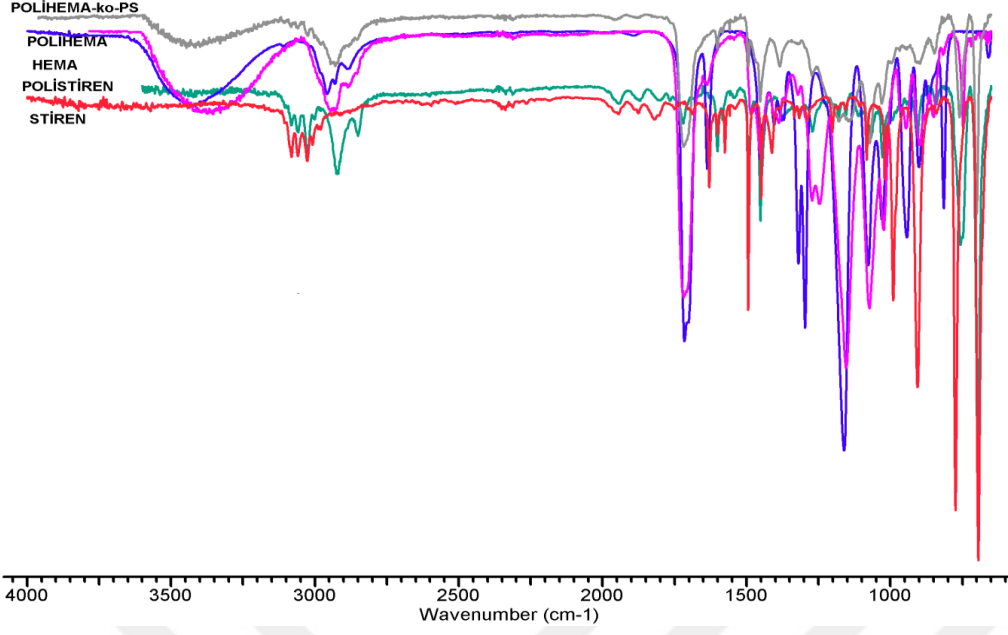
Şekil 2.2 Poli(2-hidroksietilmetakrilat-*ko*-stiren)'in ¹H-NMR Spektrumu

2.2.3 Polistiren'in sentezi (PS)

Stirenin serbest radikal polimerizasyonu için iki boyunlu boş bir balona önce vakum uygulandı sonra içerisinde azot gazı geçirildi. 3.0 ml (0,026 mol) stiren 6 ml (0,074 mol) tetrahidrafuran (THF) balon içerisinde çözüldükten sonra, bu çözeltiye 0.18 g (0,001mol) AIBN ilave edildi. Balondaki çözelti oda sıcaklığında 30 dk karıştırıldı. Sıcaklık 70 °C 'ye yükseltildi ve reaksiyona 150 dk devam edildi. Elde edilen çözelti metanolde iki kez çöktürüldü, kurutuldu ve tartıldı. Elde edilen PS'nin yapısı ¹H-NMR ve FTIR spektroskopisi ile doğrulandı(Şekil 2.3 ve 2.4) Mn=7900 g/mol PDI=1.66

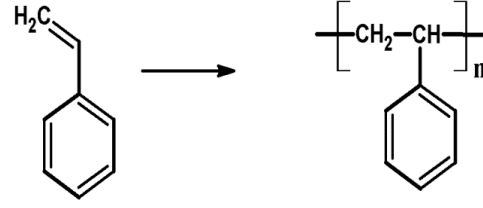


Şekil 2.3 Polistiren'in ¹H-NMR Spektrumu



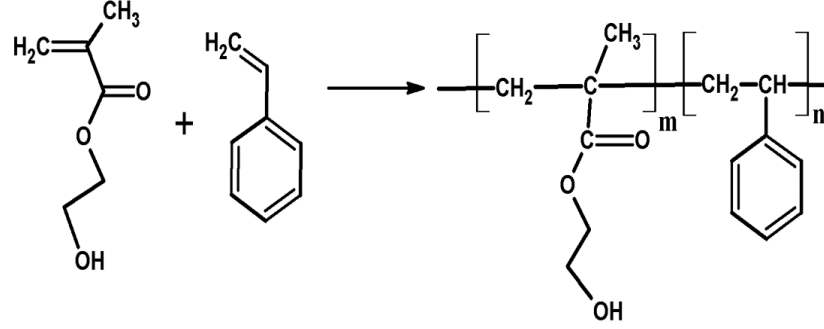
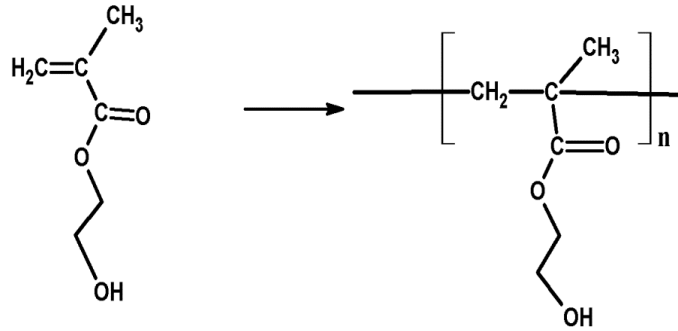
Şekil 2.4 Poli(2-hidroksietilmetakrilat-*ko*-stiren), Poli(2-hidroksietilmetakrilat), polistiren, stiren ve 2-hidroksietilmetakrilat monomerlerinin FTIR spektrumları

Poli(2-hidroksietilmetakrilat), poli(2-hidroksietilmetakrilat-*ko*-stiren), polistiren ve stiren, 2-hidroksietilmetakrilat monomerlerinin FTIR spektrumları şekil2.4'de verildi. Şekil 2.4 incelendiğinde; Stiren ve 2-hidroksietilmetakrilat(HEMA) monomerlerindeki 1500-1600 cm⁻¹ C=C sp² gerilme piki polimerlerde gözlenmediği yani vinil grubundaki çifte bağın polimerizasyon sırasında kaybolduğu gözlemlendi.



STİREN

POLİSTİREN

2-HİDROKSİETİLMETAKRİLAT STİREN POLİ(2-HİDROKSİETİLMETAKRİLAT-*ko*-STİREN)

2-HİDROKSİETİLMETAKRİLAT

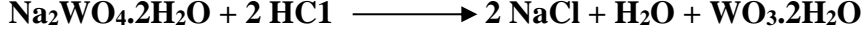
POLİ(2-HİDROKSİETİLMETAKRİLAT)

Şekil 2.5 Poli(HEMA-*ko*-S), Poli(HEMA) ve PS nin Sentezi

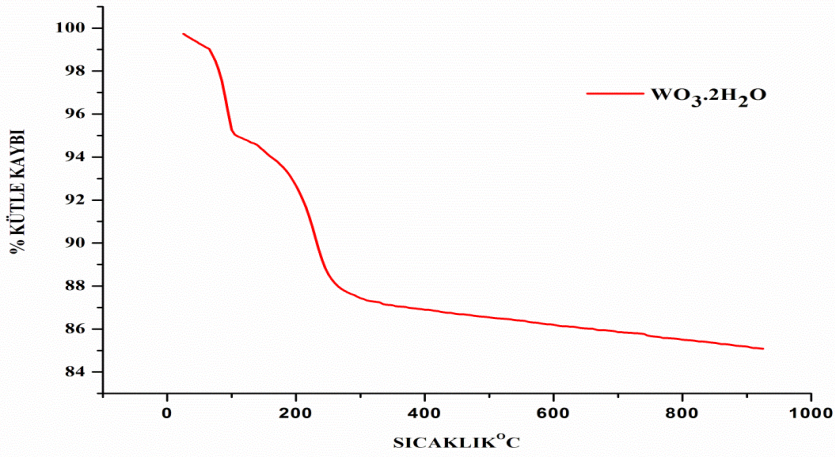
2.3 WO₃.2H₂O'nun Hazırlanması

WO₃.2H₂O, Mecheri yöntemine göre sodyum tungstat 2 hidratın asidik hidrolizi yoluyla hazırlandı (Mecheri vd., 2006). Bu prosedürde 50 mL 1 mol/L (doymuş) sodyum tungstat dihidrat (Na₂WO₄.2H₂O %99) çözeltisi balon jodede hazırlandı ve damlatma hunisine aktarıldı. Daha sonra 5 °C' ye kadar soğutulmuş 450 mL 3 mol/L HCl çözeltisi içerisine damla damla ilave edildi. Hemen beyaz

bir çökelek oluştu ve 30 dakika içinde rengi sarıya döndü. Çökelti süzüldü ve 250 mL 0.1 mol/L seyreltik HCl ile yıkandı. Bu şekilde elde edilen sarı toz etüvde kurutuldu ve tartıldı (Verim: %90).



Şekil 2.6 Tungsten(VI) Oksitin Hazırlanışı



Şekil 2.7 $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'in Termal Bozunma Eğrisi

2.4 Polimer-Tungsten(VI)oksit ($WO_3 \cdot 2H_2O$) kompozitlerinin oluşturulması

Polimer ve tungsten(VI) oksit kompozitleri, Polimer ile $WO_3 \cdot 2H_2O$ N-N, dimetilformamid (DMF) içerisinde çözüldü ve 2 saat boyunca $60^\circ C$ 'de karıştırılarak hazırlandı. Polimer ve tungsten(VI) oksit çözeltileri, $WO_3 \cdot 2H_2O$ 'nun ağırlıkça % 10 ila 50 arasında değiştirilmesiyle oluşturuldu. Çözeltiler silikon kalıpların üzerine döküldü, ve sonra kompozitler önce $80^\circ C$ ' de 24 saat boyunca kürlendi ve ardından 24 saat boyunca $100^\circ C$ 'de kurutuldu.

Poli(HEMA) + Tungsten(VI) oksit \longrightarrow PHEMA-Tungsten(VI) oksit kompozitleri
(10%-20% -30%-40%-50% oranlarda) $80-100^\circ C$ DMF



Şekil 2.8 Poli(HEMA) kompozitleri

Poli(HEMA-*ko*-S)+ Tungsten(VI) oksit \longrightarrow Poli(HEMA-*ko*-S)-Tungsten(VI)oksit kompozitleri (10%-20% -30%-40%-50% oranlarda) $80-100^\circ C$ DMF



Şekil 2.9 Poli(HEMA-*ko*-S) kompozitleri

PS+Tungsten(VI) oksit \longrightarrow PS-Tungsten(VI)oksit kompozitleri
(10%-20% -30%-40%-50% oranlarda) 80-100°C DMF



Şekil 2.10 PS kompozitleri

2.5 Polimer Kompozitlerinin Morfolojisi

Polimerik kompozitlerde $WO_3 \cdot 2H_2O$ partiküllerin dağılım durumunu araştırmak için Thermo Scientific Apreo S Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanıldı. Polimerlerin, Tungsten oksitin ($WO_3 \cdot 2H_2O$) ve 50% tungsten oksit içeren polimerlerin SEM görüntüleri (bkz. Şekil. 3.1, 3.2, 3.3) gösterildi.

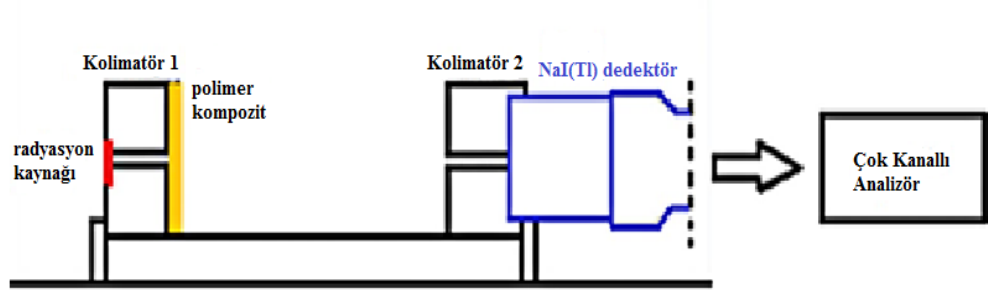
2.6 Tungsten(VI)oksitin Kristallığı

Tungsten(VI) oksitin $WO_3 \cdot 2H_2O$, XRD spektrumu, (Bkz. Şekil 3.4) $WO_3 \cdot 2H_2O$, iyi kristallenme sergilediği ve belirgin kırınım piklerine sahip olduğu görüldü. Sentezlemiş olduğumuz hidratlanmış tungsten(VI) oksidin yapısal verisinin literatür ile uyumlu olduğu gözlemlendi(Berger vd., 2012).

2.7 Gama Işını Lineer Soğurma Katsayılarının Ölçülmesi

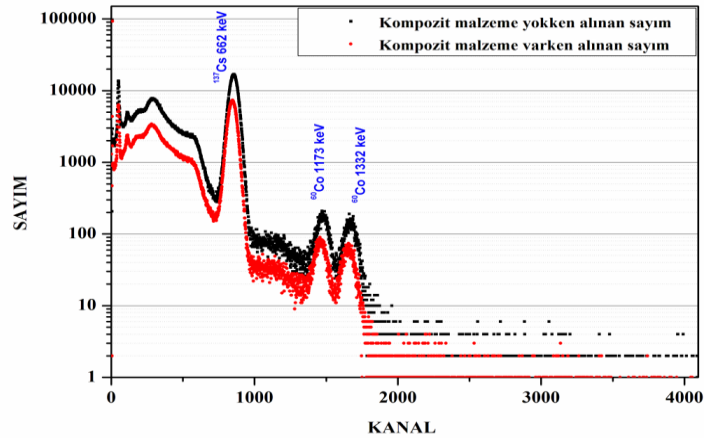
Kompozitlerin lineer soğurma katsayıları, bir fotomultiplier tüpüne, ön amplifikatöre, spektroskopi amplifikatörüne ve PC-tabanlı çok kanallı pulse yüksekliği analizörüne birleştirilmiş bir CANBERRA 3 x 3 " NaI (Tl) sintilasyon detektörü içeren gama spektroskopi sistemi kullanılarak ölçüldü. Detektörün enerji çözünürlüğü, ^{137}Cs 'nin 661.66 KeV gama enerjisi için % 7.5 idi. Detektör içten 1,5 mm bakır folyoyla kaplı 110 mm kalınlığında kurşun tuğlalarla korundu. Detektör korumasına ek olarak, detektörü havadaki veya koruyucu

malzemelerdeki herhangi bir saçılmış radyasyondan korumak ve numunelerden dar paralel ışınlar olarak geçen gama ışınlarını sağlamak için bir kolimatör düzeni kullanıldı. Işınlama için ^{137}Cs (662 keV) ve ^{60}Co (1172 ve 1332 keV) IAEA nokta kaynakları kullanıldı ve gama kaynakları detektörden 20 cm uzağa yerleştirildi.

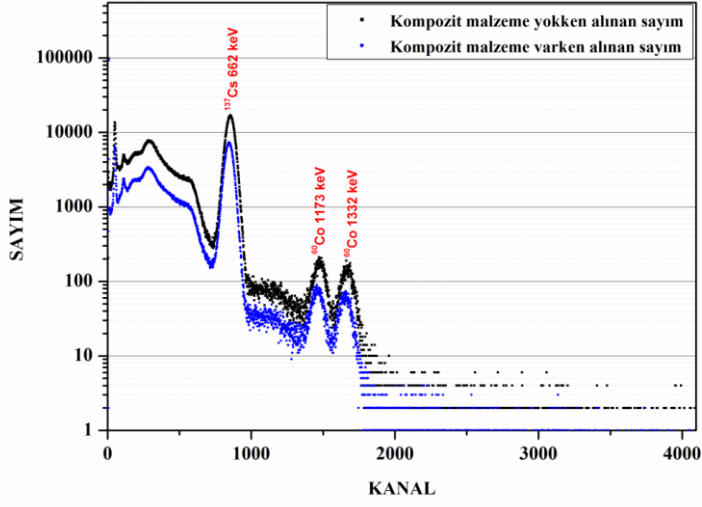


Şekil 2.11 Deney sisteminin şematik görünüşü

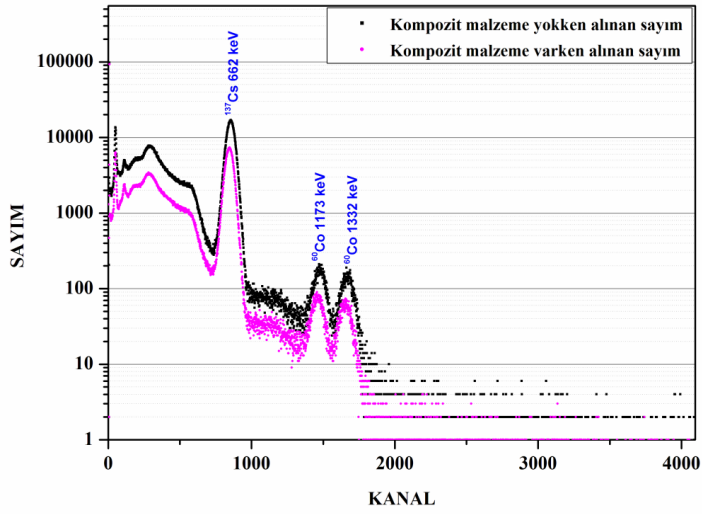
Polimerler ve ağırlıkça (% 10 ila 50) WO_3 - Polimer kompozit numuneler için ölçüm süresi 900 saniye olarak belirlendi. İlk olarak ortamda hiç radyoaktif kaynak yok iken background (artortam) ölçümleri yapıldı. Daha sonra, gama kaynağı ile dedektör arasında hiçbir soğurucu kompozit numune yokken (I_0) sayımı alındı. Ardından, farklı kalınlıklarda (~ 1, 2 ve 3 mm) tüm kompozitler için (I) sayımları alındı. Tüm sayımlarda background düzeltmeleri yapıldı.



Şekil 2.12 Poli(HEMA)-50% WO_3 kompozitinin gama spektrumu



Şekil 2.13 Poli(HEMA-ko-S)-% 50 WO₃ kompozitinin gama spektrumu



Şekil 2.14 PS-50% WO₃ kompozitinin gama spektrumu

Kompozitlerin lineer soğurma katsayıları kompozit malzemeler yokken alınan sayım(I_0) ve kompozit malzemeler varken alınan sayım(I) olmak üzere Hubbell'ın (Hubbell vd., 1999) çalışmasında belirttiği gibi Bouguer-Lambert-Beer üstel soğurma yasasına göre aşağıda verilen denklem ile hesaplandı.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

(Denklem 1)

Bu denklemde,

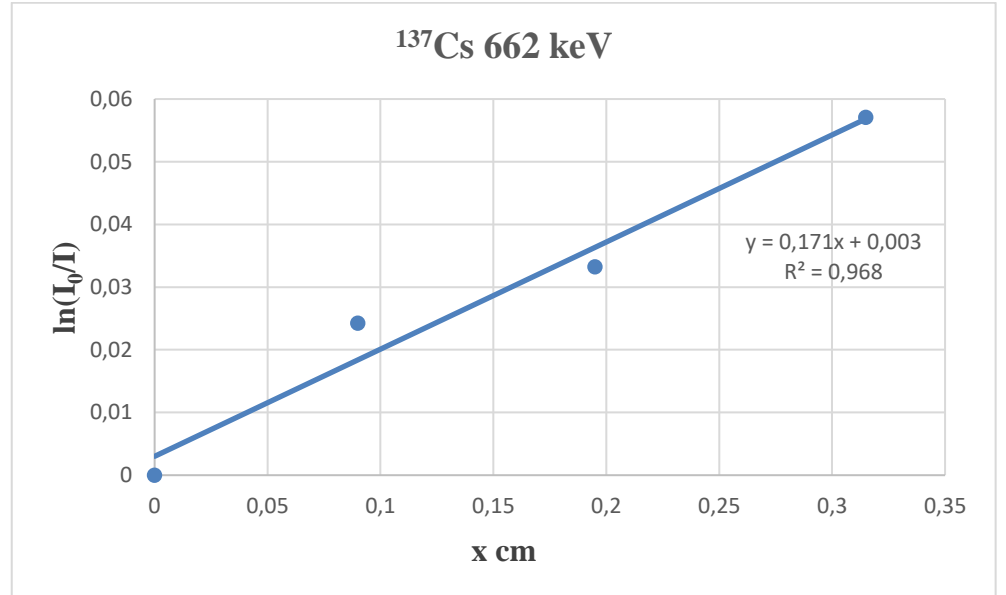
I_0 : Kompozit yokken alınan sayım değeri

I : Her bir kompozit kalınlığı için alınan sayım değeri

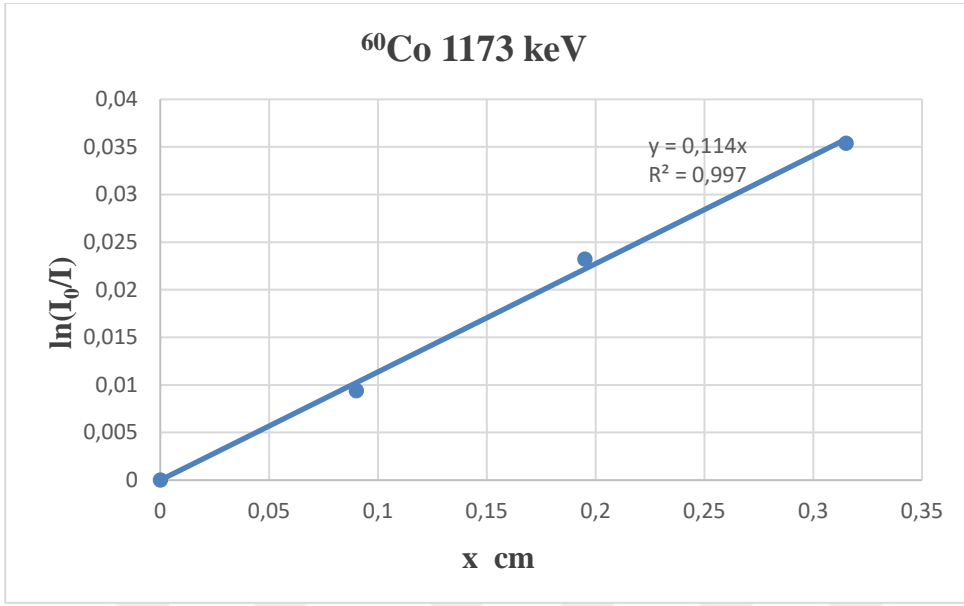
x : Kompozit kalınlığı (cm)

μ : Lineer soğurma katsayısı (cm^{-1})'dir.

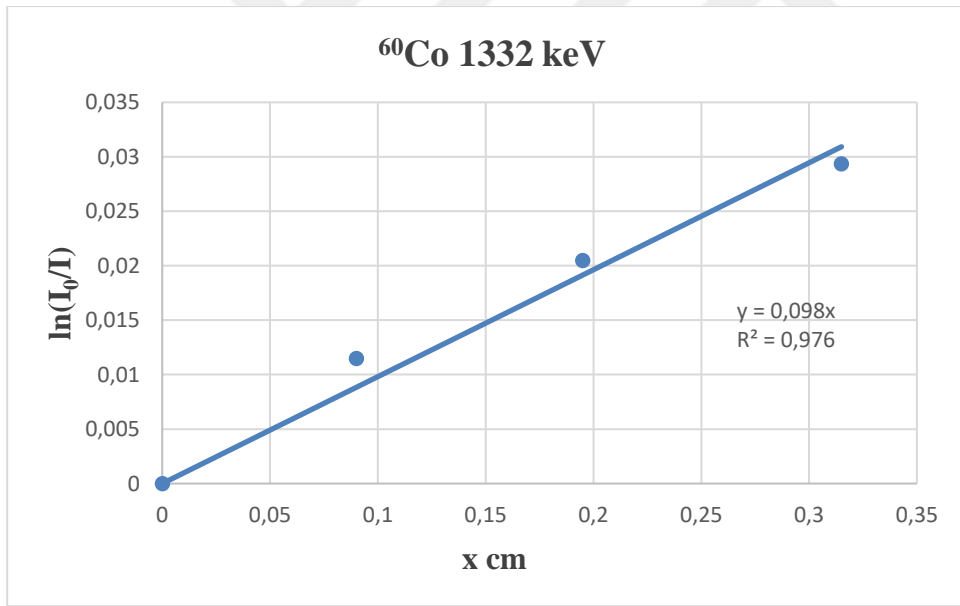
Denklem1'e göre elde edilen doğrunun eğimi, $\ln(I_0/I)$ ' in kalınlığına(x) göre değişimini gösteren grafik gama ışını lineer soğurma katsayısını(μ) verir. Bu nedenle, kompozitlerin tüm deneysel lineer soğurma katsayıları, $\ln(I_0/I)$ ve kalınlık(x) arasında çizilen doğrunun eğiminden belirlendi. Şekil 2.15'de, (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için Poli(HEMA) + % 50 W_3O_3 'e ait lineer soğurma katsayısı grafikleri örnek olarak verildi.



(a)



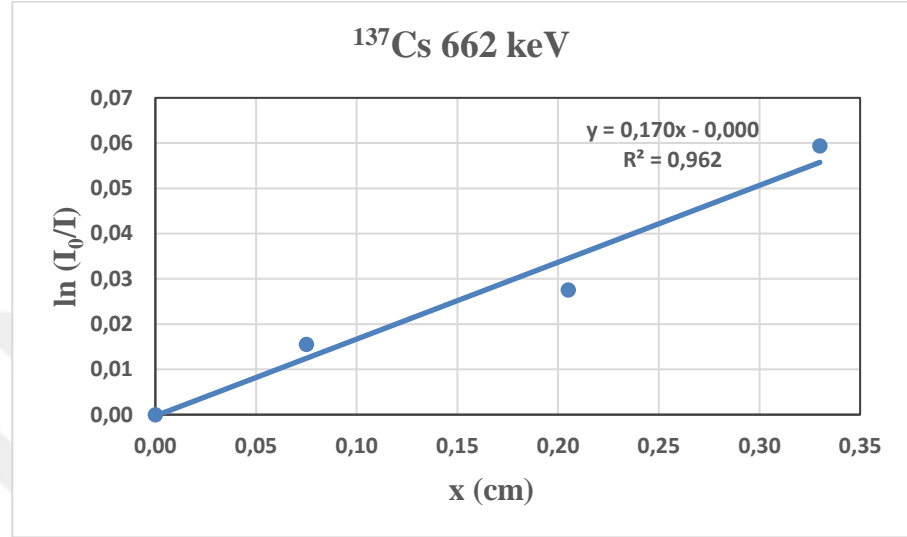
(b)



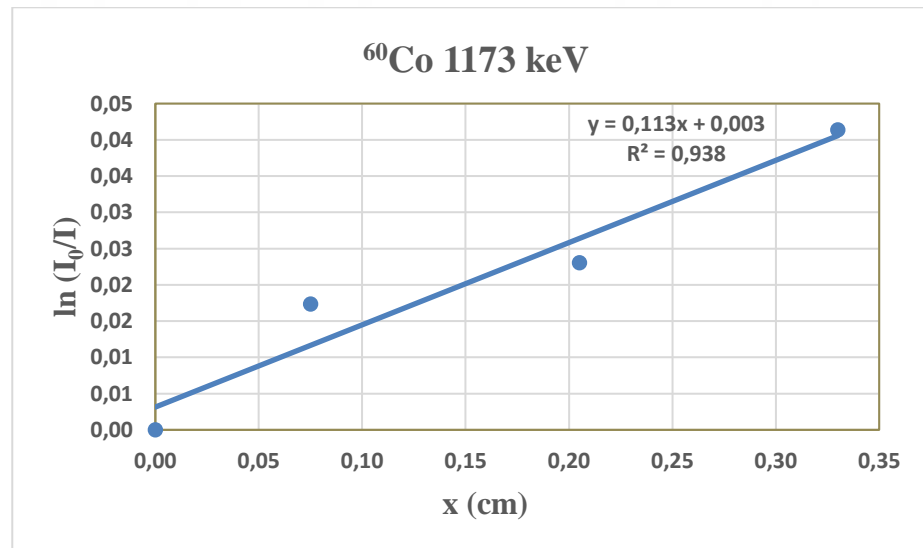
(c)

Şekil 2.15 Poli(HEMA) +% 50 WO_3 için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri

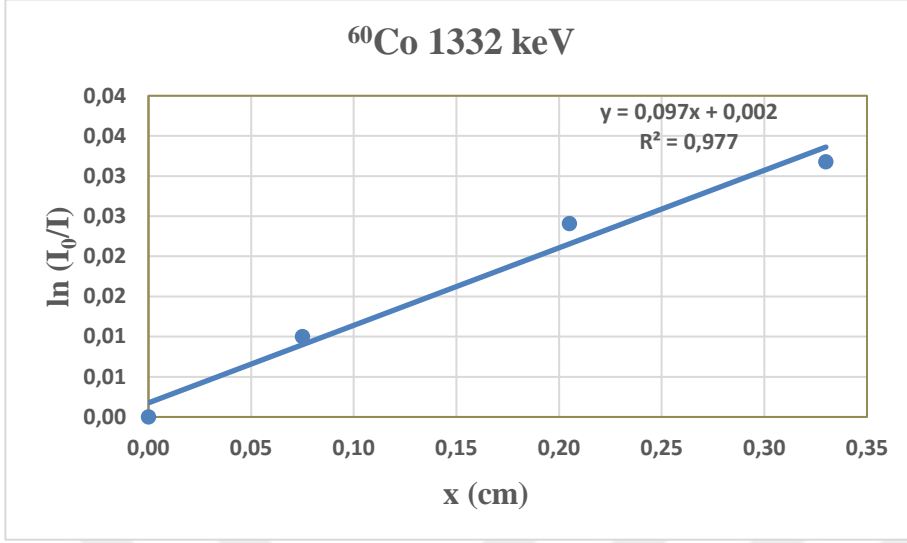
Şekilde 2.16'da, (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV Poli(HEMA-ko-S)+50% WO₃ ait lineer soğurma katsayısı grafikleri örnek olarak verilmiştir.



(a)

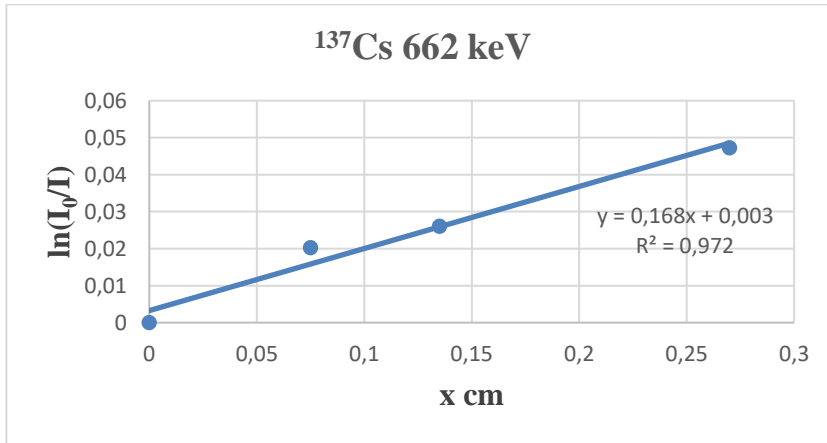


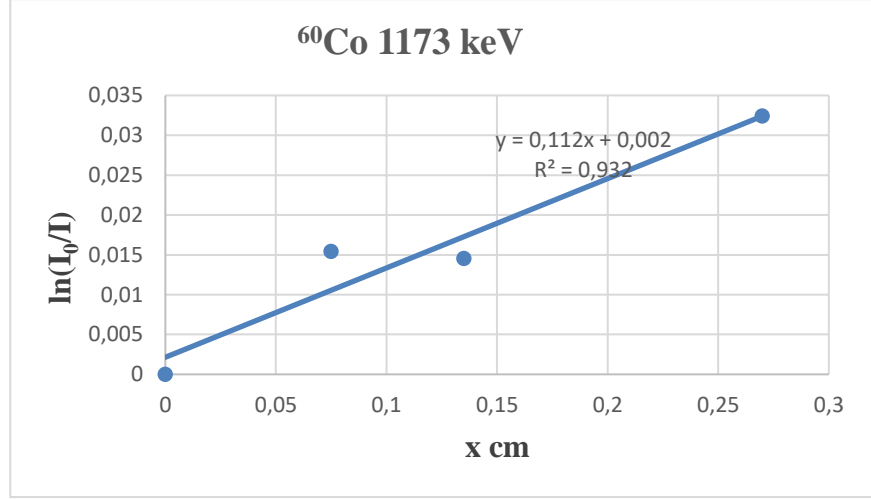
(b)



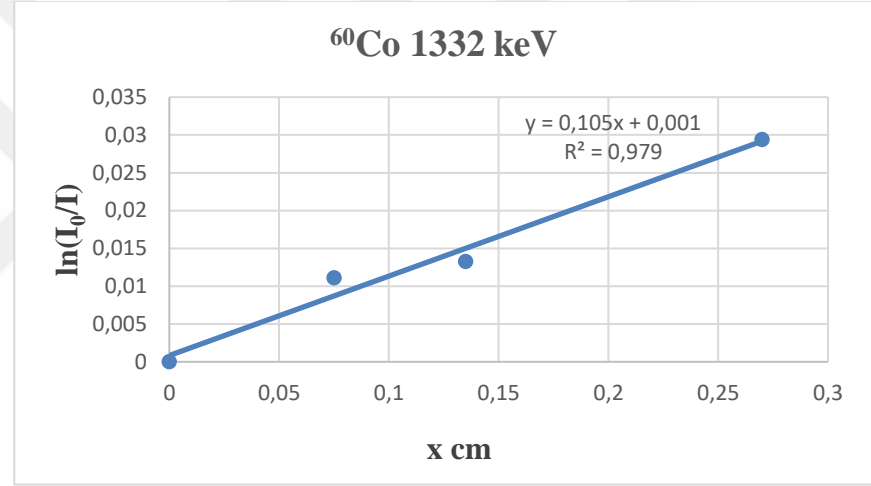
Şekil 2.16 Poli(HEMA-ko-S)+50% WO_3 için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri

Şekil 2.17’de, (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV PS +50% WO_3 ait lineer soğurma katsayısı grafikleri örnek olarak verilmiştir.





(b)



(c)

Şekil 2.17 PS +50% WO₃ için (a) 662, (b) 1173 ve (c) 1332 keV için doğrunun eğimleri

2.8 Teorik Gama Işını Lineer Soğurma Katsayılarının Hesaplanması

Kompozitlerin kütle soğurma katsayıları μ_m (cm²/g), Berger ve arkadaşları (Berger vd., 2012) tarafından geliştirilen XCOM programı ile teorik olarak hesaplandı. XCOM kodu herhangi bir element, bileşik veya karışım için foton tesir kesitlerinin elde edildiği bir veri tabanıdır. Bu kod, koherent ve inkoherent saçılmalar, fotoelektrik soğurma ve çift oluşumu için önceden var olan veri tabanlarını kullanarak kütle soğurma katsayısını hesaplamaktadır. Bu program malzemelerin kimyasal fraksiyonlarına göre kütle soğurma katsayılarını

hesaplar(Berger vd., 2012). Kompozitlerin teorik kütle soğurma katsayıları, XCOM yazılımında, Tablo 2.1'de sıralanan elementel fraksiyonlar kullanılarak bulundu. Polimerik kompozit malzemelerin yoğunlukları, teorik olarak hesaplandı ve Tablo 2. l'de verildi. Lineer soğurma katsayıları, kütle soğurma katsayıları ve kompozit malzemelerin yoğunlukları(Denklem.2) çarpılarak hesaplandı. (Korpinar 2019 ; Osei-Mensah, 2012)

$$\mu_m = \mu/\rho$$

(Denklem.2)

μ_m : kütle soğurma katsayısı, (cm^2/g)

μ : lineer soğurma katsayısı, (cm^{-1})

ρ :kompozit yoğunluğu, (g/cm^3)

Tablo 2.1 Kompozit malzemelerin kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları

Kompozitler	C	H	O	W	Teorik yoğunluk, ρ (g/cm^3)	Deneysel yoğunluk ρ (g/cm^3)
Poli(HEMA)	55.21	7.67	36.81	0	1.16	1.16
Poli(HEMA)+10 % WO_3	46.11	6.4	34.15	13.08	1.27	1.26
Poli(HEMA)+20 % WO_3	38.22	5.31	31.85	24.4	1.33	1.33
Poli(HEMA)+30 % WO_3	31.42	4.35	29.84	34.29	1.46	1.45
Poli(HEMA)+40 % WO_3	25.27	3.51	28.07	43.01	1.61	1.61
Poli(HEMA)+50 % WO_3	19.87	2.76	26.5	50.75	1.73	1.74

Tablo 2.1 Kompozit malzemelerin kimyasal bileşimleri ve yoğunlukları(devamı)

Kompozitler	C	H	O	W	Teorik Yoğunluk, ρ (g/cm ³)	Deneysel yoğunluk ρ (g/cm ³)
Poli(HEMA-ko-S)	71.75	7.72	20.53	0	1.09	1.11
Poli(HEMA-ko-S)10% WO ₃	64.64	6.95	20.55	7.86	1.19	1.20
Poli(HEMA-ko-S)20% WO ₃	57.50	6.20	20.58	15.72	1.31	1.28
Poli(HEMA-ko-S)30% WO ₃	50.37	5.40	20.61	23.62	1.46	1.45
Poli(HEMA-ko-S)40% WO ₃	43.22	4.63	20.62	31.53	1.65	1.63
Poli(HEMA-ko-S)50% WO ₃	36.05	3.86	20.64	39.45	1.89	1.86

Kompozitler	C	H	O	W	Teorik yoğunluk ρ (g/cm ³)	Deneysel yoğunluk ρ (g/cm ³)
PS	92.31	7.69	-	-	1.04	1.06
PS 10% WO ₃	73.98	6.16	4.12	18.74	1.14	1.12
PS 20% WO ₃	57.27	4.94	7.41	28.31	1.25	1.21
PS 30% WO ₃	47.21	3.92	10.12	38.75	1.40	1.37
PS 40% WO ₃	37.13	3.09	12.38	47.4	1.58	1.54
PS 50% WO ₃	28.59	2.38	14.29	54.74	1.82	1.79

2.9 Geçirgenlik Parametrelerinin Hesaplanması

Kompozitlerin gama ışını korumasının etkinliğini tanımlamak için, yarı değer kalınlığı (HVL), onda bir değer kalınlığı (TVL) ve ortalama serbest yol (MFP) gibi geçirgenlik parametreleri hesaplandı. Yarı değer kalınlığı (HVL), foton yoğunluğunu yarıya indirmek için gereken absorplayıcı kalınlıktır; benzer şekilde, onda bir değer kalınlığı (TVL), ışığın yoğunluğunu onda bir azaltmak için gereken absorplayıcı kalınlıktır. Ayrıca, ortalama serbest yol (MFP), fotonların iki ardışık etkileşimi arasındaki ortalama mesafe olarak tanımlanmaktadır (Gökçe, 2018; Akkurt, 2010). Dolayısıyla, HVL ($x_{1/2}$), TVL ($x_{1/10}$) ve MFP (λ), sırasıyla (Denklem. 3), (Denklem. 4) ve (Denklem. 5) 'e göre ölçülen lineer soğurma katsayılarından hesaplandı.

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (\text{Denklem. 3})$$

$$x_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (\text{Denklem. 4})$$

$$\lambda = \frac{1}{\mu} \quad (\text{Denklem. 5})$$

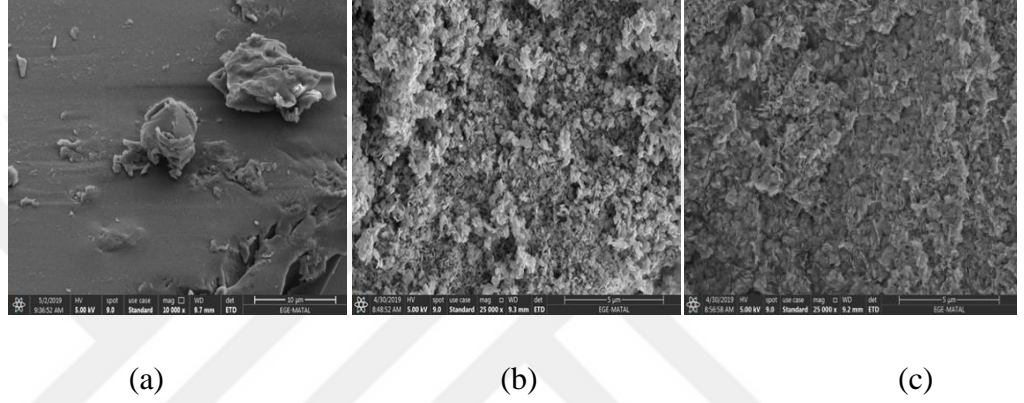
3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, serbest radikal katılma polimerizasyon yöntemini kullanılarak poli(2-hidroksietil metakrilat), poli(2-hidroksietilmetakrilat-*ko*-stiren) ve polistiren başarıyla sentezlendi. Ardından polimer-tungsten(VI) oksit kompozitleri N-N,dimetilformamit içerisinde (DMF) çözülüp hazırlandı. Fonksiyonel gruplar (-OH, -NH₂, -CHO, -COOH), içeren monomer veya polimerler bileşikleri bu bileşikleri diğer polimer bileşiklerinden daha üstün yapar ve birbirlerine ikincil kimyasal etkileşimlerle (H-bağı , dipol-dipol gibi) bağlanmalarını sağlar. Farklı radyasyon koruyucu malzemelere farklı polimerler ve inorganik tuzlar dahil edilir.

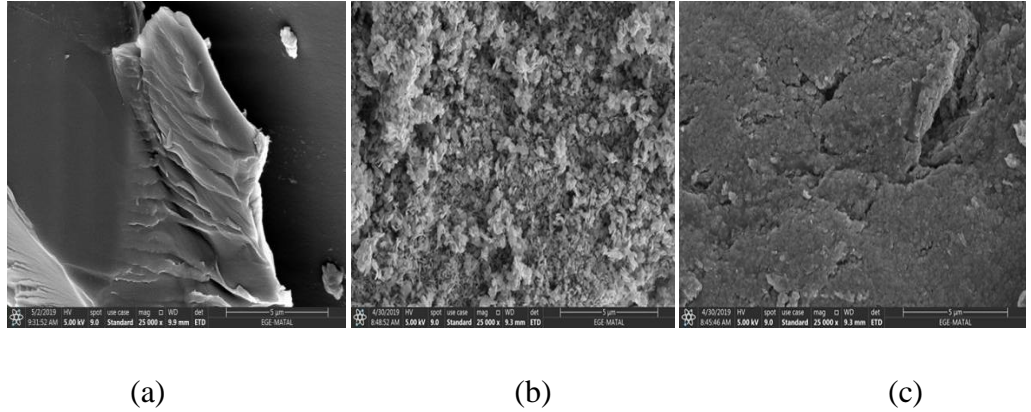
Literatürde, bazı araştırmacılar tarafından tungsten ile hazırlanan bazı kompozitlerin radyasyondan korunma potansiyeline sahip olabileceği araştırılmıştır. Çalışmaların birinde, tungsten ve stiren-bütadien-stiren kopolimeri hazırlanmış ve teorik olarak radyoterapide elektron ışınlamasına karşı etkili bir durdurucu olabileceği bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise, teorik olarak, metalik formda tungsten tozunun radyoterapide elektron ışınlanmasına karşı etkili bir durdurucu olabileceği açıklanmıştır (Gorbatkina, 2007; Yue, 2009; Bobadilla-Sánchez, 2009; Martínez-Barrera, 2013; Durkee, 1998). Fakat yapılan bu çalışmaların çoğunda fonksiyonel grup içermeyen polimerler kullanılmış ve kimyasal ikincil etkileşimlerin olmadığı karışımlar elde edilmiştir. Bu aşamada bu çalışmayı literatürden farklı kılan PHEMA, Poli(HEMA-*ko*-S), PS ve inorganik

tungsten(VI) oksit kompozitlerinin literatürde var olmayışı ve gama ışını lineer soğurma katsayılarının araştırılmamasıdır. Elde edilen polimer kompozitlerin homojenliği SEM analizi ile test edildi. Polimerler, Tungsten(VI)oksit ($WO_3 \cdot 2H_2O$) ve Polimer + % 50 Tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri, Şekil 3.1, 3.2, 3.3’de gösterilmektedir.

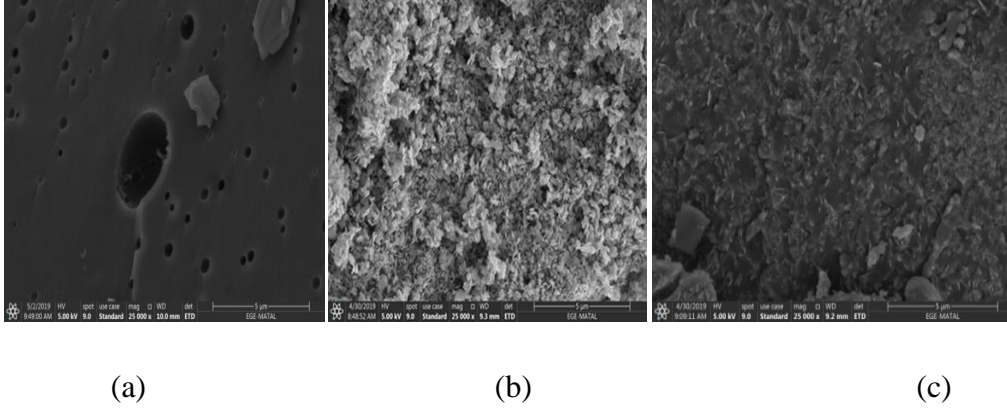
SEM görüntüleri incelendiğinde; polimer matrislere takviye olarak Tungsten(VI)oksit ($WO_3 \cdot 2H_2O$) ilave edildiğinde, $WO_3 \cdot 2H_2O$ partiküllerinin polimer matrislerinde homojen dağıldığı görüldü. (Günther, 2015; ElBatal, 2012).



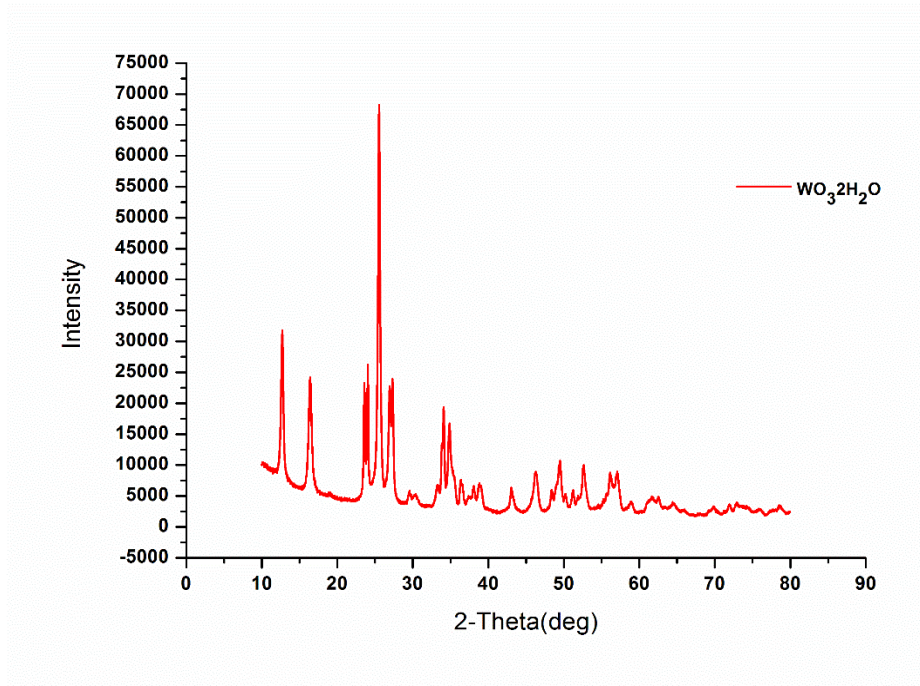
Şekil 3.1 (a) PHEMA, (b) $WO_3 \cdot 2H_2O$, (c) PHEMA- 50 % tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri



Şekil 3.2 (a) Poli(HEMA-ko-S), (b) $WO_3 \cdot 2H_2O$, (c) Poli(HEMA-ko-S)-50 % tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri



Şekil 3.3 (a) PS, (b) WO₃·2H₂O, (c) PS- 50% tungsten(VI) oksit kompozitlerinin SEM görüntüleri



Şekil 3.4 WO₃·2H₂O'in XRD grafiği

3.1 Kompozitlerin Lineer Soğurma Katsayıları

Kompozitlerin deneysel lineer soğurma katsayıları, 662, 1173 ve 1332 keV gama ışını enerjileri için ölçüldü ve teorik değerlerle karşılaştırıldı ve Tablo 3.1'de verildi. Ayrıca, 10 ila 3000 keV enerji aralığında teorik lineer soğurma katsayıları, Şekil 3.5' de gösterildi. Düşük enerjili bölgede, eğri veya soğurma kenarlarındaki süreksizlik, absorplayıcı atomun çeşitli kabuklarındaki (K, L, M elektron kabukları gibi) elektronların bağlanma enerjilerine karşılık gelen gama ışını enerjilerinde görünür (Knoll vd., 2000). Tüm kompozitler için çizgilerinin eğimi, yüksek enerji bölgesinde sabit olma eğilimindedir. Kompozitler için

deneySEL ve teorik sonuçlar arasındaki fark, yaklaşık % 10 civarındadır. Tablo 3.1 ve Şekil 3.5’den anlaşılacağı gibi, kompozitlerin lineer soğurma katsayılarının gama enerjilerinin artmasıyla azaldığı gözlemlendi.

Tablo 3.1 Kompozitlerin Deneysel Ve Teorik Lineer Soğurma Katsayıları

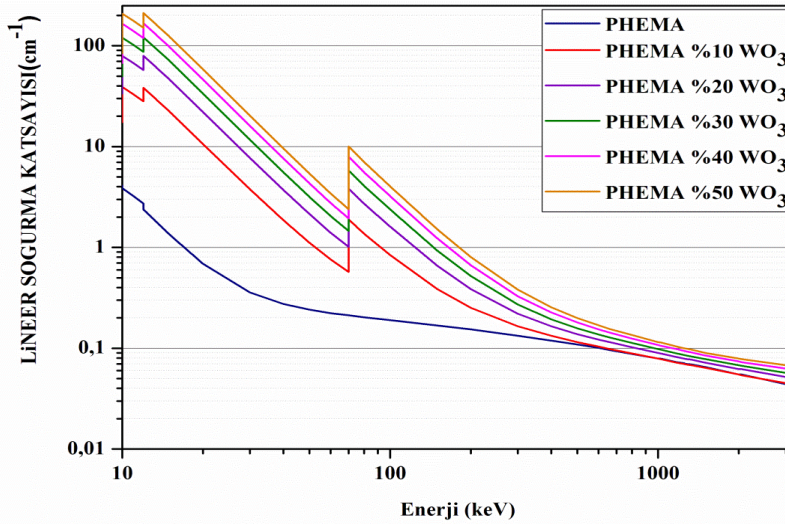
Kompozitler	μ (cm ⁻¹) Deneysel			μ (cm ⁻¹) Teorik		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
Poli(HEMA)	0.105±0.021	0.080±0.008	0.075±0.014	0.096	0.073	0.069
Poli(HEMA)+10% WO ₃	0.108±0.023	0.080±0.008	0.075±0.015	0.098	0.072	0.068
Poli(HEMA)+20% WO ₃	0.129±0.025	0.091±0.009	0.087±0.017	0.115	0.082	0.077
Poli(HEMA)+30% WO ₃	0.136±0.021	0.098±0.008	0.089±0.013	0.128	0.089	0.083
Poli(HEMA)+40% WO ₃	0.154±0.022	0.100±0.007	0.097±0.012	0.143	0.098	0.091
Poli(HEMA)+50% WO ₃	0.171±0.020	0.114±0.006	0.098±0.011	0.155	0.104	0.097

Kompozitler	μ (cm ⁻¹) Deneysel			μ (cm ⁻¹) Teorik		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
Poli(HEMA-ko-S)	0.099±0.014	0.072±0.007	0.069±0.012	0.091	0.069	0.065
Poli(HEMA-ko-S)+10% WO ₃	0.106±0.027	0.080±0.014	0.075±0.012	0.100	0.075	0.070
Poli(HEMA-ko-S)+20% WO ₃	0.121±0.023	0.085±0.015	0.080±0.015	0.112	0.082	0.076
Poli(HEMA-ko-S)+30% WO ₃	0.135±0.030	0.096±0.020	0.088±0.013	0.126	0.090	0.084
Poli(HEMA-ko-S)+40% WO ₃	0.151±0.044	0.099±0.030	0.093±0.024	0.144	0.101	0.094
Poli(HEMA-ko-S)+50% WO ₃	0.170±0.058	0.113±0.040	0.109±0.025	0.167	0.115	0.107

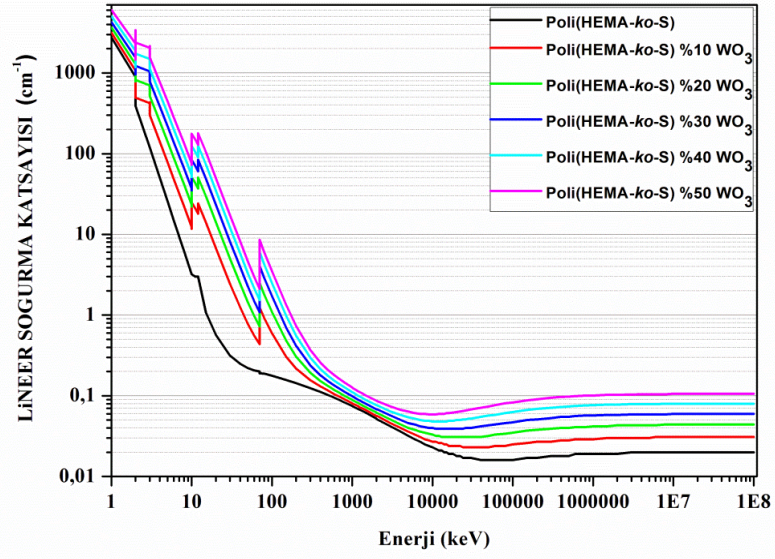
Kompozitler	μ (cm ⁻¹) Deneysel			μ (cm ⁻¹) Teorik		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
PS	0.093	0.071	0.069	0.086	0.066	0.062
PS+10% WO ₃	0.101	0.079	0.070	0.097	0.071	0.066
PS+20% WO ₃	0.120	0.083	0.078	0.109	0.077	0.072
PS+30% WO ₃	0.135	0.094	0.087	0.123	0.085	0.079
PS+40% WO ₃	0.147	0.098	0.092	0.141	0.095	0.088
PS+50% WO ₃	0.168	0.112	0.105	0.164	0.109	0.101

En yüksek soğurma katsayısı Poli(HEMA) +% 50 WO₃ kompozitinde olduğu gözlemlendi. Lineer soğurma katsayıları sırasıyla 662, 1173 ve 1332 keV için 0.171 ± 0.020 ; 0.114 ± 0.006 ve $0.098 \pm 0.011 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu.

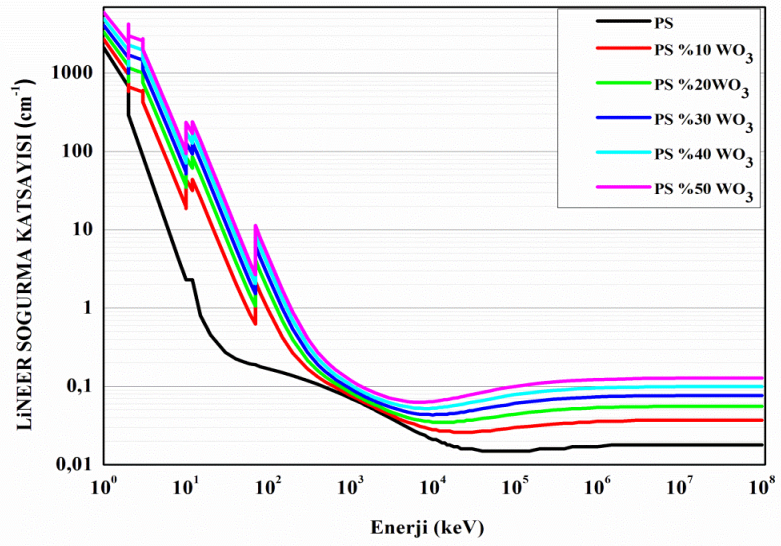
Bu çalışmada yapılan kompozit malzemeler literatürle kıyaslandığında; Verdipor ve arkadaşlarının çalışmasında lineer soğurma katsayıları, 662 keV için ağırlıkça % 50 WO₃(mikro)-silikon reçineli kompozitler için 0.140 cm^{-1} ve ağırlıkça % 50 WO₃(nano) kompozitler için 0.156 cm^{-1} olduğunu hesaplanmıştır (Verdipoor vd., 2018). Bagheri ve arkadaşlarının çalışmasında lineer soğurma katsayıları, 662 keV için ağırlıkça % 30 PbO-doymamış poliester-nanokil kompozitler için $0,133 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Bagheri vd., 2018). Eren Belgin ve arkadaşlarının çalışmasında lineer soğurma katsayıları, 662 keV için ağırlıkça % 30 WO₃-Polietilen kompozitleri için $0,121 \text{ cm}^{-1}$ ve ağırlıkça % 30 PbO-polietilen kompozitler için $0,124 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur(Eren Belgin vd., 2015). Mahmoud ve arkadaşlarının çalışmasında lineer soğurma katsayıları, 662 keV için ağırlıkça % 50 PbO-polietilen kompozitler için $0,153 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur(Mahmoud vd., 2018). Bel ve arkadaşlarının çalışmasında ise lineer soğurma katsayıları, 662 keV için ağırlıkça % 40 Colemanite (Ca₂B₆O₁₁·5H₂O) Poli(metil metakrilat) kompozitleri için 0.138 cm^{-1} olarak bulunmuştur (Bel vd., 2019).



(a)



(b)

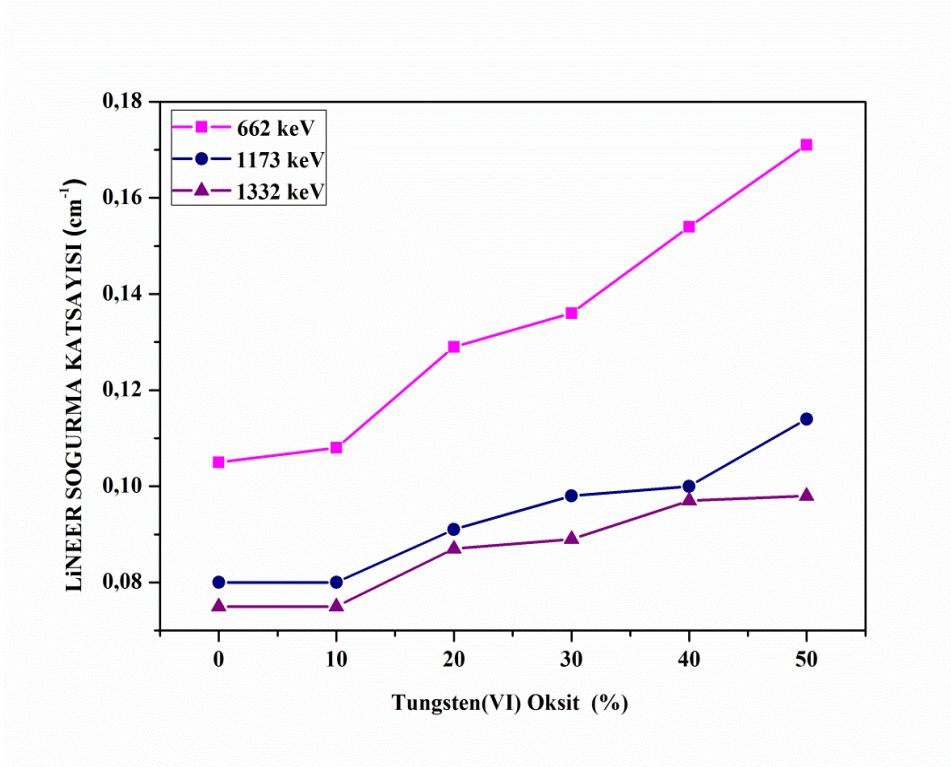


(c)

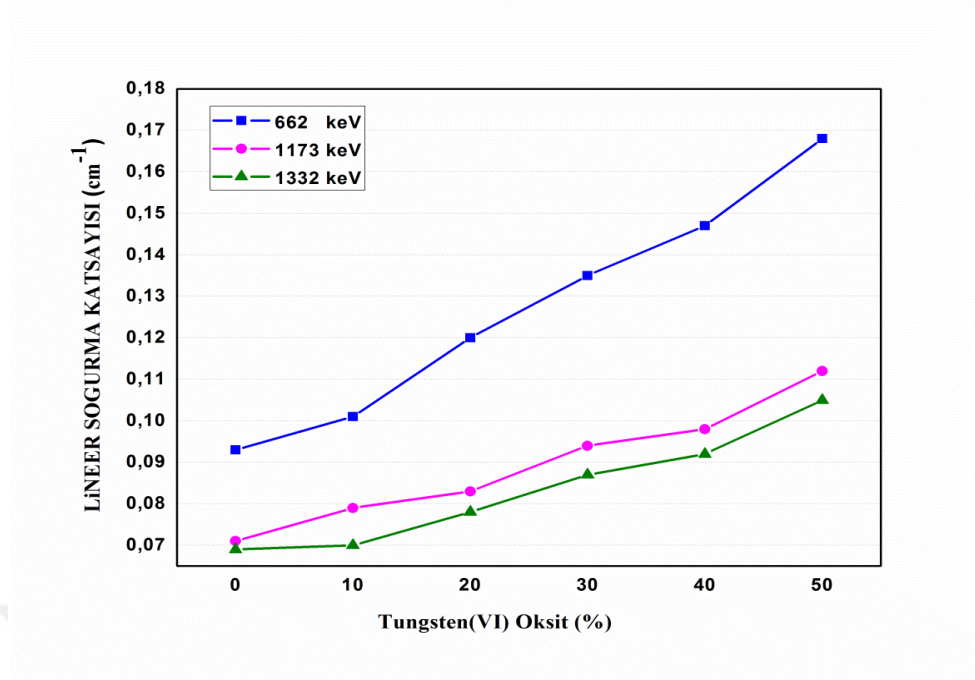
Şekil 3.5 (a) Poli(HEMA)-tungsten(VI)oksit (b) Poli(HEMA-ko-S)-tungsten(VI)oksit (c) PS-tungsten(VI)oksit kompozitlerin teorik lineer soğurma katsayılarına karşı foton enerji grafikleri

3.2 Tungsten(VI) oksit katkı maddesinin lineer soğurma katsayıları değişimi üzerindeki etkisi

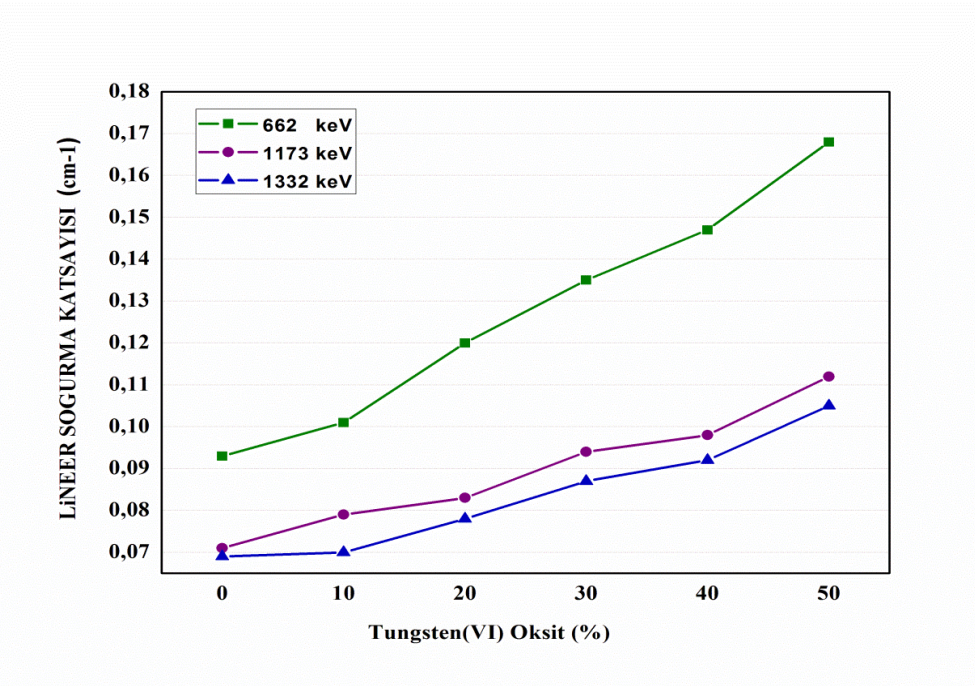
Poli(HEMA), Poli(HEMA-*ko*-S) ve PS kompozitlerinde (%10 ila %50) Tungsten(VI) oksit katkı maddesinin her bir gama ışını enerjisindeki lineer soğurma katsayıları üzerindeki etkileri şekil 3.6, 3.7 ve 3.8’de gösterildi. Kompozitlerin lineer soğurma katsayıları, (% 10 ila % 50) Tungsten(VI) oksit katkı maddesinin kompozit malzeme içerisinde kütlece artmasıyla arttığı gözlemlendi. Yüksek atom sayısı(*Z*) ve yüksek yoğunluklu malzemeler, gama ışınları ile daha yüksek etkileşim gösterirler ve daha fazla enerji soğurmaları nedeniyle daha iyi koruma sağlarlar. Enerji seviyesine ek olarak, lineer soğurma katsayısı değişimi soğurucu materyal olarak kullanılan malzemenin atom numarasına bağlıdır.



Şekil 3.6 Poli(HEMA) kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayılarının değişimi

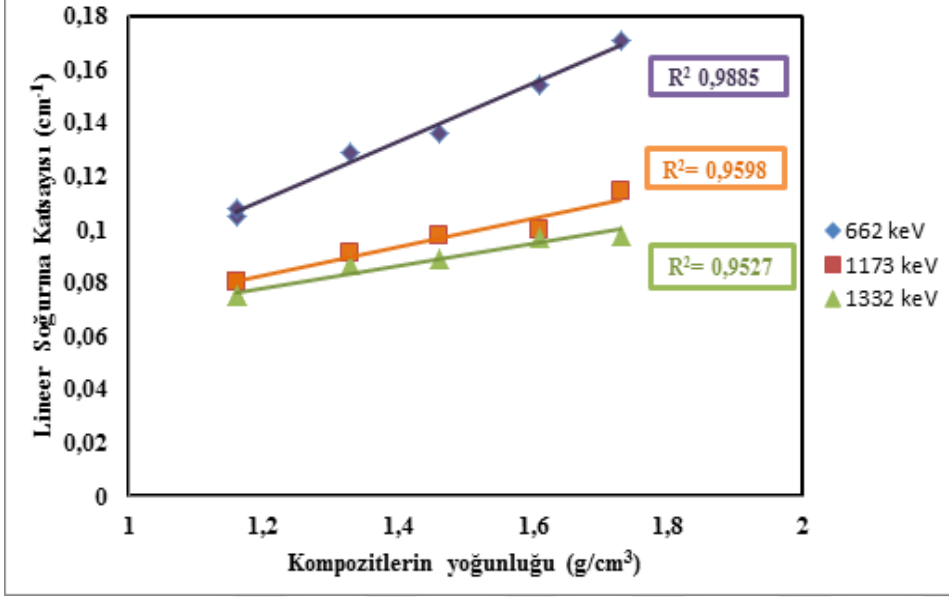


Şekil 3.7 Poli(HEMA-*ko*-S) kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayılarının değişimi

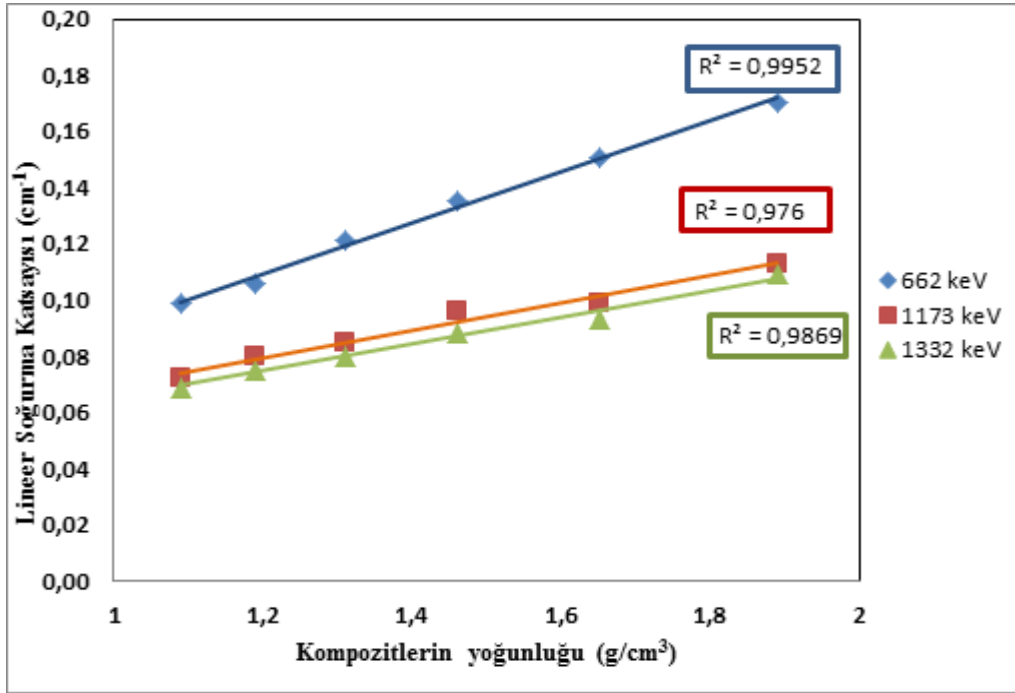


Şekil 3.8 PS kompozitlerinin Tungsten(VI) oksit katkısına karşı lineer soğurma katsayıları değişimi

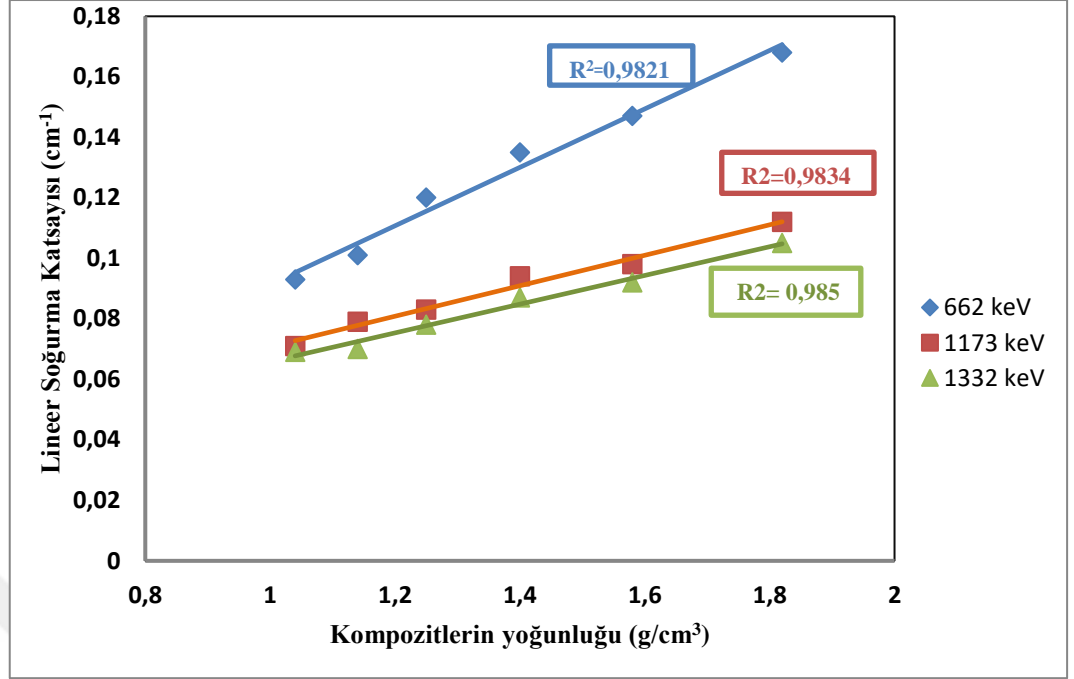
Lineer soğurma katsayıları ve kompozitlerin yoğunluğu arasındaki ilişki, Şekil 3.9, 3.10 ve 3.11’de belirtildi. Lineer soğurma katsayılarının, incelenen kompozitlerin yoğunlukları ile doğru orantılı olduğu gözlemlendi. Bu nedenle, örnek kompozisyonun gama lineer soğurma katsayılarını etkileyen önemli bir parametre olduğu sonucuna varıldı.



Şekil 3.9 Lineer soğurma katsayıları ve Poli(HEMA) kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki



Şekil 3.10 Lineer soğurma katsayıları ve Poli(HEMA-ko-S)kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki



Şekil 3.11 Lineer soğurma katsayıları ve PS kompozit yoğunlukları arasındaki ilişki

3.3 Gama Işınlari Geçirgenlik Parametreleri

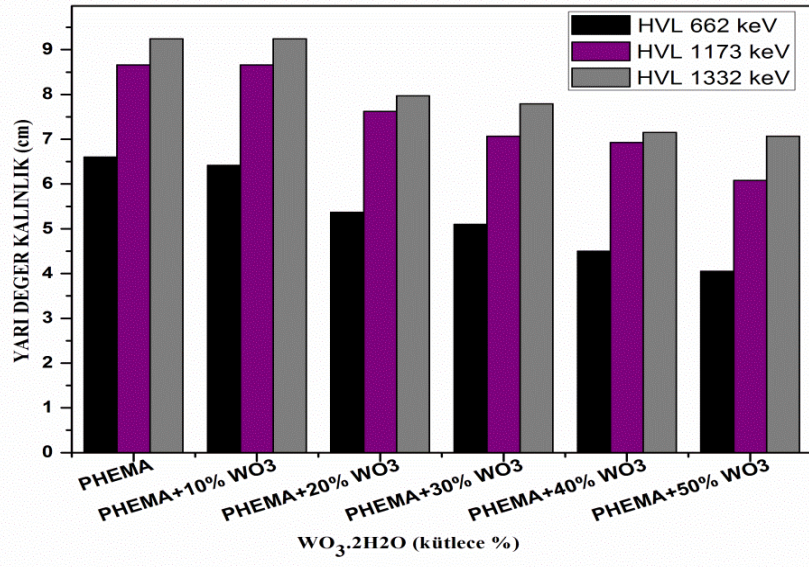
Yarı değer kalınlığı ($x_{1/2}$, cm), onda bir kalınlık ($x_{1/10}$, cm) ve ortalama serbest yol (λ , cm) gibi kompozitlerin radyasyon geçirgenlik parametreleri, deneysel lineer soğurma katsayıları Tablo 3.2’de listelendi. Gama ışını geçirgenlik oranları, Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14’de sırasıyla 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde gösterildi. Tablo 3.2’den ve Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14’den gerekli absorblayıcı kalınlık değerlerinin, tungsten(VI) oksit katkısı ile azaldığı ve ayrıca düşük enerjilerdeki absorblayıcı kalınlık, yüksek enerjilerdekenden daha düşük olduğu görüldü. Gelen gama fotonlarının yarısını durdurmak için, gerekli absorblayıcı kalınlık, Poli(HEMA) ile karşılaştırıldığında PHEMA +% 50 W_3 ’ten % 23-38 daha düşük, Poli(HEMA-ko-S) ile karşılaştırıldığında, Poli(HEMA-ko-S) +% 50 W_3 ’ten % 25-35 daha düşük, PS ile karşılaştırıldığında, PS +% 50 W_3 ’ten % 20-35 daha düşük olduğu gözlemlendi.

Tablo 3.2 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için kompozitlerin HVL, TVL ve MFP değerleri

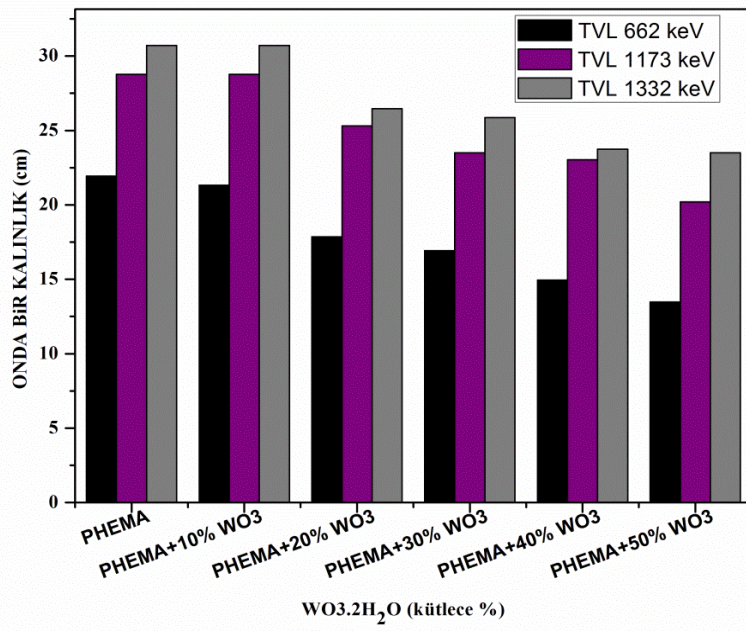
Kompozitler	$x_{1/2}$ (cm)			$x_{1/10}$ (cm)			λ (cm)		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
Poli(HEMA)	6.60	8.66	9.24	21.93	28.78	30.70	9.52	12.50	13.33
Poli(HEMA) +10% WO ₃	6.42	8.66	9.24	21.32	28.78	30.70	9.26	12.50	13.33
Poli(HEMA) +20% WO ₃	5.37	7.62	7.97	17.85	25.30	26.47	7.75	10.99	11.49
Poli(HEMA) +30% WO ₃	5.10	7.07	7.79	16.93	23.50	25.87	7.35	10.20	11.24
Poli(HEMA) +40% WO ₃	4.50	6.93	7.15	14.95	23.03	23.74	6.49	10.00	10.31
Poli(HEMA) +50% WO ₃	4.05	6.08	7.07	13.47	20.20	23.50	5.85	8.77	10.20

Kompozitler	$x_{1/2}$ (cm)			$x_{1/10}$ (cm)			λ (cm)		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
Poli(HEMA-ko-S)	7.0	9.6	10.0	23.3	32.0	33.4	10.1	13.9	14.5
Poli(HEMA-ko-S) 10% WO ₃	6.5	8.7	9.2	21.7	28.8	30.7	9.4	12.5	13.3
Poli(HEMA-ko-S) 20% WO ₃	5.7	8.2	8.7	19.0	27.1	28.8	8.3	11.8	12.5
Poli(HEMA-ko-S) 30% WO ₃	5.1	7.2	7.9	17.1	24.0	26.2	7.4	10.4	11.4
Poli(HEMA-ko-S) 40% WO ₃	4.6	7.0	7.5	15.2	23.3	24.8	6.6	10.1	10.8
Poli(HEMA-ko-S) 50% WO ₃	4.1	6.1	6.4	13.5	20.4	21.1	5.9	8.8	9.2

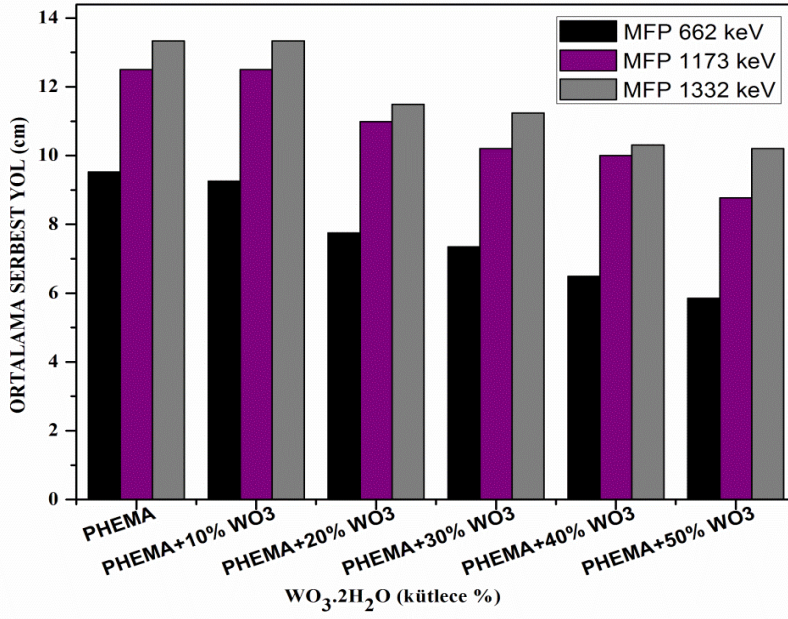
Kompozitler	$x_{1/2}$ (cm)			$x_{1/10}$ (cm)			λ (cm)		
	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV	662 keV	1173 keV	1332 keV
PS	7.5	9.8	10.0	24.8	32.4	33.4	10.8	14.1	14.5
PS 10% WO ₃	6.9	8.8	9.9	22.8	29.1	32.9	9.9	12.7	14.3
PS 20% WO ₃	5.8	8.4	8.9	19.2	27.7	28.5	8.3	12.0	12.8
PS 30% WO ₃	5.1	7.4	8.0	17.1	24.5	26.5	7.4	10.6	11.5
PS 40% WO ₃	4.7	7.1	7.5	15.7	23.5	25.0	6.8	10.2	10.9
PS 50% WO ₃	4.1	6.2	6.6	13.7	20.6	21.9	6.0	8.9	9.5



(a)

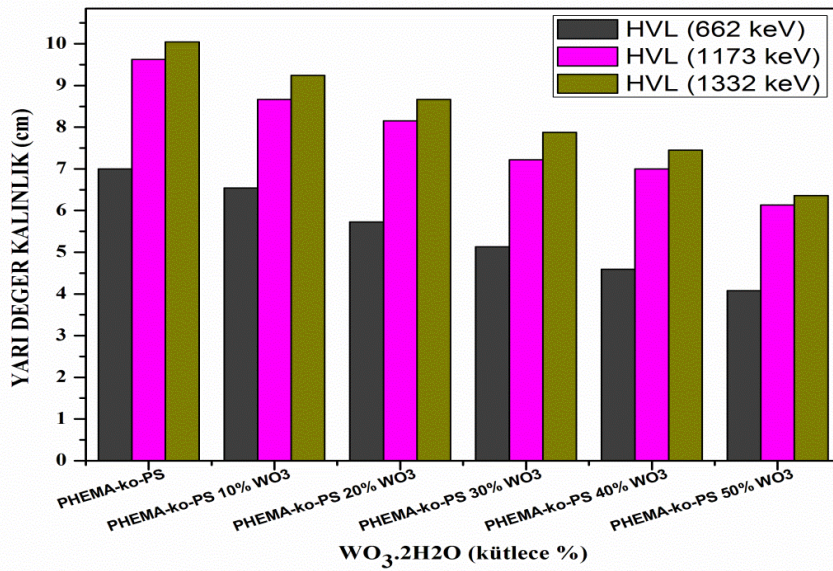


(b)

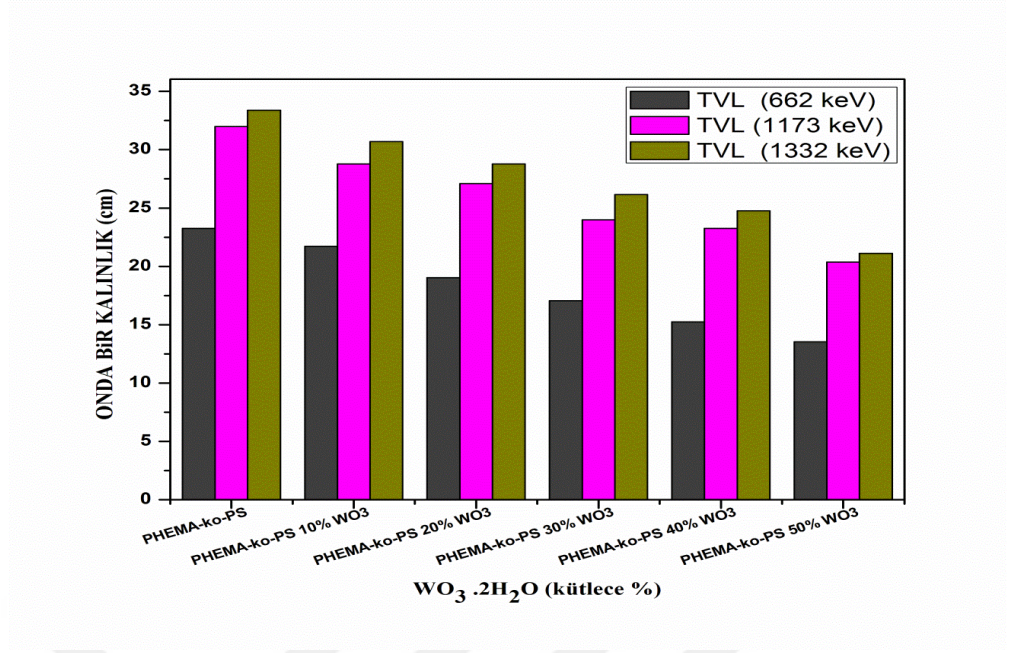


(c)

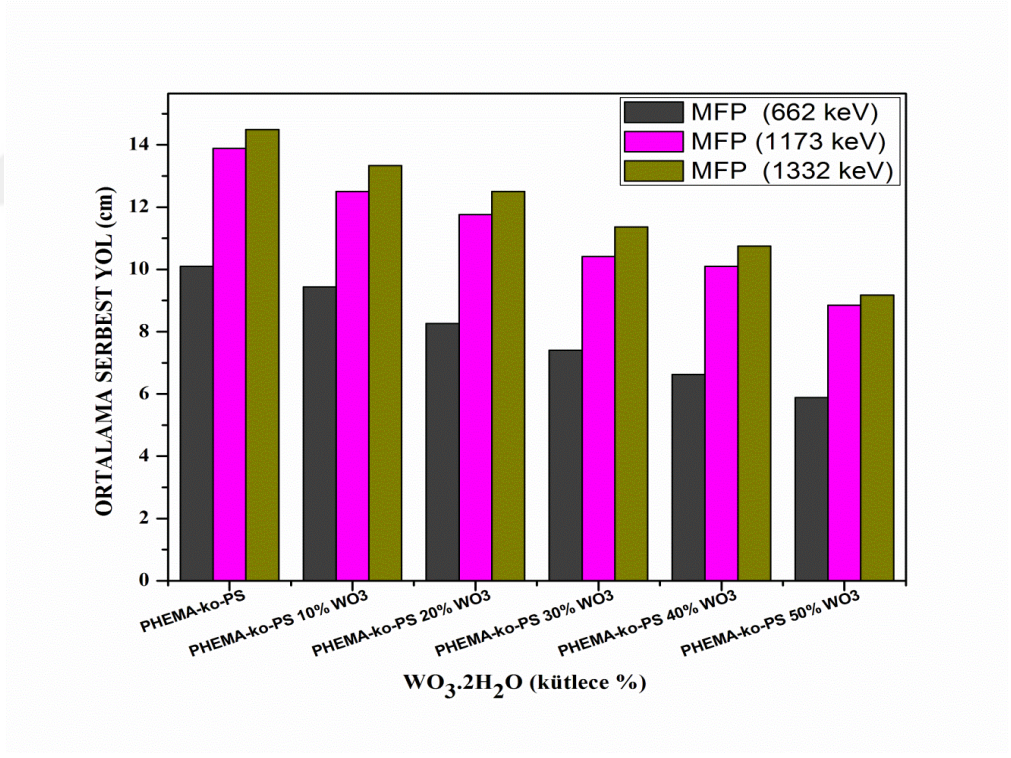
Şekil 3.12 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için Poli(HEMA) ve Poli(HEMA)tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı değer kalınlık, (b) Onda bir kalınlık (c) Ortalama Serbest Yol



(a)

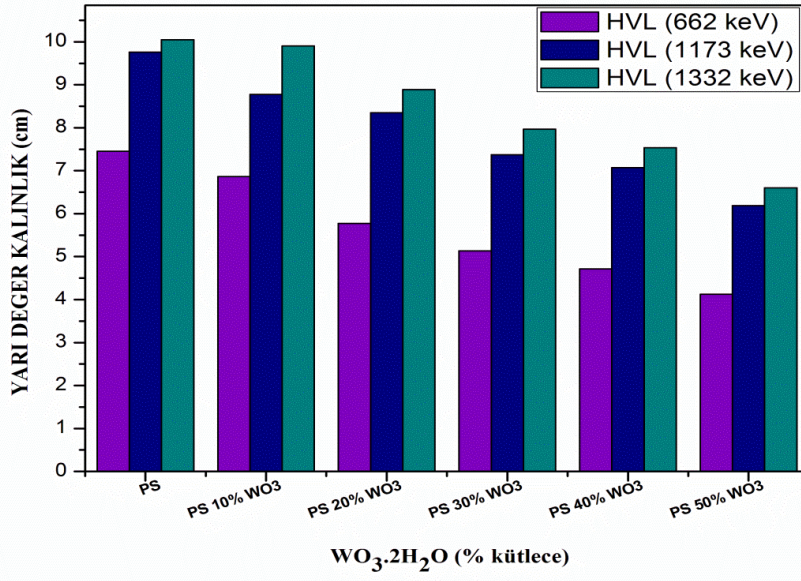


(b)

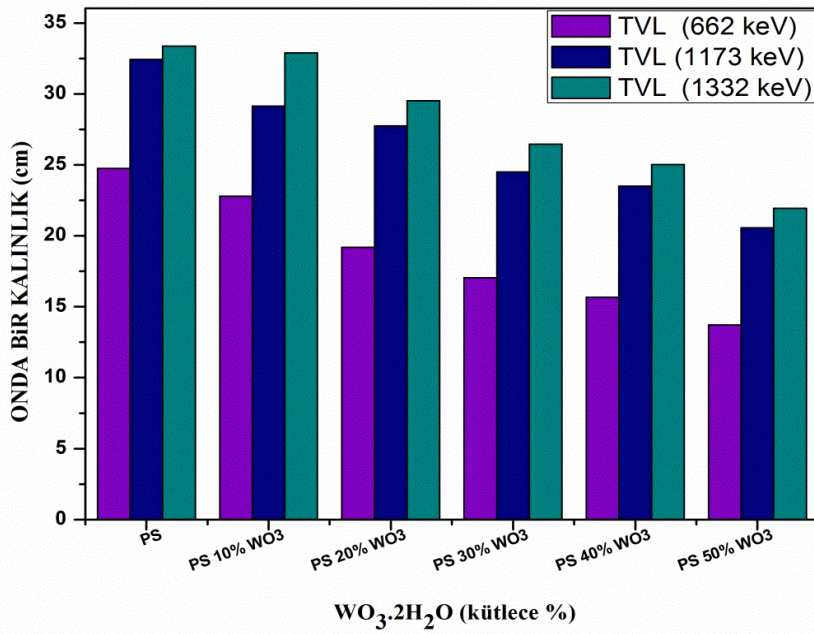


(c)

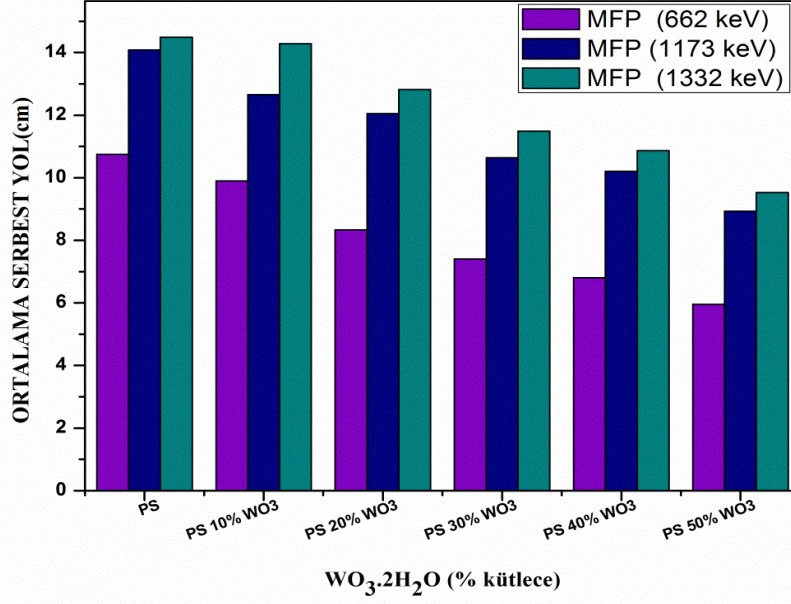
Şekil 3.13 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için Poli(HEMA-ko-S)ve Poli(HEMA-ko-S)-tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı değer kalınlık, (b) Onda bir kalınlık (c) Ortalama serbest Yol



(a)



(b)



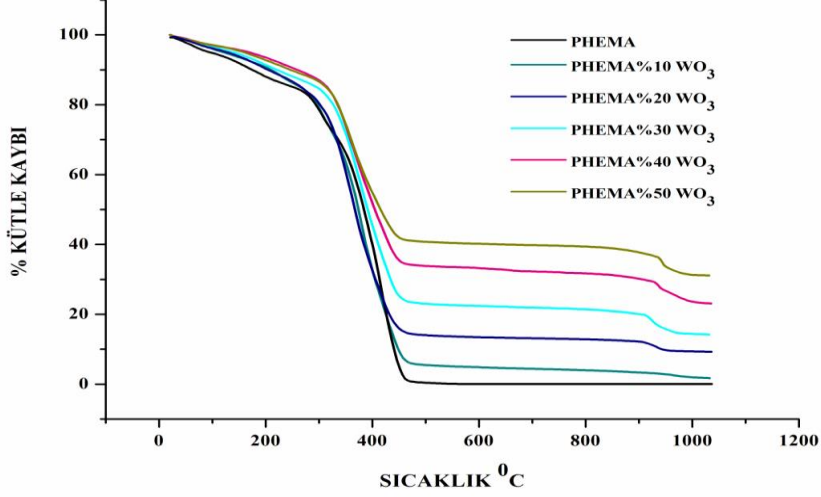
(c)

Şekil 3.14 662, 1173 ve 1332 keV gama enerjileri için PS ve PS-tungsten(VI) oksit kompozitleri için (a) Yarı Değer Kalınlık, (b) Onda Bir Kalınlık (c) Ortalama Serbest Yol

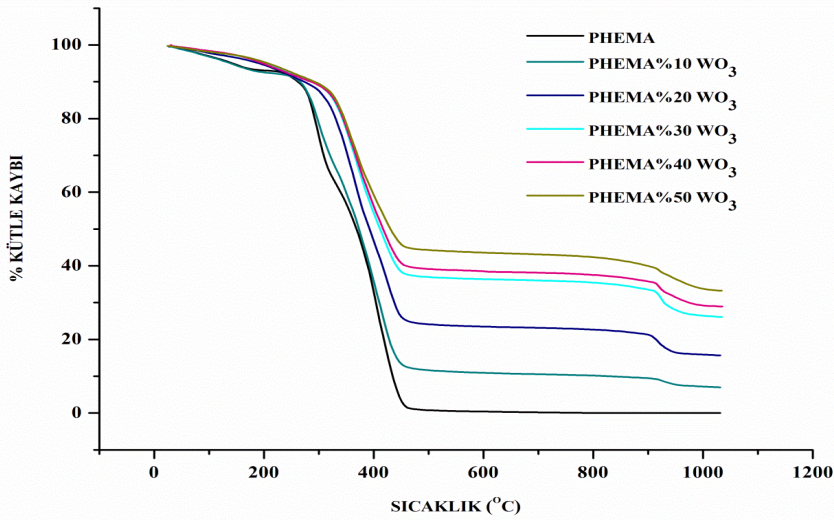
3.4 Polimerlerin Termal Bozunması

Poli(HEMA), Poli(HEMA-*ko*-S) ve PS ve ağırlıkça %10 ila %50 tungsten (VI) oksit içeren Poli(HEMA), Poli(HEMA-*ko*-S) ve PS kompozitlerinin termogravimetrik eğrileri(TG), iyonlaştırıcı gama radyasyondan önce ve gama radyasyondan sonra sırasıyla Şekil 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20'de gösterildi. Kompozitlerin ısıl bozunmasının tek veya iki basamaklı bir bozunma olduğu gözlemlendi. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ise, ışınlanmış polimer kompozitlerinin kül miktarlarının, ışınlanmamış kompozitlerle ile karşılaştırıldığında geriye kalan kül miktarının artmış olmasıdır. Literatürde bazı kompozitlerin ısıl kararlılığı radyasyonla iyileştiğine ilişkin bilgiler verilmektedir. Bu olay malzemelerin içindeki eğilme, bükülme ve çapraz bağlanma nedeniyle olabilir. Çünkü iyonlaştırıcı radyasyonunun polimerler üzerindeki etkisinin, malzemelerin kimyasal yapılarını değiştirmek için ana kaynaklardan biri olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, polimerlerin fizikokimyasal özelliklerin değişmesine yol açtığı belirtilmiştir. Bu durum, polimerler zincirlerinin çapraz bağlanmasına,

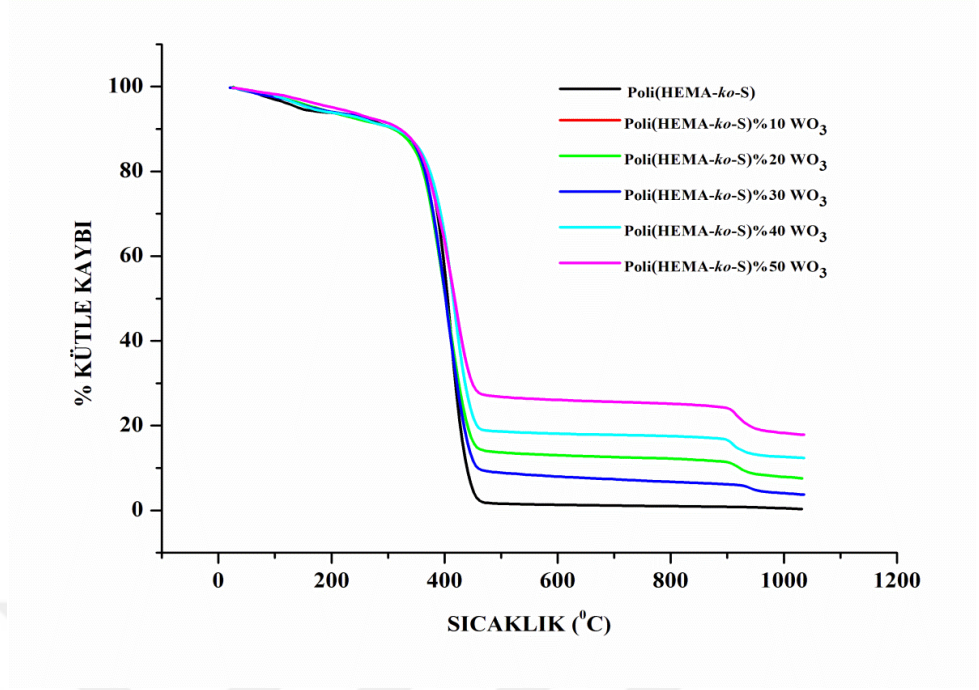
kopmasına, hatta polimer zincirlerinin bozunmasına, parçalanmasına, yani daha küçük zincir uzunluklarına sahip moleküllerin oluşmasına veya polimer zinciri içindeki çift bağların sayısında veya yapısında değişikliğe neden olabilir. (Lim, 1990; Shintani, 1991; You, 2013). Bu çalışmada ise kül miktarındaki bu artışın polimer-tungsten(VI) oksit kompozitlerinin bazı bölgelerde homojen dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



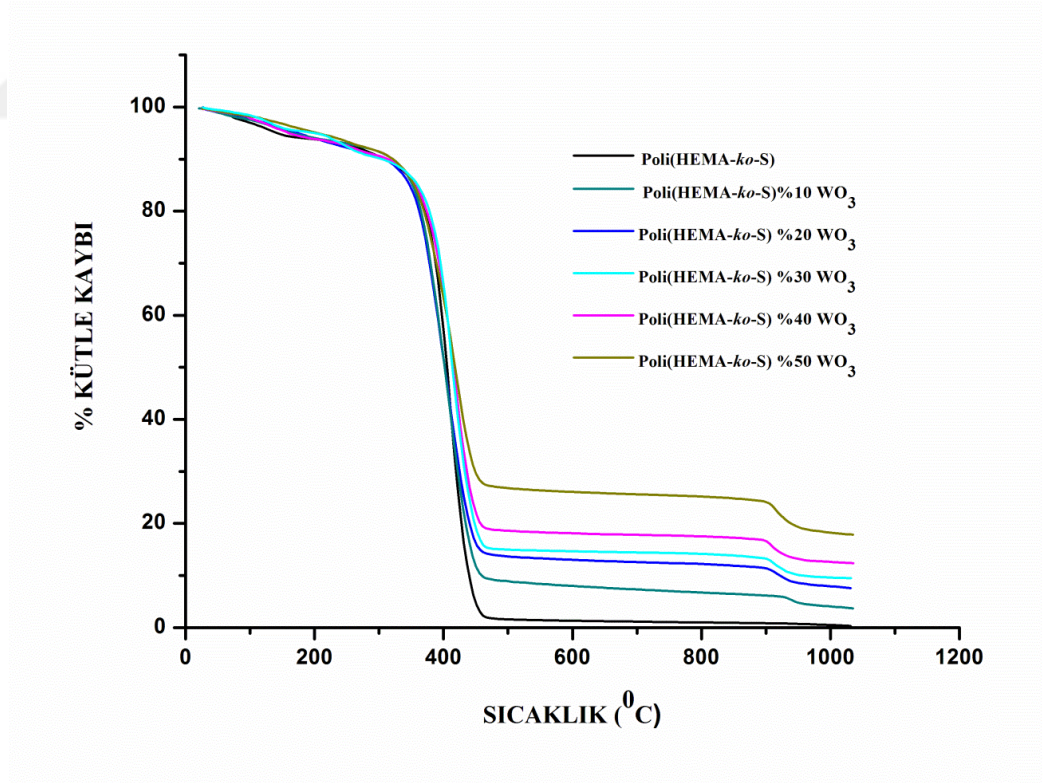
Şekil 3.15 Işınlamadan önce Poli(HEMA) ve Poli(HEMA) - $WO_3 \cdot 2H_2O$ kompozitlerinin termal bozunma eğrileri



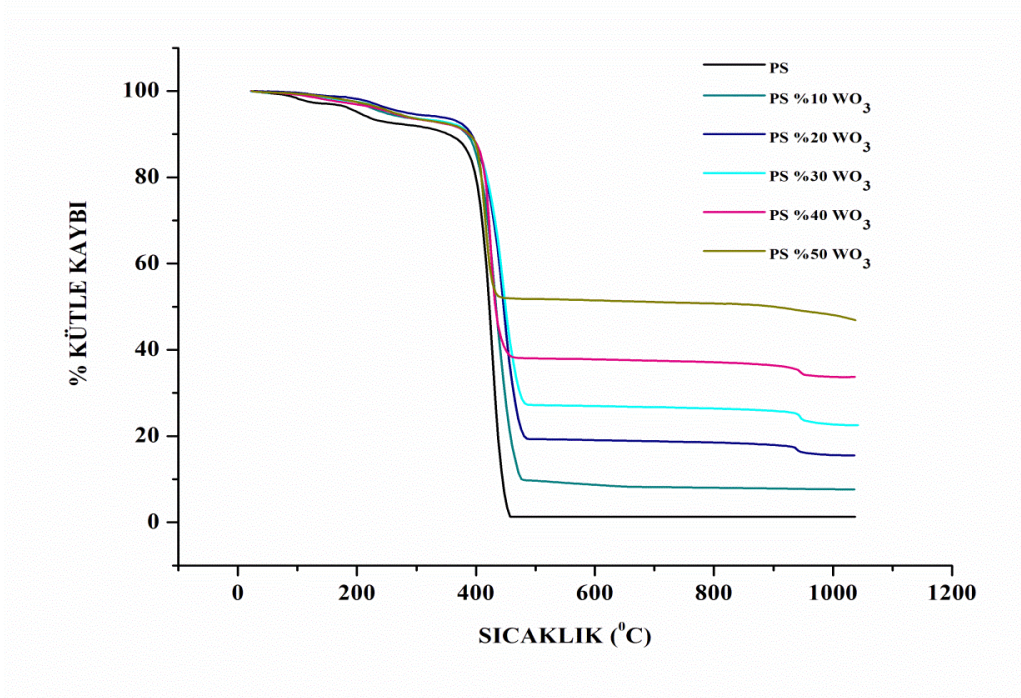
Şekil. 3.16 Işınlamadan sonra Poli(HEMA) ve Poli(HEMA) - $WO_3 \cdot 2H_2O$ kompozitlerinin termal bozunma eğrileri



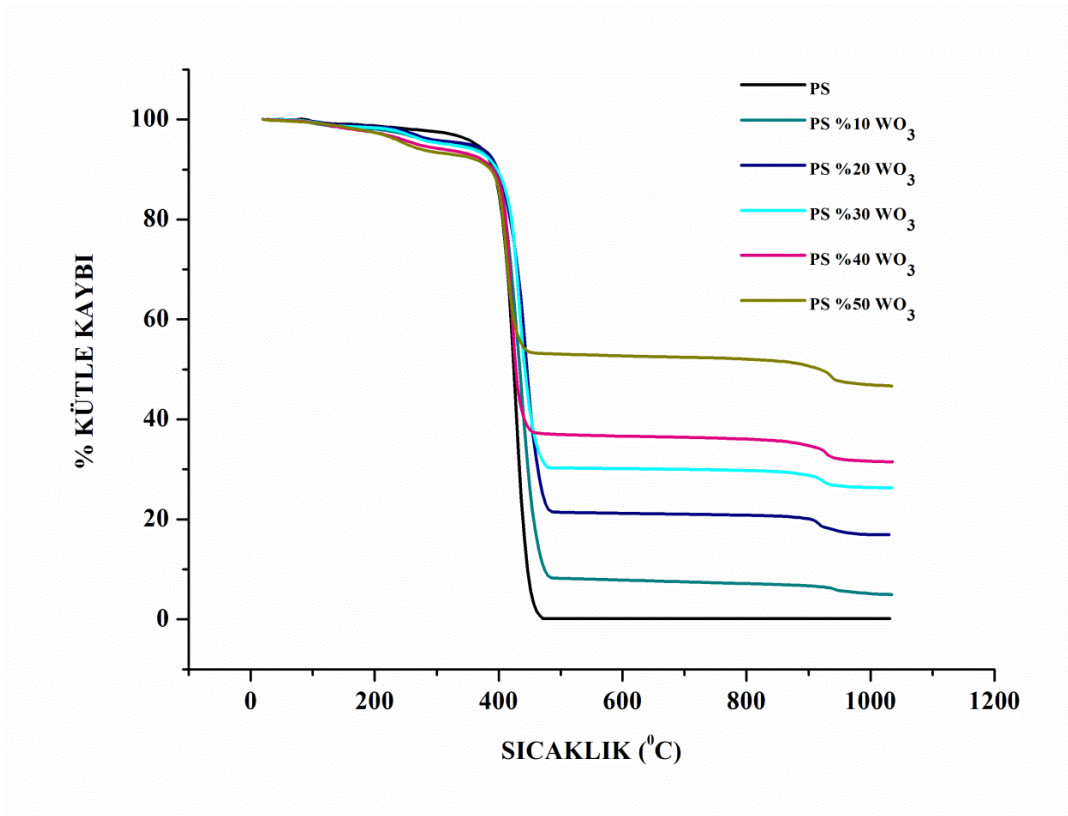
Şekil 3.17 Işınlamadan önce Poli(HEMA-ko-S) ve Poli(HEMA-ko-S)-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri



Şekil 3.18 Işınlamadan sonra Poli(HEMA-ko-S) ve Poli(HEMA-ko-S)-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri



Şekil 3.19 Işınlamadan önce PS ve PS-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri



Şekil 3.20 Işınlamadan sonra PS ve PS-WO₃.2H₂O kompozitlerinin termal bozunma eğrileri

Bu çalışmada, serbest radikal katılma polimerizasyonu yöntemine dayanarak poli(2-hidroksi etilmetakrilat), poli(2-hidroksi etilmetakrilat-*ko*-stiren) ve polistiren başarıyla sentezlendi. Daha sonra polimer- Tungsten(VI) oksit kompozitleri oluşturuldu. Polimerizasyon reaksiyonunun meydana geldiğine dair kanıtlar ^1H NMR, FTIR spektroskopileri ve GPC' den elde edildi. Polimer kompozitlerin deneysel lineer soğurma katsayıları NaI(Tl) sintilasyon dedektörü kullanılarak ölçüldü. Ayrıca deneysel sonuçları desteklemek amacıyla polimer kompozitlerin teorik lineer soğurma katsayıları XCOM programı yardımıyla hesaplandı. Deneysel lineer soğurma katsayılarının teorik lineer soğurma katsayılarına yakın olduğu gözlemlendi. Ayrıca, polimer- tungsten(VI) oksit kompozitlerinin lineer soğurma katsayılarının tungsten(VI) oksit miktarı ile arttığı görüldü. Hesaplanan geçirgenlik parametrelerinden, istenen absorpsiyon kalınlığının tüm polimerler için %50 $\text{W}_0.2\text{H}_2\text{O}$ katkısı içerdiğinde önemli ölçüde azaldığı kanıtlandı. Sonuçlarda da görüldüğü gibi, lineer soğurma katsayılarının, foton enerjisine, atom sayısına, absorplayıcı malzemenin yoğunluğuna ve kompozit malzeme bileşimine bağlı olduğu varsayımına dayanarak bunların soğurma katsayılarını etkileyen önemli parametreler olduğu kabul edildi. Termal çalışmalar, tüm polimer kompozitlerin termal karalılığının ışınlama ile hemen hemen değişmediğini, kül miktarının ise radyasyondan sonra arttığını göstermiştir. Kül miktarındaki bu artışın polimer-tungsten(VI) oksit kompozitlerinin bazı bölgelerde homojen dağılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi., B., Kılınçarslan S., ve Başyigit, C., 2010, Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate, *Ann. Nucl. Energy.* 37: 910-914.

Attix, F. H., 1986, *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*, 1 ed. Wiley-VCH, 624s.

Bel, T., Arslan, C., Baydogan, N., 2019, Radiation shielding properties of poly (methyl methacrylate) /colemanite composite for the use in mixed irradiation fields of neutrons and gamma rays, *Mater. Chem. Phys.* 221: 58-67.

Belgin, E. E., Aycik, G. A., 2015, Preparation and radiation attenuation performances of metal oxide filled polyethylene based composites for ionizing electromagnetic radiation shielding applications, *J Radioanal Nucl Chem.* 306:107–117.

Bentel, G.C.,1992, *Radiation Therapy Planning*, New York:McGraw-Hill, 514s.

Bobadilla-Sánchez, E.A., Martínez-Barrera, G., Brostow, W., Datashvili T., 2009, Effects Of Polyester fibers and gamma irradiation on mechanical properties of polymer concrete containing CaCO₃ and silica sand, *Express Polym. Lett.* 3: 615-620.

Braun, D., Cherdron, H., Rehahn, M., Ritter, H., ve Voit, B., 2005, *Polymer Synthesis Theory and Practice*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Germany,400s.

Carraher, C. E., 2003, *Polymer Chemistry*, Florida Center for Environmental Studies Palm Beach Gardens, Florida, U.S.A. 902s.

Chanda, M., ve Roy, S. K., 2009, *Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications* CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business,U.S. 47s.

REFERANSLAR(Devam)

Dendy, P. P., B. Heaton., 1999, Physics for Diagnostic Radiology, USA: CRC Press, 716s.

Durkee, R.R., High Density Composites Replace Lead,1998,
<http://www.ecomass.com/wp-content/uploads/High-Density-Composites-Replace-Lead.pdf>

Gilmore, G., 2008, Practical Gamma-ray Spectroscopy ,408s.

Gruppen, C., Cowan, G., Eidelman, S., ve Stroh, T., 2005, Springer Science & Business Media, 441 s.

ElBatal, H. A., Abdelghany A.M., ElBatal, F. H., ve Ezzeldin, F. M., 2012, Gamma rays interactions with WO₃-doped lead borate glasses, *Mater. Chem. Phys.* 134:542–548.

Erdem, M., Baykara, O., Doğru, M., Kuluöztürk, F., 2010, A novel shielding Material prepared from solid waste containing lead for gamma ray, *Radiat. Phys. Chem.* 79: 917–922.

Gorbatkina, Y.A., Ivanova-Mumzhieva, V.G., Ulyanova, T.M., 2007, Adhesiveness of and Epoxy oligomer filled with aluminum oxide powders, *Polym. Sci. Ser. C.* 49 : 131–134.

Gökçe H. S., Öztürk B.C., Çam N. F., ve Andiç-Çakır, Ö., 2018, Gamma-ray Attenuation coefficients and transmission thickness of high consistency heavyweight concrete containing mineral admixture, *Cem. Concr. Compos.* 92: 56-69.

REFERANSLAR(Devam)

Günther, K., Giebing, C., Askani, A., Leisegang, T., Krieg, M., Kyosev, Y., Weide, T., ve Mahltig. B., 2015, Cellulose/inorganic-composite fibers for producing textile fabrics of high X-ray absorption properties, *Mater. Chem. Phys.* 167: 125–135.

Harrison, C., Weaver, S., Bertelsen, C., Burgett, E., Hertel, N., ve Grulke, E., 2008, Polyethylene/boron nitride composites for space radiation shielding, *J. Appl. Polym. Sci.* 109: 2529–2538.

Hodgman, C., 1961, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Chemical Rubber Co., 44th Ed. USA, 2850s.

Hubbell. J.H. ve Seltzer, S.M., 1995, Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context, *Phys. Med. Biol.* 44: 1–22

Knoll, G.E., Arbor, A., Wiley, J., 2000, *Radiation Detection and Measurement* Third Edition, 352s.

Körpınar, B., Canbaz Öztürk, B., Çam, N.F., ve Akat, H., 2020, Radiation Shielding properties of Poly(hydroxyethyl methacrylate)/Tungsten(VI) oxide composites, *Mater.Chem. Phys.* 239: 1-8.

Krishan, K. C., 2013, *Composite Materials* Department of Materials Science and Engineering University of Alabama at Birmingham, USA, 533s.

Lamarsh, J.R., Baratta, A.J., 2001, *Introduction to nuclear engineering*, Prentice Hall, 783s.

REFERANSLAR(Devam)

Lassner, E., Schubert, W.D., 1999, Tungsten, Properties, Chemistry, Technology of the Element, Alloys, and Chemical Compounds, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Lim, S.L., Fane, A.G., ve Fell, C. J. D., 1990, Radiation-induced grafting of Regenerated cellulose hollow-fiber membranes, *J. Appl. Polym. Sci* 41(7-8):16091616.

Mahmoud, M. E., El-Khatib, A. M., Badawib, M. S., Rashada, R. A., El Sharkawy, R.M., ve Thabet, A. A., 2018, Fabrication, characterization and gamma rays shielding properties of nano and micro lead oxide-dispersed-high density polyethylene composites, *Radiation Physics and Chemistry*, 145:160-173.

Martínez-Barrera, G., Viguera Santiago, E., Hernández López, S., Gencel, O., Ureña Nuñez, F., 2013, Polypropylene Fibers as Reinforcements of Polyester Based Composites, *Int. J. Polym.* 2013:1–6.

Mecheri, B., D'epifanio, A., Luisa, M., Vona, D., Traversa, E., Licoccia, S., Miyayama, M., 2012 Sulfonated Polyether Ether Ketone-Based Composite Membranes Doped with a Tungsten-Based Inorganic Proton Conductor for Fuel Cell Applications, *J. Asia-Pac. J. Chem. Eng.*; 7: 528-533.

Osei-Mensah, W., Fletcher, J. J., ve Danso K. A., 2012, International Journal of Science And Technology Assessment of Radiation Shielding Properties of Polyester Steel Composite using MCNP5, *International Journal of Science and Technology*, 2:455-461.

REFERANSLAR(Devam)

Saçak, M., 1998, Polimer Kimyasına Giriş, Ankara Üniversitesi, Ankara, 164s.

Ramana, C.V., Utsunomiya, S., Ewing, R.C., Julien, C.M., Becker, U., Curie, M., Boucicaut, C., ve Lourmel, D., 2006, Structural stability and phase transitions in WO₃ thin films, *J. Phys. Chem. B* 3: 10430–10435.

Shintani, H., Kikuchi, H., ve Nakamura, A., 1991, Effects of gamma-ray irradiation on the Change of characteristics of polyurethane, *Polym. Degrad. Stab.*
Theremino System, 2015, Gamma Radionuclides and X Ray Spectrometry, 56s.

Tsoufanidis, N., Measurement and Detection of Radiation ,1995Nicholas , Amazon.com: Books, 3rd ed., Taylor & Francis, Washington DC, 106s.

Verdipoor, K., A, Alemi., ve Mesbahi, A., 2018, Photon mass attenuation coefficients of a silicon resin loaded with WO₃, PbO, and Bi₂O₃ Micro and Nanoparticles for radiation shielding *Radiat. Phys. Chem.*

Yue, K., Luo, W., Dong, X., Wang, C., Wu, G., Jiang, M., ve Zha, Y., 2009, A new lead-free radiation shielding material for radiotherapy, *Radiat. Prot. Dosimetry*, 133(4):256-260.

You, F., Li, Y., Zuo, Y., Li J., 2013, The Influence of Gamma-Ray Irradiation on The Mechanical and Thermal Behaviors of nHA/PA66 Composite Scaffolds. *Sci World J.*

Zor, M., 2008, Kompozit malzemelerle ilgili genel bilgiler, www.kisi.deu.edu.tr.

Zhi-meiQi, Honma, I., ve Zhou, H., 2007, Mesostructured powder of tungsten oxide surfactant compound: influence of calcination on the material's structure, *Studies in Surface, Science and Catalysis*, 165: 291-299.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın deneysel kısmının yapılmasında kullanmış olduğumuz araştırma laboratuvarını bizlere temin eden Ege Üniversitesi ve Fen Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokkimya Anabilim Dalına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca alıőmamızda deneysel kısımda kullanmış olduğumuz Canberra 3 x 3 " NaI (Tl) sintilasyon detektörü içeren gama spektroskopi cihazını bizlere temin eden Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne teşekkür ederim. Çalıőmamızın sonuçlarından elde edilen bilimsel bilginin yayın haline getirilmesinde belirli noktalarda bana yardımcı dokunan Prof. Dr. N. Fusün am'a ve Arő. Gör. Dr. Buket Öztürk'e teşekkür ederim.



ÖZGEÇMİŞ

Adı: Berna

Soyadı: KÖRPINAR

Doğum Tarihi: 03 Ocak 1995, İzmir, Türkiye

İletişim Adresi: bernatay35@hotmail.com

Eğitim:

Yüksek Lisans Derecesi: Ege Üniversitesi, Fizikokimya, 2018-2019.

Lisans Derecesi: Ege Üniversitesi, Kimya Bölümü, 2013-2018.

Yayın:

- Berna Körpınar, Buket Canbaz Öztürk, Nebiye Füsün Çam, ve Hakan Akat,** (2020), Radiation shielding properties of Poly(hydroxyethyl methacrylate)/Tungsten(VI) oxidecomposites, *Mater.Chem. Phys.* 239: 1-8.
- Berna Körpınar, Buket Canbaz Öztürk, Nebiye Füsün Çam, ve Hakan Akat,** Investigations on thermal and radiation shielding properties of the poly(Hydroxyethylmethacrylate-co-styrene)/Tungsten(VI)Oxide Composites adlı yayın Progress in Nuclear Energy dergisine gönderildi yanıt beklenmektedir.
- Berna Körpınar, Buket Canbaz Öztürk, Nebiye Füsün Çam, ve Hakan Akat,** Synthesis and characterization of polystyrene/ Tungsten(VI) Oxide Composites:Their Gamma Radiation Shielding and Thermal Properties adlı yayın International journal of Polymer Analysis and Characterization dergisine gönderildi yanıtı beklenmektedir.

4. **Berna Körpınar, Fehmi Saltan, Armađan Kınal ve Hakan Akat**

Synthesis, Characterization and Computational Investigation of Poly(styrene-co-methylpyrenylmethacrylate): its efficiency as a Macrophotoinitiator adlı yayın Macromolecular Research dergisine gönderildi yanıtı beklenmektedir.

5. **Berna Körpınar ve Hakan Akat** Synthesis, Characterization and

Thermal Degradation Kinetic of Poly(methylmethacrylate-co-methacrylic acid)

adlı yayın Celal Bayer Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisine gönderildi yanıtı

beklenmektedir.

