

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ KULLANILARAK
POLİ(METİL METAKRİLAT) MALZEMENİN ÜRETİM AŞAMASINDA
AÇIĞA ÇIKAN GAZIN POLİMER YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hanife ÇAKAR

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ KULLANILARAK
POLİ(METİL METAKRİLAT) MALZEMENİN ÜRETİM AŞAMASINDA
AÇIĞA ÇIKAN GAZIN POLİMER YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hanife ÇAKAR
(302131003)**

Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı

Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı Prof. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN

HAZİRAN 2016

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302131003 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hanife ÇAKAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ KULLANILARAK POLİ (METİL METAKRİLAT) MALZEMENİN ÜRETİM AŞAMASINDA AÇIĞA ÇIKAN GAZIN POLİMER YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İskender Atilla Reyhancan**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem Atar
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **09 Mayıs 2016**
Savunma Tarihi : **06 Haziran 2016**





Aileme ve sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında ve oluşumunda değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım; yönlendirme ve sabrıyla çalışmamı şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Nilgün BAYDOĞAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Ayrıca İTÜ ATUM'daki genç araştırmacılardan Yük. Müh. Tayfun Bel'e yardımlarından ötürü teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Bugünlere gelmemde en büyük payı olan, benden ve kardeşlerimden desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen fedakar annem Meliha Çakar ve babam Ali Çakar'a, her sıkıntım ve mutluluğumda daima benimle olan kardeşlerime en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca verdiğim tüm kararlarda hep yanımda olan ve bana en büyük desteği veren yol arkadaşım Ahmet Demiral'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2016

Hanife ÇAKAR
(Bilişim Sistemleri Uzmanı)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Çalışması	3
2. POLİ(METİL METAKRİLAT) (PMMA) MALZEMELERİN TANITIMI ...	5
2.1 Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimer Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	7
2.1.1 PMMA'nın endüstride kullanıldığı alanlar	9
3. RADYASYONUN MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	11
3.1 Radyoaktivite ve Radyasyon Tipleri	11
3.1.1 Alfa parçacıkları.....	13
3.1.2 Beta parçacıkları	14
3.1.3 Gama ışınları	14
3.1.4 Nötron ışınması	15
3.1.5 Elektromanyetik radyasyon.....	15
3.2 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları.....	16
3.2.1 Elektromanyetik radyasyonların madde tarafından soğurulması	17
3.2.1.1 Fotoelektrik olay	18
3.2.1.2 Compton saçılması.....	20
3.2.1.3 Çift oluşum.....	20
3.3 Polimer Malzemelerin Tanımı ve Özellikleri.....	21
3.3.1 Polimerlerin özellikleri	24
3.3.2 Polimerlerin sınıflandırılması	24
3.4 Polimer Malzemelerin Radyasyon Karşısında Davranışları	25
3.5 ATRP Yöntemi ile Üretilen PMMA'nın Genel Özellikleri	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
4.1 İncelenen PMMA Polimer Örnekler, Deneysel İşlemler ve Deney Düzeneklerinin Tanıtımı	29
4.2 Gama Işınları ile Yapılan Radyasyon İşlemleri	31
4.2.1 Kullanılan Co-60 radyoizotopunun tanıtımı	31
4.2.2 Çalışılan Cs-137 radyoizotopunun tanıtımı	32
4.2.3 Gama transmisyon tekniğinde kullanılan deney düzeneğinin tanıtımı	34
4.3 Spektrofotometrik Ölçümler	35
4.4 XRF Cihazında Ölçümler	37

4.5 Deneyin Yapılışı.....	39
4.5.1 Gama radyasyonu sayım işlemleri	39
4.5.1.1 Materyal üretimi	40
4.5.1.2 ATRP tarafından canlı polimerizasyon PMMA'nın sentezi	41
4.5.1.3 Karakterizasyon.....	42
5. DENEY SONUÇLARI.....	45
5.1 PMMA Polimerin Optik Mikroskop Görüntüleri.....	45
5.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Ölçümleri	47
5.3 TGA/DSC Analiz Sonuçları	49
5.4 Solüsyonda Açığa Çıkan Gazın Yapıdan Uzaklaştırılması İşleminin PMMA Polimer Yapının Kimyasal Kompozisyonuna Etkisi.....	51
5.5 Solüsyonda Açığa Çıkan Gazın Yapıdan Uzaklaştırılması İşleminin Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimerin Optik Geçirgenlik Özelliğine Etkisinin İncelenmesi.....	52
5.6 Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimerin Optik Yansıtıcılık Özelliğine Degas Etkisinin İncelenmesi	54
5.7 PMMA Canlı Polimerin Gama Transmisyon Özelliklerinin İncelenmesi	56
5.7.1 Cs-137 radyoizotopu kullanılarak gama transmisyon özelliklerinin incelenmesi.....	56
5.7.2 Co-60 radyoizotopu kullanılarak gama transmisyon özelliklerinin incelenmesi.....	58
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

KISALTMALAR

ATRP	: Atom transfer radical polymerization
CRP	: Controlled radical polymerization
FTIR	: Fourier transform infrared spectroscopy
IR	: Kızılötesi spektroskopisi
NIR	: Yakın kızıl ötesi
PMMA	: Poli(Metil Metakrilat)
RAFT	: Reversible addition-fragmentation chain transfer
TGA/DSC	: Thermogravimetric analysis/differential scanning calorimetry
UV	: Mor ötesi
VIS	: Görünür bölge
XRD	: X-Işını kırınım spektrometresi
XRF	: X-Işını floresans spektrometresi
YDK	: Yarı-değer kalınlık



SEMBOLLER

Am-Be	: amerikyum-berilyum
Ar	: argon
Bu₄NBr	: Tetrabutylammonium Bromide
C-14	: kütle numarası 14 olan Karbon
C₇H₈O₂	: Mono Methyl Ether
C₉H₂₃N₃	: Pentamethyldiethylenetriamine
Cf-232	: kütle numarası 232 olan Kaliforniyum
Co-60	: kütle numarası 60 olan Kobalt
Cs-137	: kütle numarası 137 olan Sezyum
Cu	: bakır
CuBr	: copper(I) bromide
E	: gelen fotonun enerjisi
E_b	: elektronun bağlanma enerjisi
I	: ortamdaki geçen elektromanyetik radyasyon şiddeti
I₀	: ortam radyasyonu
K-40	: kütle numarası 40 olan Potasyum
Kr-88	: kütle numarası 88 olan Kripton
mCi	: miliCurie
Ppm	: (parts per million) milyonda bir
R(%)	: optik yansıtıcılık (%)
Sr-90	: kütle numarası 90 olan Stronsiyum
T(%)	: optik geçirgenlik (%)
T_e	: kinetik enerji
T_g	: camsı geçiş sıcaklığı
x	: soğurucu malzeme kalınlığı
X_{1/2}	: soğurucu malzemenin yarı kalınlığı
α	: alfa ışınması
β	: beta ışınması
γ	: gama ışınması
ΔT	: sıcaklık farkı
λ	: dalga boyu
μ	: lineer soğurma katsayısı
μCi	: mikroCurie



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : PMMA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	8
Çizelge 2.2 : PMMA'nın karakteristik özellikleri	9
Çizelge 3.1 : Alfa aktif bazı radyoizotoplar.....	13
Çizelge 3.2 : Beta aktif bazı radyoizotop kaynaklar.....	14
Çizelge 3.3 : Bazı gama aktif radyoizotop kaynaklar.....	15
Çizelge 3.4 : Nötron yayını yapan ikili sistemler.....	15
Çizelge 4.1 : Deneilerde kullanılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynağının özellikleri	33
Çizelge 4.2 : Deneilerde kullanılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynaklarının karşılaştırılması.....	33
Çizelge 5.1 : PMMA'nın infrared spektrumu.....	47
Çizelge 5.2 : ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimerde tespit edilen bağlar....	48
Çizelge 5.3 : PMMA polimer yapının alt ve üst yüzeylerinin XRF analizi.	51
Çizelge 5.4 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.....	57
Çizelge 5.5 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.....	57
Çizelge 5.6 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.....	58
Çizelge 5.7 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.....	58
Çizelge 5.8 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.	59
Çizelge 5.9 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.	59
Çizelge 5.10 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri	59
Çizelge 5.11 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri...	60
Çizelge 5.12 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan farklı kalınlıklardaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.....	60
Çizelge 5.13 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan farklı kalınlıklardaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.	61



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : PMMA'nın üretim şeması	6
Şekil 3.1 : Radyasyonun çeşitleri	12
Şekil 3.2 : Elektromanyetik spektrum.	16
Şekil 3.3 : Elektromanyetik radyasyonun alüminyum ile etkileşimi	18
Şekil 3.4 : Fotoelektrik olay	19
Şekil 3.5 : Compton saçılmasının şematik gösterimi	20
Şekil 3.6 : Çift oluşum	21
Şekil 3.7 : Polimerin oluşum yapısı	21
Şekil 3.8 : Maddenin yapısı	22
Şekil 3.9 : Polimer zincir biçim ve ilişkilerinin şematik gösterimi	23
Şekil 4.1 : Cam frit (a) tabanı (b) genel görüntüsü.	30
Şekil 4.2 : (a) Homojenizasyon (b) Solüsyon içinde çözünmüş..... gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi gerçekleştirilmesi (13 saat) (c) Canlı PMMA (17saat)	31
Şekil 4.3 : ATRP yöntemi ile üretilen canlı polimer PMMA	31
Şekil 4.4 : Çalışılan Co-60 radyoizotop kaynak.	32
Şekil 4.5 : Çalışılan Cs-137 radyoizotop kaynak.....	33
Şekil 4.6 : Gama transmisyon tekniğinin genel şeması	35
Şekil 4.7 : (a) Gama transmisyon sayım düzeneği, (b) örneğin düzeneğe yerleşimi (c) sayımların bilgisayara aktarılması (d) kullanılan kolimatör.....	35
Şekil 4.8 : (a) Optik ölçüm sistemi (b) ölçüm yapılan UV- VIS spektrofotometre... 36	
Şekil 4.9 : Optik ölçümlerin yapıldığı spektrofotometrenin (a) geçirgenlik (b) yansıtıcılık ölçüm alanları.....	37
Şekil 4.10 : (a) XRF cihazına PMMA örneklerin yerleşimi, (b) XRF cihazına yerleştirilen PMMA örneğinin yakından görüntüsü, (c) XRF sonuçlarının bilgisayar ortamına aktarılması.....	39
Şekil 4.11 : (a) atmosferik şartlarda Argon bağlantısı, (b) vakum pompa bağlantısı	41
Şekil 4.12 : Silikon yağ banyosunda degas işlemi.....	41
Şekil 4.13 : ATRP canlı polimerizasyon PMMA'nın morfolojisindeki kürlenme etkileri	42
Şekil 4.14 : Atmosferik şartlarda kürlenmiş PMMA'nın XRD görüntüsü	43
Şekil 4.15 : Argon atmosferi altında kürlenmiş PMMA'nın XRD görüntüsü	43
Şekil 5.1 : Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan ve (b) Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanan PMMA polimer yapı	45
Şekil 5.2 : Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan PMMA polimer yapının optik mikroskop görüntüleri. 46	
Şekil 5.3 : Degas edilmiş PMMA polimer yapının optik mikroskop görüntüleri.	46
Şekil 5.4 : Literatürde arz edilen PMMA yapının FTIR ölçümleri	47
Şekil 5.5 : ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimerin FTIR analiz sonuçları... 48	
Şekil 5.6 : PMMA polimerin TGA/DSC analizi	49

Şekil 5.7 : (a,b) ATRP yöntemi ile üretilen, Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan PMMA polimerin TGA/DSC analizi.....	50
Şekil 5.8 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik geçirgenliği.	52
Şekil 5.9 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik geçirgenliği.	53
Şekil 5.10 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik geçirgenliği.	53
Şekil 5.11 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik geçirgenliği.	54
Şekil 5.12 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.	54
Şekil 5.13 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik yansıtıcılığı.....	55
Şekil 5.14 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.	55
Şekil 5.15 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan,0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.	56
Şekil 5.16 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda PMMA'nın Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değişimi.	62
Şekil 5.17 : Gazın uzaklaştırılması durumunda PMMA'nın Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değişimi.	62
Şekil 5.18 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda PMMA'nın Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değişimi.	63
Şekil 5.19 : Gazın uzaklaştırılması durumunda PMMA'nın Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değişimi.	63

GAMA TRANSMİSYON TEKNİĞİ KULLANILARAK POLİ (METİL METAKRİLAT) MALZEMENİN ÜRETİM AŞAMASINDA AÇIĞA ÇIKAN GAZIN POLİMER YAPIYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

PMMA yüksek saydamlıkta termoplastik bir polimerdir ve metilmetakrilat monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Saydamlığı, estetik ve çizilme dayanıklılığından dolayı son dönemlerde endüstriyel açıdan da tercih edilen bir polimerdir. Cam ve polistirenden daha iyi darbe mukavemetine sahip olan PMMA; estetik, ekonomik, yapımı ve tamiri kolay olduğu için yaygın kullanım alanına sahiptir. PMMA'nın darbe ve yorulmaya karşı direncini artırmak için çeşitli metodlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında PMMA'a alternatif yeni bir madde geliştirmek, PMMA'nın kimyasal yapısını modifiye etmek, çeşitli güçlendiriciler ile PMMA'ı desteklemek gibi yöntemler vardır. PMMA'nın camsılaşma sıcaklığı 105 °C civarındadır. Mükemmel bir optik saydamlığa sahiptir ve bu özelliğini ışık geçirgenliğinin önemli olduğu uygulamalarda kullanmak mümkündür. Güneş ışınlarına dayanımı (UV dayanımı) ve hava etkisiyle aşınmaya karşı mükemmel bir dirence sahiptir. PMMA 35 cm kalınlığa kadar saydamlığını kaybetmeden üretilebilir. PMMA'nın çekme direnci 70 MPa değerlerine kadar çıkar. Isıya dayanıklı PMMA'nın yük altında eğilme sıcaklığı 90 °C'nin üzerine kadar çıkabilir ve kalıplaşması genel olarak kolay olan bir plastiktir.

PMMA rezinler genellikle ısı ile polimerize edilir. Gama ışınlama ile polimerizasyon yöntemi polimer endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. PMMA, günümüzde sentetik elyaf ve boyalarda kullanılır. Çok serttirler ve camdan daha saydamdırlar. PMMA genellikle pleksiglas ticari isimleriyle satılır ve bir çok alanda cam olarak kullanılırlar. İkinci dünya savaşından sonra ise uzay ve otomotiv sanayindeki gelişmelerle birlikte bu alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise elektronik sanayisinde, raylı sistemlerde, spor aletleri üretimi gibi birçok alanda kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Söz konusu yüksek lisans tez çalışmasında, ATRP (atom transfer radikal polimerizasyonu) yöntemiyle üretilen PMMA polimerinin karakteristik özellikleri incelenmiştir. Co-60 ve Cs-137 radyoizotopları kullanılarak gama ışınlarına maruz bırakılmıştır. Gama radyasyonu ile ışınlama sırasında solüsyon içinde çözünmüş gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanan ve uygulanmayan PMMA polimer malzemelerin yapısal özellikleri incelenmiştir. Yapısal özelliklerindeki değişimler ve optik özellikleri de etkilemiştir. Bu nedenle, solüsyon içinde çözünmüş gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanan ve uygulanmayan PMMA polimer malzemelerin optik özelliklerindeki değişimler 190–1100 nm dalga boyu aralığında PG Instruments T80 UV-Vis-NIR spektrofotometre ile belirlenmiştir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan üretilen PMMA polimer örneklerine ait görüntülerde yapının yeterince homojen olmadığı görülmektedir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması sayesinde, yapıda kompaktlık sağlanırken, mikroskop görüntülerinde ise bu yapının daha homojen olduğu görülmektedir.

PMMA polimer yapının geçirgenlik ve yansıtıcılık eğrilerindeki değişimler ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Daha sonra, XRF ölçüm cihazına yerleştirilen farklı kalınlıklardaki PMMA numunelerin ölçümleri alınmıştır. XRF sistemleri ile farklı formlardaki numunelerde sodyum-uranyum aralığındaki elementlerin analizleri numune matrisine bağlı olarak, ppm-% konsantrasyon mertebesinde yapılmaktadır. ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimer malzemeler için 650–4000 cm^{-1} aralığında gerçekleştirilen FTIR ölçümleri yapılmıştır. FTIR analiz sonuçları literatür ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında, farklı kalınlıklara sahip PMMA polimer örnekler üzerinde çalışılmıştır. Her bir kalınlık için Co-60 ve Cs-137 radyoizotoplar kullanılarak gama transmisyon düzeneğinde sayımlar alınmıştır. Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının malzeme içinden geçerken malzeme atomları ile etkileşmesi esasına dayanmaktadır. Bu etkileşmeler neticesinde gama ışınları enerjilerinin bir kısmını veya tamamı kaybetmektedirler. Gama radyoizotop kaynağı ve dedektör malzemenin her iki tarafına aynı eksende olacak şekilde yerleştirilerek kaynaktan çıkarak malzemeyi kateden radyasyon şiddeti ölçülmektedir.

Bu tez çalışmasında, gama transmisyon tekniği ile, Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak, farklı niteliklerde üretilen PMMA polimer örneklerin,

radlyasyon zayıflatma katsayıları tayini yapılmasına ilişkin deneysel bir inceleme yapılmıştır. Sabit deney geometrisinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Sistem kurulduktan sonra ilk olarak sistemin ortam radyasyonu (background) ölçülmüştür. Daha sonra malzeme konulmadan kaynaktan çıkan ve kolimatörü geçerek dedektöre ulaşan başlangıç gama radyasyonu (I_0) ölçülmüştür. Bu çalışmalardan sonra her bir malzeme için farklı kalınlık değerlerinde numuneler kolimatör önüne yerleştirilerek her kalınlık değeri için gama radyasyonu (I) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ortam radyasyonunun ölçülen sayım değerlerinden çıkarılması ile net sayım değerleri elde edilmiştir. Her bir malzemenin farklı kalınlıkları için elde edilen net sayım değerleri net başlangıç sayımına bölünerek bağıl sayım (I/I_0) değerleri belirlenmiştir. Malzemelerin bağıl sayım-kalınlık grafikleri oluşturularak gama zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olup buradan hareketle malzemelerin birbirleri ile mukayese edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Bu sayımlardan yola çıkarak numunelerin standart sapmaları ve bağıl sayımları belirlenmiştir. Elde edilen bağıl sayımların analizi ile lineer zayıflatma katsayılarına ulaşılmıştır. Ulaşılan sonuçlar neticesinde PMMA polimer örneklerin kalınlığı arttıkça, örneklerin yansıtıcılığın arttığı görülürken, PMMA polimer örneklerin kalınlığı arttıkça geçirgenliğinin de azaldığı tespit edilmiştir.



INVESTIGATION OF EMITTED GAS EFFECT ON POLYMER STRUCTURE BY USING GAMA TRANSMISSION TECHNIQUE IN PRODUCTION PROCESS OF POLY (METHYL METHACRYLATE)

SUMMARY

PMMA (poly methyl methacrylate) is a thermoplastic polymer in high transparency and is made of polymerization of methylmethacrylate monomer. By its aesthetic appearance, transparency and scratch resistance, it is highly preferred polymer for industrial usage during last decades. PMMA which has better impact resistance comparing to glass and polystyrene, has wider scope for area of usage, by dint of its aesthetic, economic and simplicity to produce and to repair. To increase its resistance level against fatigue and impact, there have been improved sort of methods. Those methods aimed to produce an alternative matter for PMMA, to modify the chemistry of PMMA, to support PMMA with some strengthening matters.

Glass-transition temperature of PMMA is about 105 °C. It has perfect optical transparency and is possible to use this specification on the applications that are based on light transmittance. It has excellent UV and weathering resistance. PMMA can be produced till 35 cm without losing its transparency. The tensile strength of PMMA can reach 70 MPa measure. Temperature of deflection under load of thermoplastic PMMA can reach over 90 °C and it is generally easy moulding plastic.

PMMA is generally polymerized by heat. The polymerization method with Gamma Rays is commonly used on the polymer industry. PMMA has been seen in synthetic fiber and paints. These materials are pretty strong, tough and more transparent comparing with glass. PMMA is called 'plexiglass' as its market name and it's been used in many industries as glass. After world war 2, following the technological developments on space and automotive industries, it also came into use in those industries. In today's world, composite materials are preferred in many industries such as electronic, rail systems and sports equipments.

During the thesis study of master degree, the characteristic features of PMMA which is produced by ATRP (Atom Transfer Radical Polymerization) method, are examined. Using Co-60 and Cs-137 isotopes, it had been exposed to gamma rays. During the process of being exposed to gamma rays, both structural characteristics which are applied and non-applied dissolved gas in solution free from the structure application of polymer PMMA are examined. The changes in structural characteristics influenced the optical properties, too. Therefore, the changes of optical properties of applied and non-applied dissolved gas in solution free from structure application polymer PMMA materials are indicated with PG Instruments T80 UV-VIS-NIR spectrophotometer in 190–1100 nm wavelength range.

During the examination of samples of pmma which was produced by non-applied dissolved gas in solution free from the structure method, it is seen that the structure of PMMA is not homogeneous enough. By dint of dissolved gas in solution free from the structure method, obtaining compactness in the structure, it is seen that the structure is more homogeneous in the photomicrographs.

The changes in curves of transmittance and reflectance of PMMA polymer structure are analyzed in detail. After, the measures of PMMA samples in different thickness that are put into XRF analysis machine are collected. The elements of samples in different forms that are in sodium-uranium gap are analyzed in ppm % concentration level with XRF system, according as sample's matrix. FTIR analyses are done in 650–4000 cm^{-1} gap for PMMA polymer materials that have been produced by ATRP method. The results of FTIR analyses are analyzed comparing the technical literature.

In this study, PMMA samples in different thicknesses were worked on. For each thickness, using the Co-60 ve Cs-137 radioisotopes, countings were collected by gamma transmission mechanism. Gamma transition method is based on interaction between atoms of matter and gamma rays while they are passing-through the matter. As a result of these interactions, gamma rays loose a part or all of energy. Putting the gamma radioisotope source and detector materials in the same line, intensity of gamma rays that are emanting from the source and passing-through the material are measured.

In this study, with gamma transition method, an experimental research, related to the definition of radiation attenuation coefficient of PMMA polimer samples that are

produced in different qualifications, using Cs-137 and Co-60 gamma radioisotopes sources, is done. The researches are done in stationary test conditions. After the system is build, first of all, the background radiation of system is measured. Afterwards, without putting the material, inception gamma radiation (I_0) that is emanating from the source, passing-through collimator and reaching the detector is measured. After that work, putting the samples in different thicknesses for each matter in front of the collimator, gamma radiation (I) for each thickness is measured. With taking away the background radiation values (I_0) from the measured counting values (I), clear values are obtained.

Dividing the measured clear counting values by inception counting values (I/I_0) for every different thicknesses of each material, the relative counting values are obtained. Creating relative counting–thickness graphs, gamma attenuation curves are obtained. From this point of view, the matters are examined with comparing each others. Based on these countings, standard deviations and relative countings of samples were determined. Linear attenuation coefficients were reached by analyses of acquired relative countings. As a result of acquired conclusion, the increment in reflectance and decrease in transmittance of PMMA polymer sample, when the thicknesses of PMMA polymer sample are increased, are determined.



1. GİRİŞ

Radyasyon; dalga tabiatına uygun olarak, parçacık akımı ile uzaya veya bir ortama enerji transfer edilişi olarak ifade edilmektedir (Knoll, 2002). Ağır elementler (çekirdeğinde 83 den fazla proton barındıranlar), kararsız oldukları için daha küçük atomlara dönüşmektedir. Bu yolla enerji veren elementlere ise “radyoaktif elementler” adı verilmektedir. Radyoaktif elementler temel olarak alfa, beta ve gama olmak üzere, üç ana tip enerji salınımında bulunmaktadır. Ayrıca nötronlar ve hızlandırıcılar da radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır (Knoll, 2002). Doğal radyasyonun kaynağı ise doğal radyoizotoplar olmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte malzemelerin giderek azalan madde boyutlarında yapısı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. İncelenecek büyüklükler küçüldükçe malzemenin özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi için kullanılan unsurların başında radyasyon gelmektedir. Bilim ve sanayinin temel hedefleri arasında malzemelerin özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilebilmesi yer almaktadır. Bu bağlamda radyasyon ile madde arasındaki etkileşimin incelenmesi ve irdelenmesi bilim ve teknoloji açısından büyük önem taşımaktadır (Büyük, 2013).

Malzemenin nano yapısı üzerinde bilgi sahibi olmak için kullanılan radyasyon kaynakları arasında X-ışınları, gama ışınları, nötronlar, elektronlar, protonlar, yüksek enerjili iyonlar yer almaktadır. Bu durumda radyasyonun malzeme ile etkileşiminin ortaya çıkarılabilmesi için radyasyon türleri ve yapıları hakkında da önemli ölçüde bir bilgi birikimine ihtiyaç vardır.

Radyasyon ile madde etkileşimi neticesinde malzeme hakkında elde edilen bilgiler malzemelerin yapısı hakkında yeni yaklaşımlar oluşturulmasını sağlamıştır. Malzemenin nano yapıdaki özelliklerinin ortaya çıkarılması malzemelerin sanayide kullanım imkanlarının genişlemesine sebep olmaktadır. Ayrıca malzeme özelliklerinin çalışılması düşünülen amaçlar doğrultusunda geliştirilebilmesi ve farklı amaçlar için kullanım şartlarının sağlanabilmesi mümkün olabilmektedir. Elde edilen bilgi birikimlerinin hayata geçirildiği alanlar arasında enerji sektörü, uçak-uzay sanayi,

inşaat, elektronik-bilgisayar uygulamaları, maden, tıp ve nükleer teknoloji, yer almaktadır (Büyük, 2013).

Nükleer teknoloji, başta enerji sektörü olmak üzere tıp, tarım, bilimsel araştırmalar, sanayi ve arkeometri gibi alanlarda uygulamalarıyla kendini göstermektedir (Földiak, 1986; Tuğrul, 1986). Diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında ise önemli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajların başlıcaları; ucuz enerji eldesi, emre amade oluşu, diğer kaynaklara göre birim kütle başına yüksek enerji eldesi sayılabilir. Bunların yanında atıkların kontrolü, ilk yatırım maliyeti, radyasyon güvenliği dezavantajlar arasında sayabileceğimiz özelliklerdendir (Oray, 2007).

Bunun yanında nükleer mühendislikte doğru malzeme seçimi, kullanımı ve malzemelerin birbirine uyumluluğu üzerinde hassasiyetle durulması gereken bir konudur. Nitekim birçok nükleer reaktör tipi malzeme adı ile anılmaktadır. Bunlar arasında hafif sulu, ağır sulu, gaz-grafit vb. gibi reaktör tipleri sayılabilir. Öte yandan, nükleer reaktörlerde diğer mühendislik alanlarıyla ilgili tesislerde bulunmayan, radyasyonla çalışmanın getirdiği sorunlar da bulunmaktadır (Shultis, 2000). Radyasyonun insan sağlığına olumsuz etkilerinin olabilmesi, bu etkilerin bilinmesini gerektirmektedir.

Öte yandan, radyasyonun malzeme özellikleri üzerinde de farklı etkileri ve çoğu kez de istenmeyen etkileri söz konusudur. Dolayısı ile radyasyonun madde ile etkileşimi ve malzemenin radyasyon karşısındaki davranışı nükleer mühendislik açısından önem arz etmektedir (Göksel, 1973). Radyasyonun malzeme ile etkileşmesinin incelenmesi, radyasyondan korunmak için gerekli malzeme seçimi açısından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda nükleer teknolojide radyasyonun olumsuz etkilerinden korunmak için farklı amaçlarla kullanılacak malzemelerin ve alaşım elemanlarının araştırılması ve geliştirilmesi de önemli bir husustur (Büyük, 2013).

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında ATRP yöntemiyle üretilen PMMA polimerinin karakteristik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, metil metakrilatın polimerleştirilmesi sırasında kullanılacak bir radikal başlatıcı oluşturulmuş ve bu başlatıcı ATRP reaksiyonunda etkin bir şekilde kullanılmıştır. Gama transmisyon tekniği kullanılarak poli(metil metakrilat) malzemenin üretim aşamasında açığa çıkan gazın polimer yapıya etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Çalışması

Literatür taraması yapıldığında nükleer teknoloji içinde kullanılabilir malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi amacıyla yönelik çok sayıda araştırma bulabiliriz. Literatürdeki bu araştırmaların incelenmesi ve değerlendirilmesi neticesinde elde edilebilecek bilgi ve yorumlar ile ileri teknoloji ürünü olabilecek malzemelerin geliştirilebilmesi olanaklı hale gelebilecektir.

Kharita ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada Suriye’de kullanılan iki çeşit ve kendi hazırladıkları dört çeşit beton, toplamda altı farklı beton türünün radyasyon karşısındaki zırhlama özelliklerini incelemişlerdir. Işınlamalarda gama kaynağı olarak Cs-137 ve Co-60, nötron kaynağı olarak ise Am-Be nötron kaynak sistemini kullanmıştır. Yaptıkları deneyler neticesinde her bir radyasyon çeşidi için lineer zayıflatma katsayılarını ve yarı-değer kalınlıklarını (YDK) hesaplamışlardır. YDK değerlerinden yola çıkarak farklı beton türlerinin Cs-137, Co-60 ve Am-Be nötron kaynakları için zırh özelliklerini birbirleri ile karşılaştırmışlardır.

Alam ve diğ. (2001) yaptıkları çalışmada Bangladeş’in bazı bölgelerindeki toprak ve inşaat malzemelerinin 276,1, 302,8, 356,0, 383,8, 661,6 1173,2 ve 1332,5 keV enerjili γ -ışınları karşısındaki davranışlarını inceleyerek bu malzemelerin lineer ve kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlardır. Ayrıca elde ettikleri sonuçları farklı ülkelerdeki aynı tip malzemeler ile karşılaştırarak sonuçlarını belirtmişlerdir.

Kharita ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada Suriye’deki bazı beton çeşitlerinin radyasyon korunmasına karşı geliştirilmeleri ve zırh özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynaklar ve Am-Be nötron kaynağı olarak kullanılmıştır. Elde ettikleri değerler sonucunda bazı beton malzemelerin yarı kalınlık değerlerini %10 oranında düşürebildiklerini belirtmişlerdir.

Han ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmalarda bazı doğal minerallerin 22.1, 25.0, 59.5 ve 88 keV enerjili fotonlara ilişkin kütle zayıflatma katsayılarını hesaplamışlar ve elde ettikleri deneysel verileri XCOM bilgisayar programından hesapladıkları teorik zayıflatma katsayıları ile uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca kütle zayıflatma katsayısının efektif atom ve elektron numaralarının kütle zayıflatma katsayıları ile ilişkisini çalıştıkları malzemeler için açıklamışlardır.

Mortazavi ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada kolemanit ve galena katkılı ağır beton (CoGa) üretmişler ve ürettikleri bu betonun radyasyon zırh özelliklerini standart beton ile karşılaştırmışlardır. Deneylerde radyasyon kaynağı olarak Co-60 gama ve Am-Be nötron kaynaklarını kullanmışlardır. CoGa betonun Co-60 için yarı-değer kalınlığını 2.49 cm olarak ölçmüşler ve standart betona (6 cm) göre daha iyi zırh özelliğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca CoGa betonun standart betona göre % 10 daha iyi nötron zırh performansına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Alkan ve ark. (2009), emülsiyon polimerizasyonu ile PMMA duvarlı mikro yapılar üretmiş ve karakterize etmişlerdir. ~ 0,16 µm çapında üretilen kapsüllerin pürüzsüz küreler şeklinde olduğunu ve erime sıcaklığı ve entalpilerinin sırasıyla 41 °C ve 54,6 J/g olduğunu rapor etmişlerdir (Görgün, 2014).

Sarı ve ark. (2009), n-oktacosan içerikli PMMA duvarlı mikro yapılar üretmiş ve bu malzemenin erime sıcaklık ve entalpisini sırasıyla 50,6 °C ve 86,4 J/g olarak ölçmüşlerdir (Görgün, 2014).

2. POLİ(METİL METAKRİLAT) (PMMA) MALZEMELERİN TANITIMI

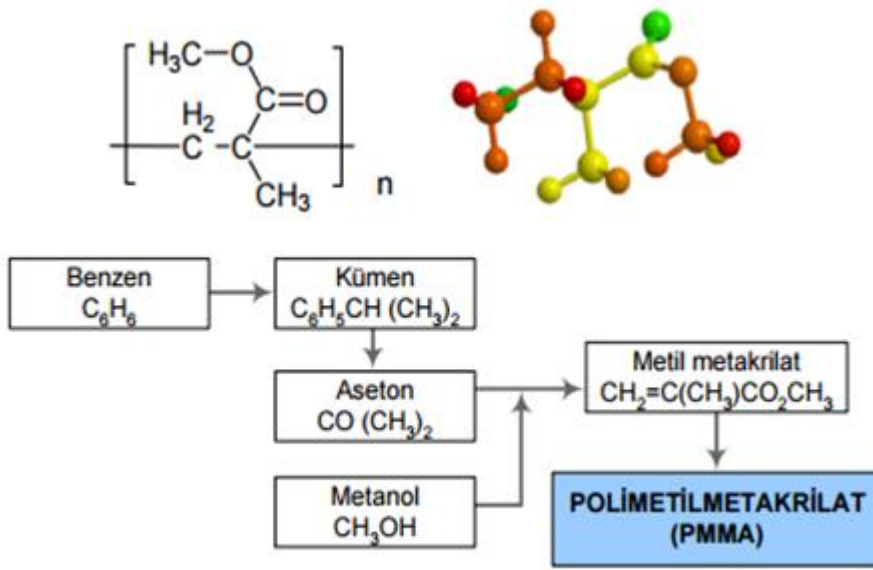
Poli(metil metakrilat) (PMMA), oldukça yaygın ve geniş kullanım alanlarına sahip önemli bir polimerik malzemedir. İlk olarak 1877’de Alman kimyacılar Fittig ve Paul tarafından elde edilmiştir. Daha sonra 19. yüzyılın ikinci yarısında protez kaidelerinin yapımında PMMA kullanılmaya başlanmıştır. İkinci dünya savaşının sonunda ise ülkelerin sakat nüfusunun artması ve uzuv kaybı olan insanların fazlalığı ile birlikte, yapay vücut organı üzerindeki çalışmalar artmıştır. İlk olarak 20. yüzyılın ilk yarısında kemik kırıklarının iyileştirilmesi için kullanılmış; yine 20. yüzyılın ikinci yarısında ise yapay damar çalışmaları, yapay kalp kapakçıkları, yapay kalça eklemlerinin üretilmesi çalışmalarında kullanılmıştır.

Bu malzemenin kullanıldığı alana göre özellikle termomekanik özelliklerinde yapılacak değişiklik oldukça önemlidir. Piyasada daha çok akrilik cam ya da pleksiglas olarak da tanımlanabilen poli(metil metakrilat) (PMMA) renksiz ve şeffaf bir termoplastik polimerdir. Genelde cama alternatif malzeme olarak tercih edilir ve polikarbonatla benzer özelliklere sahip olduğu için polikarbonatın kullanıldığı ürünlere de alternatif olabilir. Ucuz olması ve kolay proses edilmesi sayesinde tercih edilse de kırılğan bir yapıya sahip olduğu için kullanım alanı biraz kısıtlıdır (Çalışkana, 2013).

Metil metakrilat monomerinden radikal zincir büyüme polimerizasyonu metodu kullanılarak sentezlenir ancak anyonik polimerizasyon reaksiyonuyla sentezlemek de mümkündür. Ticari PMMA, %70-75’i sindiyotaktik (polimerde esas zincir üzerinde bir plânın her iki tarafındaki monomerlerinin R gruplarının düzgün şekilde değişmesi) zincirden oluşan doğrusal bir polimerdir (Çalışkana, 2013).

PMMA yüksek ışık geçirgenliği, ısıya dayanım, yüksek mekanik dayanım, boyut sabitliği ve çizilmeye karşı dayanıklılığı ile öne çıkmaktadır.

1877’de Alman kimyacılar Fittig ve Paul tarafından ilk kez elde edilen PMMA’nın üretim şeması Şekil 2.1’de arz edilmektedir.



Şekil 2.1 : PMMA'nın üretim şeması (Url-3).

Akrilik olarak da isimlendirilen PMMA, günümüzde, sentetik elyaf ve boyalarda kullanılır. Çok serttirler ve camdan daha saydamdırlar.

Akrilik rezinler (PMMA) kullanım kolaylığı, biouyumluluğu, pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymaması ve dirençli bir malzeme olması sebebiyle polimer esaslı kompozit malzeme olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Geniş kullanım alanına sahip olan akrilik rezinlerin estetik, uygulama kolaylığı ve ekonomik olmasına karşın bazı fiziksel özelliklerinin zayıflığı dezavantaj oluşturmaktadır. Özellikle darbe ve yorulma mukavemetinde zayıflıklar bulunan PMMA esaslı biyomalzemelerde; günlük kullanım alanlarında darbe sonucu kırıklar, ağız içerisinde çiğneme kuvveti ile maruz kaldığı sürekli kuvvetler neticesinde yorulma çatlakları ve çatlak ilerlemeleri görülmektedir.

Darbe ve yorulma direncini artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmış ve kullanım alanlarında birçok yöntem denenmiştir. Araştırmalar PMMA'a alternatif yeni bir madde geliştirmek, PMMA'nın kimyasal yapısını modifiye ederek özelliklerinin iyileştirilmesi veya çeşitli güçlendiriciler ile PMMA'ı desteklemek yoluyla fiziksel özellikleri artırma çalışmalarında yoğunlaşmıştır.

PMMA rezinler genellikle ısı ile polimerize edilir. Gama ışınlama ile polimerizasyon yöntemi polimer endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Doğan ve diğ., 2007).

PMMA esaslı kaide materyallerinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla birçok farklı yöntem kullanılmış olup, bu amaçla akrilik rezin içerisine cam küreler, karbon fiberler, safir, aramid, polietilen ve cam fiberler gibi birçok malzeme eklenerek akrilik rezinelerin güçlendirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemlerden karbon fiberin darbe ve transvers direncini arttırdığı buna karşın esneme direncini azalttığı, cam fiberlerin de tepim kolaylığı ve daha yüksek direnç sağladığı gösterilmiştir (Görgün, 2014).

2.1 Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimer Malzemelerin Özellikleri ve Kullanım Alanları

PMMA güçlü ve hafif bir malzemedir. Özgül ağırlığı $1,17-1,20 \text{ gr/cm}^3$ tür ve bu değer camın yarısından daha azdır (Cam 2,60). Cam ve polistirenden daha iyi darbe mukavemetine sahip olmasına rağmen bazı mühendislik polimerlerinden ve polikarbonattan daha düşük bir değerdedir. $460 \text{ }^\circ\text{C}$ ' da karbürleşir. 3mm kalınlıkta görünür ışığın % 92'sini geçirir ve % 4 oranında yansıtır. PMMA, 18-20 Knoop sertlik derecesine sahiptir ve oldukça serttir. Çekme direnci 70 MPa değerlerine kadar çıkar, yoğunluğu $1,19 \text{ gr/cm}^3$, elastik modülü 2400 MPa'dır (Görgün, 2014).

PMMA rezin tek aşamalı direkt üretim sırasındaki ekzotermik reaksiyon ile en yüksek sıcaklık artışını oluşturur. Maksimum ve minimum ΔT değerleri $3.49 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $1.42 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak kaydedilmiştir (Pulp ve diğ., 1965).

Akrilik olarak da isimlendirilen PMMA, günümüzde, sentetik elyaf ve boyalarda kullanılır. Çok serttirler ve camdan daha saydamdırlar. Akrilikler genellikle pleksiglas ve lucite ticari isimleriyle satılır ve bir çok alanda cam olarak kullanılırlar. İkinci dünya savaşından sonra ise uzay ve otomotiv sanayindeki gelişmelerle birlikte bu alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise elektronik sanayisinde, raylı sistemlerde, spor aletleri üretimi gibi birçok alanda kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Akdoğan, 2009).

Camsılaşıma sıcaklığı $105 \text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır. Amorf olmasının yanı sıra mükemmel bir optik saydamlığa sahiptir ve bu özelliğini dış hava koşullarına karşı dayanımı ile birleştirenince, ışık geçirgenliğinin önemli olduğu uygulamalarda PMMA'yı kullanmak mümkündür (Çalışkana, 2013).

PMMA kolay çizilebilen bir plastik olduğu için optik özelliklerinin uygulama alanlarını kısıtlıdır. Bu kusurunu ortadan kaldırmak için çeşitli katkı maddeleri denenmiştir ancak bu sefer de mekanik özelliklerde bozulmalar görülmüştür. Ancak yeniden belirtmek gerekir ki, PMMA camdan daha saydamdır. Özellikle, camlar daha kalın yapıldığında saydamlığını kaybederken, PMMA 35 cm kalınlığa kadar saydamlığını kaybetmeden üretilebilir (Çalışkana, 2013).

PMMA'nın darbeye dayanımı neredeyse HIPS (antişok) kadar yüksektir. Makinada işlenebilen bir plastik olması ayrıca bir avantajdır. Isıya dayanıklı PMMA'nın yük altında eğilme sıcaklığı (HDT) 90 °C'nin üzerine kadar çıkabilir ve kalıplaşması genel olarak kolay olan bir plastiktir. Birçok kimyasala karşı dayanıklı olmasına rağmen organik çözücülere karşı dirençsizdir (Çalışkana, 2013).

PMMA'nın bazı tipik özellikleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de arz edilmektedir (url-3).

Çizelge 2.1 : PMMA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri (Çalışkana, 2013).

Poli(metil metakrilat) (PMMA)		Mekanik Özellikleri			
Yapı	Amorf		Gerilme Mukavemeti	48	MPa
Yoğunluk	1,16	g/cm ³	Basma Mukavemeti	79	MPa
Erime Sıcaklığı	137	°C	Çekme Modülü	2,1	GPa
Kristalleşme Sıcaklığı	-	°C	Kopma Esnemesi	50	%
Camsılaşma Sıcaklığı	114	°C	Darbe Dayanımı (Çentikli Izod)	0,36	J/cm
Doğrusal Genleşme Katsayısı (CTE)	81,1	µm/m-°C	Sertlik	R120	Shore Ölçeği
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	96,6	°C @ 0.46 Mpa			
Azami Servis Sıcaklığı (Hava)	89	°C			
Dielektrik Dayanımı	17	kV/mm			
Saydamlık	Saydam				

Çizelge 2.2 : PMMA'nın karakteristik özellikleri (Url-2).

Yoğunluk	Morfoloji	Tg (°F)	Tm (°F)	Gerilme kuvveti (psi)	Gerilme modülü (psi)	Kimyasal direnç	Optik özellik
1,16	amorf	220	410	10 000	400 000	orta	çok iyi

PMMA genel özellikleri aşağıda arz edilmektedir (Url-2),

- Çok iyi mekanik dayanım ve sertlik,
- Yüksek mekanik rijitlik,
- Mükemmel şeffaflık,
- Polisaj edilebilir,
- İyi ısısal stabilite,
- İyi yalıtım özellikleri,
- Düşük su emilimi,
- Olası stres çatlamaı,
- Düşük kimyasal dayanım,
- Darbe mukavemeti,
- Boyutların kararlılığı,
- Parlak renkler.

2.1.1 PMMA'nın endüstride kullanıldığı alanlar

Başlıca endüstriyel kullanım alanları; tüketim, sağlık hizmetleri ve otomotiv sektörü olarak sıralanabilir.

A) Tüketim ürünleri;

- a. dekorasyon,
- b. ışıklandırma düzenekleri
- c. akvaryumlar,
- d. ayrıca masalar, lavobalar ve mutfak evyeleri,
- e. banyo mutfak gereçleri,

- f. gözlük ve saat camları,
- g. merdiven küpeşte ve trabzanları,
- h. gıda endüstrisi,
- i. reklam panolarında kullanılmaktadır.

B) Sağlık hizmetleri;

- a. insan vücudunda bazı implantların yapımında,
- b. optik lenslerin üretiminde,
- c. diş hekimliğinde kullanılmaktadır.
- d. vücutta eksilen eklem veya organların yerine kullanılan yapay malzemeler olan biyomalzemeler olarak kullanılmaktadır.
- e. akrilik rezinler olarak da bilinen PMMA'nın özellikle diş hekimliğinde kaide metaryali olarak kullanılmaktadır.

C) Otomotiv sektörü;

- a. ilk olarak savaş uçaklarındaki paraşütlerin yapımında,
- b. aydınlatma sistemlerinde,
- c. taşıt sinyal ve stop farları,
- d. otomobil parçalarında kullanılmaktadır (url-3).

Bunun dışında poli(metil metakrilat) (PMMA) son yıllarda iyi film oluşturma, parlaklık, saydamlık ve mekanik dayanımından dolayı emülsiyon kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2014). İkinci dünya savaşı zamanında uçak güneşliklerinin ve denizaltı periskoplarının yapımında kullanılan pleksiglas, şimdilerde özellikle, açık hava reklamcılık sektöründe, basketbol potalarında, mobilya ve dekorasyon sanayisinde, deniz araçlarında, otomotiv yan sanayisinde ve camın kullanılabileceği her alanda alternatif malzeme olarak kullanılmaktadır (Akdoğan, 2009)

3. RADYASYONUN MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

3.1 Radyoaktivite ve Radyasyon Tipleri

Radyoaktivite kontrol edilemeyen bir olaydır; yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Kararsız elementler tüm enerjileri tükeninceye kadar zayıflayan bir tempo ile ışın yaymaya devam ederler. Zayıflayan bir tempo denince, her radyoaktif element için fiziksel yarı ömür, ortalama ömür, biyolojik yarı ömür ve etkin yarı ömür gibi kavramlardan söz etmek gerekir (Daşdağ, 2011).

Radyoaktiflik atom çekirdeklerinin bazı parçacıklar ve enerji yayınlamak suretiyle kendiliğinden bozulması olayı olup bu bozulma çekirdek kararlı bir duruma gelinceye kadar devam eder (Göksel, 1973).

Becquerel 1896 yılında X ışınları ile floresans arasındaki bağıntıları incelerken rastlantı sonucu uranyum bileşikleri yakınına bırakılan fotoğraf plaklarının kararmış olduğunu gördü. Dikkatli incelemeler bu özelliğin floresansla veya X ışınları ile ilgisi olmadığını sadece uranyum elementinin bir özelliği olduğunu gösterdi. Şimdi bu olayın uranyum radyoaktivitesinden ileri geldiği bilinmektedir. Uranyumdan çıkan bu ışınların niteliğini Rudherford inceledi ve iki çeşit ışın mevcut olduğunu gösterdi. Bunlar ince metal levhalar tarafından kolayca absorplanan ve çok iyonlaştırıcı olan alfa ışınları ile daha girici fakat daha az iyonlaştırıcı olan beta ışınlarıydılar. Daha sonra Villard çok daha girici üçüncü bir ışın çeşidi daha keşfetti ve bunlara gamma ışınları adını verdi (Yaramış, 1985).

Radyoaktif çekirdekler alfa, beta ve gamma ışınları yayınlamak suretiyle bozulur ve başka çekirdeklere dönüşürler. Bu bozulma sonucu meydana gelen çekirdek de radyoaktif olabilir. Böylece bu radyoaktif bozulma olayı kararlı bir çekirdekte sona erinceye kadar devam edecektir (Göksel, 1973).

Radyoaktif maddeler pratik bakımdan doğal ve yapay olarak ikiye ayrılırlar. Doğal olanlar tabiatta bulunan kararsız çekirdekler olduğu halde yapay radyoaktif maddeler

çeşitli çekirdek reaksiyonları ile insanlar tarafından meydana getirilirler (Göksel, 1973).

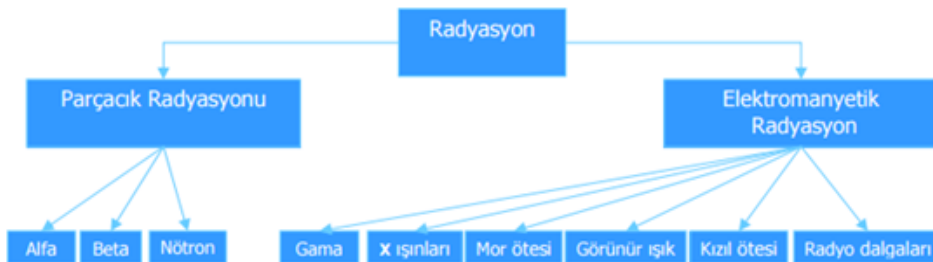
Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendisine özgü bir bozulma şekli vardır. Bu bozulma şeklinin biri çekirdeğin yayınladığı radyasyonların cinsi ve enerjileri diğeri de bozulmanın hızı olmak üzere iki ayrı yüzü vardır (Göksel, 1973).

Çeşitli radyoaktif çekirdeklerin bozulmasında sadece yayınladıkları radyasyonların cinsi sabit olmayıp, her çekirdeğin bozulmasında belirli bir enerji yayınlamaktadır. Beta yayınlaması ile bozulmalarda en fazla 5 MeV'e, alfa yayınlamasında yaklaşık olarak 10 MeV'e kadar parçacık enerjileri meydana gelmektedir. Yayımlanan gamma fotonlarının enerjisi ise 3 MeV'den fazla değildir (Göksel, 1973).

Halen genellikle kabul edilen radyoaktif madde miktarı birimi Curie (Ci) olup saniyede 3.7×10^{10} bozulma meydana getiren herhangi bir radyoaktif madde miktarı olarak tarif edilmektedir. Curie, radyoaktif madde tarafından yayımlanan radyasyonların sayısına değil sadece radyoaktif madde tarafından yayımlanan bozulmaların sayısına bağlıdır. Curie, genellikle oldukça büyük bir radyoaktif madde miktarını temsil ettiğinden miliküri (mCi) ve mikroküri (μ Ci) gibi küçük katlarda daha çok kullanılmaktadır (Göksel, 1973).

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak da tanımlanır (Seyrek, 2007). Elektromanyetik veya parçacıklı radyasyon olarak iki ayrı sınıfta incelenebilir. Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır.

- Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- Türü (parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)



Şekil 3.1 : Radyasyonun çeşitleri (Seyrek, 2007).

İyonizan radyasyonlar madde ile etkileştiğinde iyon oluştururlar. Atom ya da molekülden elektron koparabilen enerjiye sahiptirler.

- Parçacık (alfa ve beta)
- Dalga (gama ve X-ışını)

İyonizan olmayan radyasyonlar, düşük enerjili elektromanyetik dalgalardır. Elektronları yörüngelerinden çekecek enerjiye sahip değildirler sadece uyarabilirler.

- Kızılötesi
- Görünür ışık
- Mikrodalga
- Radyo dalgaları.

İyonizasyon ise iyonların meydana gelişi olayıdır. Nötral atomlardan elektronları koparan veya onlara elektron ilave edebilen herhangi bir neden iyonlaştırıcı olayı meydana getirebilir. Radyasyon fiziğinde iyonlaştırıcı olaylar çoğunlukla elektronları atomlardan koparan olaylardır. Böylece iyonlaştırıcı olay; bir atomdan koparılmış elektronla geriye kalan pozitif iyondan meydana gelen bir 'iyon çifti' oluşturan olay olarak tanımlanır (Göksel, 1973).

3.1.1 Alfa parçacıkları

Bir atom çekirdeğinin parçalanmasından meydana çıkan helyum çekirdekleri (2 proton, 2 nötron) alfa parçacıkları olarak ifade edilmektedir. Alfa ışınları bu parçacıkların yayılmasından oluşur. Radyoaktif maddelerden alfa aktif radyoizotopların bazıları Çizelge 3.1' de verilmiştir (Büyük, 2013).

Çizelge 3.1 : Alfa aktif bazı radyoizotoplar

Kaynak	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (MeV)	Yüzdesi
¹⁴⁸ Gd	93y	3.182.787	100
²³² Th	1.4x10 ¹⁰ y	4.012	77
²³⁸ U	4.5x10 ⁹ y	4.196	77
²³⁵ U	7.1x10 ⁸ y	4.598	56
²³⁶ U	2.4x10 ⁷ y	4.494	74
²³⁰ Th	7.7x10 ⁴ y	46.875	76.3
²³⁴ U	2.5x10 ⁵ y	47.739	72
²⁴³ Am	7.4x10 ³ y	52.754	87.4

3.1.2 Beta parçacıkları

Bir elementin çekirdeğindeki proton veya nötronların fazlalığından dolayı çekirdeğin yayınladığı yüksek enerjili elektronlardır. Beta ışınları da alfa ışınları gibi bir atom çekirdeğin parçalanmasından oluşmaktadır ve parçacık özelliği gösterirler. Bu ışınların yüksek enerjili olanları bile birkaç mm kalınlığındaki metal levha ile durdurulabilir. Beta saçan radyoaktif maddelere örnek olarak; Potasyum (K-40), Stronsiyum (Sr-90), Karbon (C-14) gösterilebilir (TAEK, 1996).

Çekirdeğin içindeki bir protonun bir nötrona dönüşmesinden bir pozitron oluşmaktadır. Bu çekirdekte oluşan elektronlar beta⁻ parçacıkları, pozitronlar ise beta⁺ parçacıkları olarak ifade edilmektedir. Beta aktif radyoizotoplardan bazıları Çizelge 3.2’de verilmektedir (Büyük, 2013).

Çizelge 3.2 : Beta aktif bazı radyoizotop kaynaklar (Büyük, 2013).

Kaynak	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (MeV)
³ H	12.26y	0.0186
¹⁴ C	5730y	0.156
³² P	14.28d	1.710
³³ P	24.4d	0.248
³⁵ S	87.9d	0.167
³⁶ Cl	3.08x10 ⁵ y	0.714
⁴⁵ Ca	165d	0.252
⁶³ Ni	92y	0.067
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	27.7y/64h	0.546/2.27
⁹⁹ Tc	2.12x10 ⁵ y	0.292
¹⁴⁷ Pm	2.62y	0.224
²⁰⁴ Tl	3.81y	0.766

3.1.3 Gama ışınları

Gama ışınları, yüksek enerjili fotonlardan oluşan elektromagnetik dalgalar halinde yayıldıklarından giricilikleri daha fazladır. Elektrik olarak yüksüz ve kütleleri yoktur. Çekirdeğin yapısını değiştirmez, gama yayınlanması çoğunlukla alfa ve beta bozunmasından sonra olur. Örneğin havada birkaç yüz metre, kurşunda 8-10 cm gittikleri halde, yine de tümüyle soğurulamazlar. Gama saçan maddelere birkaç örnek, sezyum (Cs-137), kripton (Kr-88), kobalt (Co-60) gösterilebilir.

Çizelge 3.3 : Bazı gama aktif radyoizotop kaynaklar (Büyük, 2013).

Kaynak	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (KeV)
60Co	5.26 y	1.17, 1.33 (MeV)
137Cs	30 y	0.66 (MeV)
192Ir	74 d	0.3, 0.6(MeV)
124Sb	60 d	0.6, 2.1(MeV)
22Na	2.6y	1274.5
24Na	15.0h	1368.5, 2754.0
46Sc	83.7d	889.2, 1120.5

3.1.4 Nötron ışıması

Doğal olarak nötron yayını yapan maddelerden en bilineni yarı ömrü 2.65 yıl olan ^{252}Cf dir. Bunun yanında bazı ikili sistemler kullanılarak nötron kaynakları oluşturulmaktadır. Bu ikili sistemlerin bazıları aşağıdaki Çizelge 3.4’de verilmektedir (Büyük, 2013).

Çizelge 3.4 : Nötron yayını yapan ikili sistemler (Büyük, 2013).

Kaynak	Yarı Ömür	Kinetik Enerji (MeV)	10 ₆ α için Nötron Kazancı		% de Kazanç E _n <1.5MeV	
			Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
$^{239}\text{Pu}/\text{Be}$	24000y	5.14	65	57	11	9-33
$^{210}\text{Po}/\text{Be}$	138d	5.30	73	69	13	12
$^{238}\text{Pu}/\text{Be}$	87.4y	5.48	79	-	-	-
$^{241}\text{Am}/\text{Be}$	433y	5.48	82	70	14	15-23
$^{244}\text{Cm}/\text{Be}$	18y	5.79	100	-	18	29
$^{242}\text{Cm}/\text{Be}$	162d	6.10	118	106	22	26
$^{226}\text{Ra}/\text{Be}$	1602y	Çoklu	502	-	26	33-38
$^{227}\text{Ac}/\text{Be}$	21.6y	Çoklu	702	-	28	38

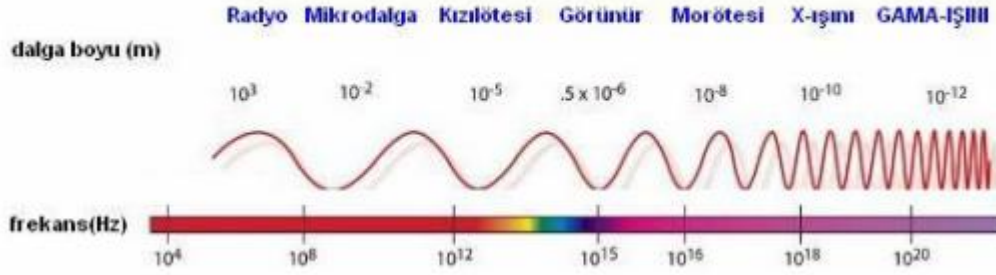
3.1.5 Elektromanyetik radyasyon

Fotonlardan oluşan ve aynı zamanda dalgalı karaktere sahip radyasyonlara elektromanyetik radyasyon denir. Elektromanyetik radyasyon, X ve gama ışınları, görünür-görünmez ışıklarla radyo dalgaları gibi geniş bir dalga boyu aralığını kapsar. Gama ve X ışını, elektromanyetik radyasyonun kısa dalga boylu yani yüksek enerjili iki üyesidir. Her ikisinin de malzemeye giriciliği yüksektir (Özden, 1983). Her ikisi de elektromanyetik radyasyon olmakla beraber orjinleri bakımından farklılık gösterirler

(Göksel, 1973). İyonlaştırıcı değildirler, meydana getirdikleri elektronlarla iyonizasyona neden olurlar (Yaramış, 1985).

Gama ışınları bir atom çekirdeğinin yeniden düzenlenmesi sırasında yayınlanır ve çizgisel spektruma sahiptirler. Gama enerjilerinin çoğunluğu 0.1 MeV ile 3 MeV arasında bulunur.

X ışınları ise ya hızlandırılmış elektronların ani durdurulması (frenleme-bremsstrahlung radyasyonu) ile ya da bir atomun yörünge elektronları arasında seviye değişikliğinden (karakteristik X ışınları) meydana gelir. Frenleme tipi X ışınları sürekli bir enerji spektrumuna sahipken, karakteristik X ışınları çizgi spektrumu verirler. Enerjileri birkaç keV ile onlarca MeV arasında değişiklik gösterir. X ve gama ışınlarının madde içinde nüfuz kabiliyeti yüksek olup belirli bir madde kalınlığı tarafından durdurulamazlar. Bunun yerine içinden geçtikleri ortamın eşit kalınlıkları bu ışınları belirli bir oranda absorblayacağından şiddetleri eksponansiyel olarak azalır (Göksel, 1973). Elektromanyetik spektrum Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Elektromanyetik spektrum (Göksel, 1973).

3.2 Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları

Radyasyon dedeksiyonunda, radyasyonların madde ile yaptıkları etkileşimler büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle dedektörün verdiği cevabın iyi anlaşılabilmesi için radyasyonun madde ile etkileşme mekanizması ve her bir etkileşimde kaybedeceği enerji miktarı bilinmelidir. Herhangi bir parçacığın ya da radyasyonun dedeksiyonu, elektrik sinyali üreten yüklü ikincil parçacıkların oluşumuna bağlıdır. Alfa ve beta gibi yüklü parçacıkların dedeksiyonu, bu parçacıkların dedektör materyalinin atomlarıyla coulomb etkileşmesinin sonucudur. Etkileşme iyonizasyon ya da uyarılma şeklindedir.

Bu etkileşme, uygun sayma sistemiyle sinyal olarak gözlenir. Gamma ışınlarının dedeksiyonu, gamma ışınının enerjisinin dedektör materyalindeki elektronlara transfer edildiği etkileşmelere dolaylı olarak bağlıdır. Radyasyonlar, yüklü parçacık radyasyonları ve yüksüz radyasyonlar olarak ikiye ayrılır (Akkaya, 2013).

3.2.1 Elektromanyetik radyasyonların madde tarafından soğurulması

Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Eğer iyonize edici elektromanyetik radyasyon çekirdekten yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa X-ışını adını alır (Seyrek, 2007).

X-ışını ve γ -ışını elektromanyetik radyasyonlardır. Elektromanyetik radyasyonlar, ışık hızıyla hareket eden, durgun kütleleri sıfır, enerji ve momentum taşıyan foton denilen parçacıklardır. X ve γ -ışınlarının bazı özellikleri aynı olup, oluşma mekanizmaları farklıdır. γ -ışınları nükleer geçişlere eşlik eden fotonlardır. γ radyasyonlarının maddede absorplanması α ve β gibi yüklü parçacıkların madde tarafından soğurulmasından tamamiyle farklı bir şekilde olur. γ radyasyonu enerjisinin büyük bir kısmını ve hatta tamamını tek bir olayda kaybedebilir, α ve β gibi belli bir erişme uzaklığı yoktur. Radyasyonlar üstel bir kanuna göre absorplanır. Eğer homojen bir radyasyon demetinin ilk şiddeti I_0 , x kalınlığındaki bir absorplayıcı maddeden geçtikten sonraki şiddeti I ise,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.1)$$

bağıntısı geçerlidir. μ toplam veya lineer absorpsiyon katsayısı olup radyasyonun içinden geçtiği maddeye ve radyasyonun enerjisine bağlıdır. Yarı kalınlık adı verilen miktar elektromanyetik radyasyon şiddetinin yarıya inmesi için gerekli olan soğurucu malzeme kalınlığını gösterir. Yukarıdaki (3.1) numaralı bağıntıdan,

$$\ln (I/I_0) = -\mu \cdot x$$

$$2.303 \cdot \log (I/I_0) = -\mu \cdot x$$

$$2.303 \cdot \log (1/2 I_0/I_0) = 2.303 \cdot \log 1/2 = -\mu \cdot x_{1/2}$$

$$x_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$$

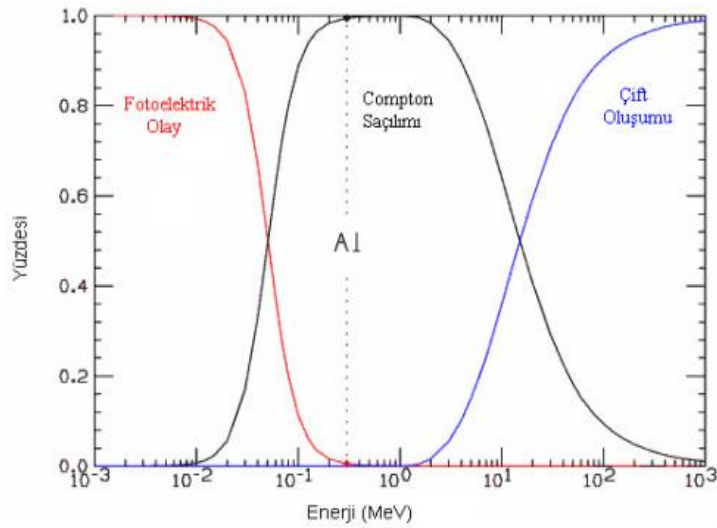
bulunur; burada $x_{1/2}$ yarı kalınlık, μ absorpsiyon katsayısıdır.

Bremsstrahlung veya sürekli X-ışınları, ivmelenen elektronların veya diğer yüklü parçacıkların oluşturduğu fotonlardır. Karakteristik X-ışınları ise atomik elektron kabukları arasındaki geçişler sırasında yayınlanan fotonlardır. Tüm fotonlar enerjilerine bağlı olarak, madde ile aynı etkileşimleri yaparlar (Akkaya, 2013).

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay

- Fotoelektrik olay
- Compton saçılması
- Çift oluşum

olaylardır (Seyrek, 2007).



Şekil 3.3 : Elektromanyetik radyasyonun alüminyum ile etkileşimi (Seyrek, 2007).

3.2.1.1 Fotoelektrik olay

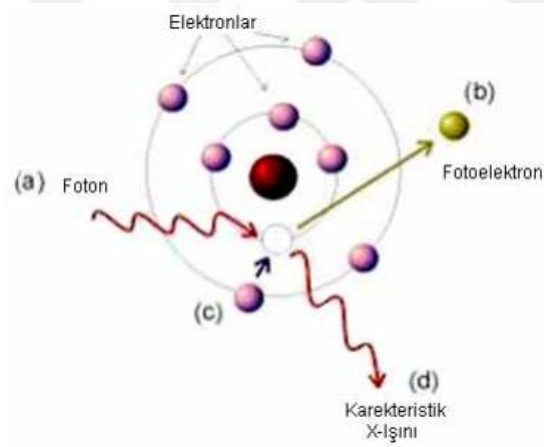
Fotoelektrik olayda, gelen foton tüm enerjisini (E) kaybederek atom içindeki elektronlar tarafından soğurulur. Bu etkileşme sonucunda elektron yörüngesinden koparılır. Elektronun bağlanma enerjisi (E_b) elektronu serbest hale getirmek için kullanılır. Geriye kalan enerji ise, serbest elektrona kinetik enerji (T_e) olarak aktarılır. Bu olay sonucu yayınlanan elektrona fotoelektron denir. Elektronun kinetik enerjisi ise aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$T_e = E - E_b \quad (3.2)$$

Fotoelektrik soğurma, enerjik olarak $E > E_b$ oranmasını sağladığında mümkündür. Atomdan koparılan elektronların yönü fotonun enerjisine bağlıdır (Clegg ve diğ., 1991). Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı $\sim Zn/E_\gamma^{7/2}$, dır.

Fotoelektrik soğurumdan sonra fotoelektrondan boş kalan yerin başka elektronlar tarafından doldurulması ile birlikte karakteristik x-ışınları yayınlanır. Bu x-ışınlarının soğurulması ve ikincil elektronların kinetik enerjilerine dönüşmeleri bir anlamda kayıp enerjiyi geri çağırarak olacaktır. Teorik olarak artık fotonların enerjisinin bir kısmı, geri tepen atomların kinetik enerjisine geçer ancak bu ihmal edilebilir.

Diğer yandan, geri tepen atom tarafından taşınan momentum önemlidir. Bu sayede momentumun serbest bir elektron tarafından fotoelektrik etki ile dönüştürülemeyeceği gösterilebilir. Bu yüzden fotoelektrik etki için kullanılacak elektronların atoma bağlılığı şarttır. Şekil 3.4’de potasyum metaline gelen fotonlar için fotoelektrik olayın şematik diyagramı gösterilmiştir. Potasyum için bağlanma enerjisi 2 eV değerinden yüksek olduğundan dolayı, bu enerjinin altındaki fotonlar elektron koparamaz.



Şekil 3.4 : Fotoelektrik olay (Seyrek, 2007).

Fotoelektrik soğurma olasılığı, soğurucu atomun Z sayısı ile artar, artan foton enerjisi ile azalır. Ayrıca fotoelektrik soğurma olasılığı grafiklerinde, özel elektron kabuklarının bağlanma enerjilerine karşılık gelen enerjilerde sıçramalar (süresizlikler) vardır. Örneğin, Pb’ de K-kabuğu elektronunun bağlanma enerjisi 88 keV’ dir. Bu enerji değerinden düşük enerjilerde gelen fotonlar K-kabuğundan fotoelektron salınmasına neden olamazlar. Foton enerjisi 88 keV’ in üzerine çıkarılırsa, K-elektronlarının fotoelektrik soğurma işlemine katılmaları, fotoelektrik olasılığının ani artmasına neden olur. Buna da kısaca K sınırı denilir.

3.2.1.2 Compton saçılması

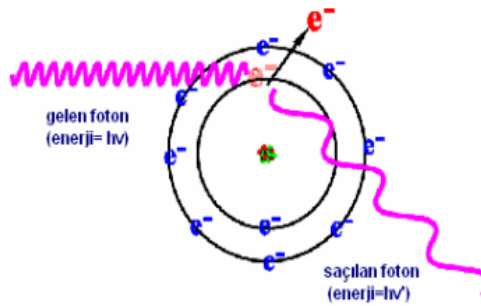
Compton saçılmasında foton, maddedeki bir atomun elektronu tarafından saçılır. Gama ışını, enerjisinin (E_γ) düşüşüyle beraber (E'_γ) bir açıyla saçılabilir ve bu saçılmayla ortaya çıkan enerji kaybı, elektronlara kinetik enerji olarak geçer (eşitlik 3.2). Şekil 3.6'da compton saçılmasının şematik diyagramı gösterilmiştir.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (3.3)$$

Saçılan gama ışınının enerjisi saçılmadan sonra daha azdır ve kristal ile tekrar etkileşebilir ya da etkileşme yapmadan terk edebilir. Ayrıca gama ışını bir ya da birden fazla compton saçılması da yaşayabilir. Enerji düştükçe fotoelektrik soğurulmanın oluşması olasılığı da artar. Bundan dolayı gama ışını enerjisinin sadece bir kısmını da (compton saçılması ile), tamamını da (compton saçılmasını takip eden fotoelektrik soğurulmayla) kristalde kaybedebilir. Elektronun kinetik enerjisi, enerji ve çizgisel momentumun korunumu kullanılarak (3.4) denklemi ile hesaplanır.

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos \theta)}{mc^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)} \quad (3.4)$$

Burada $m=9,11 \times 10^{-31}$ kg değeri ile elektronun durgun kütlesi ve $c=3 \times 10^8$ m/s ışığın boşluktaki hızıdır.



Şekil 3.5 : Compton saçılmasının şematik gösterimi (Bakkal, 2012).

3.2.1.3 Çift oluşum

Bir gama ışınının enerjisi 1.02 MeV (2×0.51 MeV)'dan daha büyük ise, radyasyonun enerjisi şiddetli bir manyetik alanda, örneğin çekirdek çevresinde bir pozitif ve bir

Polimerler en basit tanımıyla çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir.

Polimerleri diğer klasik kimyasal maddelerden ayıran en önemli özellik, moleküllerinin büyüklüğüdür. Bu nedenle polimer kelimesi bütün yüksek molekül ağırlıklı maddeleri kapsar. Polimerlerin üstün özelliklerine iri molekül yapılarının katkısı büyüktür. Örneğin; gerekli mekaniksel özellikler belli bir zincir büyüklüğü üzerinde kazanılır (Saçak, 1998).

Polimerlerle ilgili en önemli özellik camsı geçiş sıcaklığı (T_g)'dır. Polimerlerin molekül ağırlıkları büyük olduğundan ve farklı molekül ağırlığına sahip zincirlerden oluştuklarından genellikle kesin bir erime noktasından bahsedilemez. Polimerlerin kullanım özellikleri ve alanları, camsı geçiş sıcaklığından faydalanarak belirlenebilir. Camsı geçiş sıcaklığının altında polimerler sert ve kırılğan, üstünde ise kauçuksu ve yumuşak halledirler (Benlikaya, 2009).

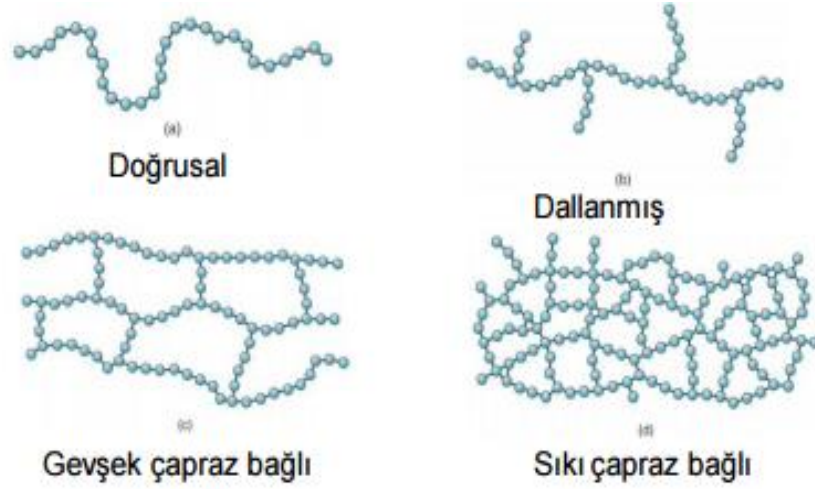
Davranış ve özellikleri nedeniyle polimerler katıların bir alt grubunu oluşturur. Katı hal ayrıca kendi içerisinde Şekil 3.8'de gösterildiği gibi küçük organik molekülleri kapsayan düşük molekül ağırlıklı katılar ve polimerlerin yer aldığı yüksek molekül ağırlıklı katılar şeklinde iki ayrı grupta incelenebilir (Saçak, 1998).



Şekil 3.8 : Maddenin yapısı (Saçak, 1998).

Polimerlerin yüksek enerjili radyasyona maruz kalmaları sonucu, yeni bağ veya çarpaz bağ oluşumları ve zincir parçalanmaları gibi yapı değişiklikleri meydana gelmektedir (Ulçay ve diğ., 2010). Polimer zincirlerinin biçimleri polimer özelliklerini etkiler. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi polimer molekülleri doğrusal, dallanmış veya

çapraz bağlı yapılarda olabilir. Çapraz bağ oranının fazla olması ağ-yapılı polimere yol açar (Saçak, 1998).



Şekil 3.9 : Polimer zincir biçim ve ilişkilerinin şematik gösterimi (Vural, 1996).

Polimerlerin moleküler ağırlığı, polimer çözeltilerinin herhangi bir özelliği uygun bir yöntemle izlenerek bulunur. Moleküler ağırlığı bulmada uygulanan yöntemle elde edilen sonuçlar, polimer çözeltisinin hangi özelliği ile ilgili ise, moleküler ağırlığı türü de incelenen özelliğe bağlı verilir. Bu nedenle polimerlerde dört ayrı moleküler ağırlığı tanımı yapılır Bunlar;

1. Sayıca-ortalama moleküler ağırlığı (M_n),
2. Ağırlıkça-ortalama moleküler ağırlığı (M_w),
3. Viskozite-ortalama moleküler ağırlığı (M_v),
4. Z-ortalama moleküler ağırlığı (M_z) (Çiftçioğlu, 2006).

Sentetik olarak laboratuvar koşullarında elde edilen polimerlerin yanı sıra, doğada da doğal polimerler bulunmaktadır. Canlılar için büyük öneme sahip olan nişasta ve selüloz gibi polisakkaritler, enzim gibi polipeptitler ve deoksiribonükleik asit (DNA) yanında pamuk, yün, doğal kauçuk ve benzeri biyolojik kökenli makromoleküller doğal polimerlere örnek olarak verilebilirler. Bu doğal maddeler oldukça büyük molekül ağırlıklarına sahip olduklarından farklı ve üstün özellikler göstermektedirler. Hızla gelişen teknoloji ve artan rekabet daha üstün ve nitelikli sentetik polimerlerin üretiminin gelişmesine yol açmıştır. Yüksek elastikiyet, viskozite, ısı ve korozyona

dayanıklılık, kolayca şekil verilebilme gibi özellikler polimerlerin endüstride sıklıkla kullanılmalarına neden olmuştur (Benlikaya, 2009).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde polimer teknolojisi büyüme hızı %10'dan fazladır. Önümüzdeki yıllarda dünyada yıllık polimer üretiminin 300-400 milyon ton olması ve polimerik malzemelerin birçok uygulamalarda diğer malzemelerin yerine alternatif malzemeler olarak kullanılması beklenmektedir.

3.3.1 Polimerlerin özellikleri

Polimerlerin genel özellikleri aşağıdaki şekilde belirtilebilir;

- a. Küçük molekülü maddeler genellikle gaz veya sıvı haldedir, polimerler ise büyük molekülü oldukları için katı ve genellikle serttir.
- b. Polimer zincirler kolayca katlanmaya ve esnekliğe meyillidir.
- c. Küçük molekülü bileşikler genellikle çözücülerde kolay çözünür, polimerler ise hem zor çözünür, hem de çözünme şekilleri küçük molekülü bileşiklerden tamamen farklıdır.
- d. Küçük molekülü bileşiklerin çözeltileri şeffaf olduğu halde, yüksek molekülü bileşiklerin çözeltilerinde ışığın dağılması gözlenir.
- e. Küçük molekülü bileşiklerin çözeltilerinin kristalleşmesi genellikle kolay ve belli bir sıcaklıkta olduğu halde, yüksek molekülü birleşmeler için kristalleşme olayı çok zor ve geniş bir sıcaklık aralığında olur. Zincirlerin kristal uyumu sert bir polimer yapar.
- f. Kristalleşme derecesi; polimerin kimyasal yapısı ve zincir uzunluğu ile belirlenir (Url-4).

3.3.2 Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerlerin sınıflandırılması aşağıdaki şekilde yapılabilir;

- a. Molekül ağırlıklarına göre (oligomer, makromolekül)
- b. Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yapay)
- c. Organik ya da anorganik olmalarına göre
- d. Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre

- e. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre (düz, dallanmış, çapraz bağlı, kristal, amorf polimerler)
- f. Zincir yapısına göre (homopolimer, kopolimer)

3.4 Polimer Malzemelerin Radyasyon Karşısında Davranışları

Polimerlerin yüksek enerjili radyasyona maruz kalmaları sonucu, yeni bağ veya çapraz bağ oluşumları ve zincir parçalanmaları gibi yapı değişiklikleri meydana gelmektedir (Ulçay ve diğ., 2010). Çapraz bağ oluşumu (ya da çapraz bağlanma) uzun zincir polimerlerin birlikte bağlanmasıyla molekül ağırlıklarının arttığı bir süreçtir. Polimerlerin kimyasal olarak bütünleşmesine neden olur. Çapraz bağlanma ile bağlanan polimer ürünlerinin geliştirilebilen özelliklerini şu şekillerde sıralayabiliriz (Ulçay ve diğ., 2010).

- a. Mekanik özellikler, gerilme direnci,
- b. Yüksek sıcaklıktaki performans, erime noktasında artış,
- c. Düşük çözünürlüklü organik çözücü kimyasallarında direnç,
- d. Gaz geçirgenliğinin azalması,
- e. Şekil hafızası, elastomerler çapraz bağlanarak düşük seviyede hafıza verebilirler, daha sonra onlar genişleyerek orijinal şekillerine geri dönerler.
- f. Polimere bağlı farklı teknikler kullanılması çapraz bağlanmaya neden olabilir.
- g. Bütün bu durumlarda, polimerin kimyasal yapısı çapraz bağlanma süreçleri boyunca değiştirilir. Bu ısıtma işlemi ile bağlantılı olarak farklı bir kimyasal madde ekleme basınç ile yapılabilir.
- h. Alternatif olarak, polimer, yüksek enerji iyonlaştırıcı radyasyon örneğin, elektron ışını, gama, ya da x-ışını kullanılarak çapraz bağlanmış olabilir.
- i. Gama ışınlanması düşük dozlarda (~ 80 kGy ve aşağıda), yüksek yoğunluklu parçalar için genellikle en ekonomik kullanıma sahiptir.
- j. Elektron ışını genellikle küçük parçalar, özellikle düşük yoğunluklu parçalar ve reel lineer ürün işlenmiş makaralar (örneğin, tel, kablo, boru) için kullanılır.
- k. Işınlama genellikle kimyasal olarak yavaş reaksiyon hızlarında oluşturulur.

- l. Serbest radikaller çapraz bağlar oluşturarak tekrar birleşebilir. Çapraz bağlanma derecesi, polimer ve radyasyon dozuna bağlıdır.
- m. Çapraz bağlama için ışınlama kullanmanın yararlarından biri çapraz bağlanma derecesinin kolayca bir doz miktarı ile kontrol edilebilir olmasıdır (Url-4).

3.5 ATRP Yöntemi ile Üretilen PMMA'nın Genel Özellikleri

Akrilik olarak da bilinen PMMA, metil metakrilat monomerlerin polimerizasyonu ile serbest radikal mekanizmalar tarafından sentezlenmiş bir termoplastiktir. Akrilik rezin olarak PMMA ilk olarak 1937 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Görgün, 2014). Polialkil metakrilat türevi polimerlerden en çok PMMA ile ilgili nanokompozit çalışması bulunmaktadır (Benlikaya, 2009). PMMA mükemmel derecede optik özelliğe sahiptir (görünür bölgede yaklaşık % 92'lik ışık geçirgenliği) ayrıca biouyumluluk ve dış mekan kullanılabilir özelliği de çok yüksektir. ATRP yöntemi ile üretilen PMMA'nın bu özellikleri dolayısıyla aşağıdaki alanlarda kullanımı oldukça yaygındır;

- a. Kontakt lens,
- b. Fiber optik
- c. Fenerler,
- d. Çatı pencereleri,
- e. Lensler,
- f. Takma dişler,
- g. Dolgular,

Bunların yanında biomedikal, mikroelektronik ve atmosfer-uzay sanayinde de bir çok uygulamaya sahiptir.

Polimer bilimindeki son gelişmeler, iyi-tanımlanmış graft ve blok kopolimerlerin kontrollü/canlı radikal polimerizasyon (controlled radical polymerization CRP) tarafından sentezlenmesine olanak sağlamıştır. CRP sistemde 3 ortak mekanizma kullanılmıştır. Bunlar, nitroksid aracılıklı polimerizasyon, tersinir katılma-parçalanma zincir transferi (reversible addition-fragmentation chain transfer RAFT) ve atom transfer radikal polimerizasyonu (atom transfer radical polymerization ATRP) olarak adlandırılır.

ATRP tekniği ile yapısı önceden tahmin edilebilen, heterojenlik indisi düşük, yüksek molekül ağırlıklı ve yüksek işlevselli polimerler sentez edilebilmektedir. ATRP ilk

olarak 1995 yılında Krzsytof Matyjaszewski tarafından keşfedilmiştir. ATRP, diğer canlı radikal sistemler ile karşılaştırıldığında daha basit, daha ekonomik ve kontrollü radikal polimerizasyonları için daha kullanışlı bir yöntemdir (Mısır, 2011).

ATRP, polidispersite indeksi, son grup işlevselliği, bileşik ve moleküler ağırlık ve en etkili metodu olan metil metakrilat sentezi gibi çok fonksiyonlu mühendislik materyaller sunan canlı kontrollü radikal polimerizasyondur. ATRP, geçiş metali kompleksleri tarafından zincir uçları ya da hareketsiz halojenli başlatıcıların tersinir aktivasyonunu temel alır. Kontrollü radikal polimerizasyon yöntemleri içerisinde en büyük ilgiyi ATRP almış olup birçok araştırmaya konu olmaktadır. Bu tarihten sonra düşük polidispersiteye sahip metil metakrilat, stiren, akrilonitril ve diğer bazı monomerleri içeren polimerler sentezlenmiştir (Mısır, 2011). ATRP, kontrollü ortamda çok çeşitli monomerlerden polimerlerin sentezlenebildiği başarılı polimerleşme metodlarından biridir. ATRP çoğunlukla bulk (kütlev) ya da susuz ortamlarda uygulanmaktadır. Fonksiyonel gruplara ve pek çok safsızlığa karşı oldukça toleranslı olması ATRP'nin önemli avantajlarından (Mısır, 2011).

PMMA çok iyi optik netlik, yüksek direnç, üstün boyutsal kararlılık ve düşük ısılatılabilirlik (hidrofobik) özelliği gibi avantajlı özelliklere sahiptir. PMMA nanomateryallerle karıştırıldığında minimize edilmiş gaz geçirgenliği özellikleri geliştirir, bunun yanında ısı geçirgenliğini geliştirir ve fiziksel performansı artar (Bel ve diğ., 2014). Bir seri çalışma göstermiştir ki, kürlenme şartları değiştirildiğinde aynı karışım termosetlerin morfoloji fazları bir kaç nanometreden bir kaç mikrometreye kadar değişebilir. Ayrıca PMMA kendi kendini yenileyebilen madde davranışına katkıda bulunan yarı esnek zincirli bir yapıdır. SEM görüntülerinde ince kesim PMMA örnekler mükemmel yakın bir iyileşme göstermiştir (Bel ve diğ., 2014).



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

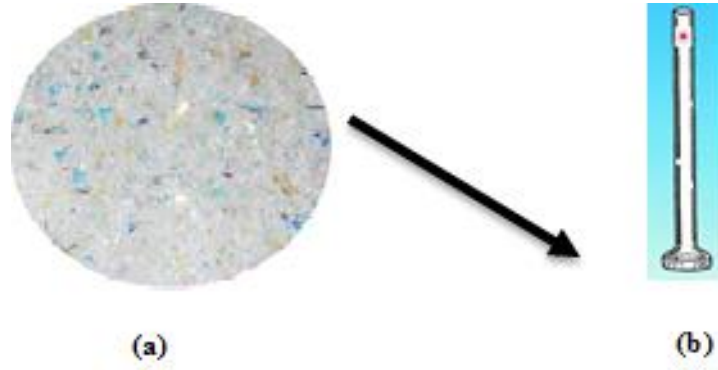
4.1 İncelenen PMMA Polimer Örnekler, Deneysel İşlemler ve Deney Düzeneklerinin Tanıtımı

ATRP yöntemiyle üretilerek atmosferik ortamda kürlenmiş PMMA polimer ve inert ortamda ATRP yöntemiyle üretilmiş PMMA polimer örnekler, İTÜ Prof. Dr. Adnan Tekin Malzeme UYG-AR Merkezi'nde üretildikten sonra teslim alınmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, 45 °C sıcaklıkla kontrollü inert argon atmosferi altında kürlenmiş farklı kalınlıklardaki PMMA polimer örnekler incelenmiştir. Üretim aşamasında, çözülmüş gazın yapıdan uzaklaştırma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış PMMA polimer örneklerin karakteristik özellikleri incelenmiştir. PMMA polimer sentezi sırasında, solüsyonda uygulanan gaz boşaltım işleminin PMMA polimer yapı üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla, polimer örneklerin spektrofotometre ile optik özellikler incelenmiş, XRF analizi ile kimyasal kompozisyondaki ağır element miktarları değerlendirilmiş, XRD analizi ve stereomikroskop (üç boyutlu mikroskop) incelemeleri yapılmıştır.

Solüsyon içinde çözülmüş gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi:

Cam yapılı bir frit, öğütülüp toz haline getirilmiş seramik hammaddelerinin tartılıp karıştırıldıktan sonra eritilmesi ve eriğin hızlı bir şekilde soğutulması neticesinde üretilmiştir (Şekil 4.1). Söz konusu bu frit, PMMA polimer üretiminde kullanılan kimyasallar ile reaksiyona girmeyecek şekilde özel olarak imal edilmiştir. Şekil 4.1'de görülen porous yapıdaki seramik fritten solüsyon yukarıya geçemezken, fritten deney tüpüne uygulanan argon gaz, solüsyona nüfuz ederek difüze olmuştur. Böylece, pek çok küçük noktadan solüsyona, argon gazı girişi yapılarak, solüsyondaki çözülmüş gazın boşaltım işlemi sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.1 : Cam frit (a) tabanı (b) genel görüntüsü.

PMMA polimerin üretiminde,

- Metil metakrilat, inhibitor olarak kullanılan ≤ 30 ppm'lik Mono Methyl Ether of Hydroquinone MEHQ ($C_7H_8O_2$) - ile karıştırılmıştır. Bu amaçla, 550 ml'lik, % 99 saflıktaki, Methyl methacrylate ($CH_2=C(CH_3)COOCH_3$)-MMA kullanılmıştır.
- Hot plate üzerinde içi solüsyon dolu kaba manyetik karıştırıcı yerleştirilmiştir.
- Saf argon akışı 30 dakika boyunca devam etmiştir.
- 1.031 gram, 3.2 mmol Tetrabutylammonium Bromide (Bu_4NBr) ve 0.057 gram, 0.4 mmol Copper(I) Bromide ($CuBr$); 0,069 g, 0.4 mmol Pentamethyldiethylenetriamine ($C_9H_{23}N_3$) PMDETA'a eklenerek, Atmos Bag içindeki deney tüpüne (8×2.5 cm²) yerleştirilmiştir. Deney tüpüne ekstra saf argon uygulanarak bu işlemler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra içi argon gazı dolu deney tüpü, kauçuk tıpa ile kapatılmıştır. AtmosBag dışına alınana deney tüpü 25 °C sıcaklıktaki yağ banyosuna alınmıştır.
- Gözenekli cam seramik deney tüpün içine yerleştirilmiştir ve ekstra saf argon akışı 10 dakika boyunca devam etmiştir.
- Daha sonra % 98 saflıktaki Ethyl α -bromoisobutyrate (Ethyl 2-bromo-2-methylpropionate- (CH_3)₂CBrCOOC₂H₅) EBIB mikropipete döküldü ve tüp silikon ve parafilm ile tutturuldu.

Homojenizasyon, 13 saat süresince degas edilme ve 17 saat boyunca süren canlı PMMA üretimi Şekil 4.1'de belirtilmektedir (Bel ve diğ., 2014).



Şekil 4.2 : (a) Homojenizasyon (b) Solüsyon içinde çözülmüş gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi gerçekleştirilmesi (13 saat) (c) Canlı PMMA (17saat) (Bel ve diğ., 2014)

ATRP yöntemi ile üretilen canlı polimer PMMA nın görüntüsü Şekil 4.3'de belirtilmektedir.



Şekil 4.3 : ATRP yöntemi ile üretilen canlı polimer PMMA (Bel ve diğ., 2014).

4.2 Gama Işınları ile Yapılan Radyasyon İşlemleri

4.2.1 Kullanılan Co-60 radyoizotopunun tanıtımı

Bu çalışmada İTÜ Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan ve endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılmıştır. Cs-137 ve Co-60 radyoizotop kaynakları, nükleer uygulamalarda ve deneysel çalışmalarda gama kaynağı olarak sıkça kullanılan radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır.

Co-60 gama radyoizotop kaynağı 5.23 yıl yarı ömürlü bir kaynaktır (Büyük, 2013). Co-60 radyoizotopu iki farklı enerjili fotonlar yayınlayan bir gamma kaynağıdır. 1,17 ve 1,33 MeV enerjilerinde iki ana pik değerine sahip olan Co-60'ın ortalama enerji piki 1,25 MeV olarak kabul edilmektedir (Croft, 2006). Ayrıca her yıl aktivitesinin %12.5'i azalmaktadır (Turhan ve diğ., 2011).

Bu bağlamda Co-60 gama radyoizotopu radyasyonunun madde ile etkileşmesi olaylarında gelen gama ışınlarının minimum 1.02 MeV enerjili olması durumunda ortaya çıkabilen çift oluşumu olayıda kendini göstermektedir (Büyük ve diğ., 2015).

İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan 1998 yılında, 0.063 mCi aktiviteye sahip Co-60 radyoizotopu gama kaynağı olarak kullanılmıştır (Şekil 4.4). Deneyin yapıldığı günkü aktivitesi 0.00682 mCi olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.4 : Çalışılan Co-60 radyoizotop kaynak.

4.2.2 Çalışılan Cs-137 radyoizotopunun tanıtımı

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı monoenerjitik (tek enerjili) bir radyoizotop kaynağıdır. Enerji seviyesi 0,667 keV olarak kabul edilmiştir. Cs-137, 30.1 yıl olan yarı ömrü ile yapay radyoizotoplar içinde uzun yarı ömürlü olarak değerlendirilebilen bir kaynak durumundadır. Ayrıca her yıl aktivitesinin % 2.3'ü azalmaktadır (Turhan ve diğ., 2011).

İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü Radyoizotop Laboratuvarı'nda bulunan 1964 yılında 0.1013×10^{-3} mCi aktiviteye sahip Cs-137 radyoizotop kaynak kullanılmıştır (Şekil 4.5). Deneyin yapıldığı günkü aktivitesi 3.1189×10^{-5} mCi olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 : Çalışılan Cs-137 radyoizotop kaynak.

Çizelge 4.1 : Deneyleerde kullanılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynağının özellikleri (Büyük ve diğ., 2013, Knoll, 2002).

Gama Radyoizotop Kaynağı	Yarı Ömrü	Enerjisi (MeV)	Çalışılan Aktivite
Cs-137	30,1 yıl	0,662	8,89 µCi
Co-60	5,23 yıl	1,17 - 1,33	14,1 µCi

Çizelge 4.2 : Deneyleerde kullanılan Co-60 ve Cs-137 radyoizotop kaynaklarının karşılaştırılması (Turhan ve diğ., 2011).

Gama Radyasyon kaynakları	Avantajı	Dezavantajı
Co-60 radyoizotopu	Malzeme içindeki nüfuz etme derinliği çok yüksektir.	Doz hızları düşüktür en fazla 10 Gy/sn'dir.
ve	Yüksek yoğunluklu ve kalın malzemelerin ışınlanması için uygundur. Genelde tıbbi malzemelerin sterilizasyonu ve gıda ışınlanmasında yaygın bir şekilde kullanılır.	Sürekli gama radyasyonu yayarlar ve yarılanma problemleri vardır. İşlem kapasiteleri sınırlıdır. Çünkü kaynakların gücü düşüktür.
Cs-137 radyoizotopu	Malzeme içinde düzgün doz dağılımına sahiptir.	Kaynak dizaynı değişik geometrilere olabilir.

4.2.3 Gama transmisyon tekniğinde kullanılan deney düzeneğinin tanıtımı

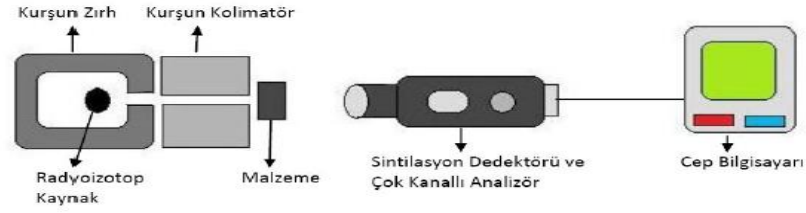
Gama transmisyon tekniği, endüstride genellikle kalınlık, yoğunluk ve seviye gibi ölçümlenmelere ilişkin olarak kullanılan, duyarlı bir metottur (Bilge, 1991). Gama transmisyon tekniği, gama ışınlarının malzeme içinden geçerken malzeme atomları ile etkileşmesi esasına dayanmaktadır. Bu etkileşmeler neticesinde gama ışınları enerjilerinin bir kısmını veya tamamı kaybetmektedirler. Gama radyoizotop kaynağı ve dedektör malzemenin her iki tarafına aynı ekseninde olacak şekilde yerleştirilerek kaynaktan çıkarak malzemeyi kat eden radyasyon şiddeti ölçülmektedir (Berger ve diğ., 2013; Büyük ve diğ., 2015).

Bu tekniğin temel prensibi; dedektör ve radyoizotopun, malzemenin iki farklı tarafına, aynı ekseninde olmak üzere yerleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Dedektör, diğer tarafta bulunan radyasyon kaynağından yayınlanan ve malzemeyi geçip dedektör tarafına ulaşan radyasyon şiddetini ölçmektedir. Dedektörde ölçülen radyasyon şiddeti, kaynaktan çıkan radyasyonun malzemeyi kat ederek geçen miktarı olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, saçılan radyasyonu elimine ederek, sonuçların sağlıklı olması için, kaynak ve detektörün iyi bir şekilde kolime edilmeleri ve zırhlanmalarıdır (Büyük, 2013).

Malzemeler için oluşturulan gama zayıflatma eğrilerinden yola çıkılarak malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları (μ), eşitlik 3.1'de verilen Beer Lambert formülü yardımıyla hesaplanmaktadır (Knoll, 2002; L'Annunziata, 2007).

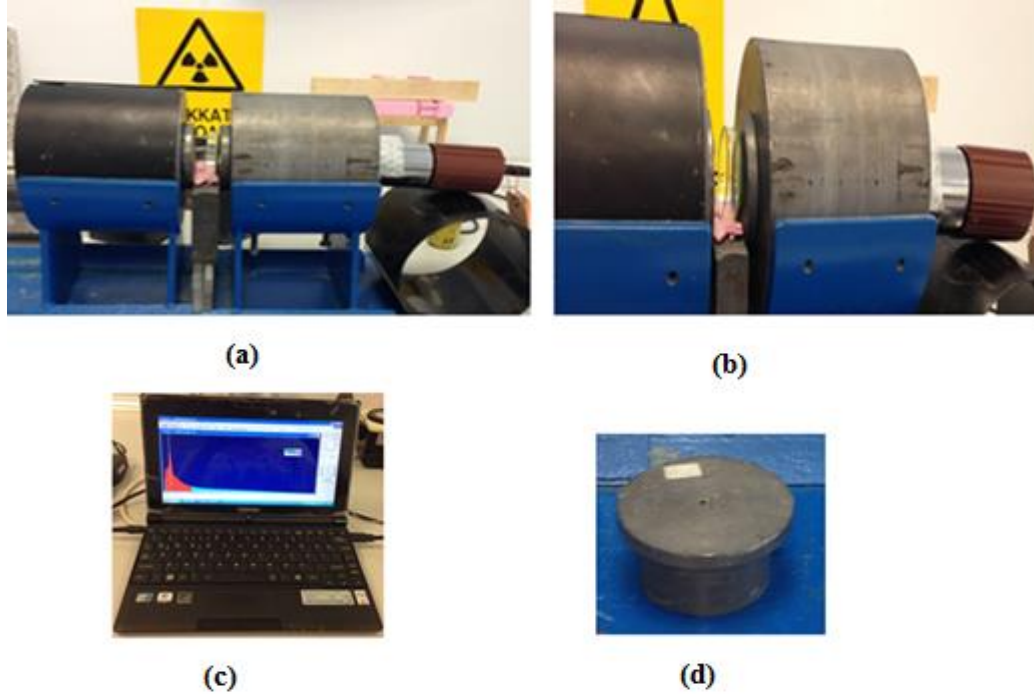
Bu tez çalışmasında, gama transmisyon tekniği ile, Cs-137 ve Co-60 gama radyoizotop kaynakları kullanılarak, farklı niteliklerde üretilen PMMA polimer örneklerin, radyasyon zayıflatma katsayıları tayini yapılmasına ilişkin deneysel bir inceleme yapılmıştır. Sabit deney geometrisinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçlar ile incelenen polimer örneklerin gama radyasyonu zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Çizilen kalibrasyon eğrilerinin sınanması için ise, aynı polimer numuneler için kalınlık tayini amaçlı sayımlar alınmış ve elde edilen bağıl sayım (I/I_0) değerlerinden hareketle, her polimer malzemenin kendi malzemesi için çizilmiş kalibrasyon eğrileri kullanılarak kalınlıkları tayin edilmiştir. Bu polimer örneklerin mikrometre kullanılarak kalınlık tayinleri yapılmış ve gama transmisyon tekniği ile elde edilen kalınlık sonuçları ile mukayeseli olarak irdelenmiştir. Yapılan irdeme sonucunda, gama transmisyon tekniği ile tayin edilen kalınlık ile mikrometre kullanılarak tayin edilen kalınlık değerlerinin birbirine hayli yakınsandığı gösterilmiştir. Böylelikle, endüstriyel uygulamalar için kullanılacak PMMA

polimer örneklerin kalınlıkları, kalibrasyon eğrileri sayesinde hassas bir şekilde çıkarılmıştır. Gama transmisyon tekniğinde kullanılan düzeneğin genel prensip şeması Şekil 4.6’ da görülmektedir (Büyük ve Tuğrul, 2009).



Şekil 4.6 : Gama transmisyon tekniğinin genel şeması (Büyük ve Tuğrul, 2009).

Çalışılan gama transmisyon tekniği Şekil 4.6 (a)’da, PMMA örneğin gama transmisyon düzeneğine yerleşimini Şekil 4.6 (b)’de ve sayımların bilgisayar ortamına aktarılması, Şekil 4.6 (c)’ de, kullanılan kolimatör ise Şekil 4.6 (d)’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : (a) Gama transmisyon sayım düzeneği, (b) örneğin düzeneğe yerleşimi (c) sayımların bilgisayara aktarılması (d) kullanılan kolimatör.

4.3 Spektrofotometrik Ölçümler

Ultraviyole ve görünür ışık (UV-VIS) ışın demetinin bir örnekten geçtikten veya bir örnek tarafından yansıtıldıktan sonra ışının azalmasının spektrofotometre kullanılarak ölçülebilmektedir (Url-5). Işının şiddetinin azalması absorpsiyonun arttığını gösterir.

PMMA polimer örneklerin optik özelliklerin belirlenmesinde, PG Instruments marka elektromanyetik spektrumun mor ötesi, görünür ve yakın kızıl bölgenin bir kısmında (UV–VIS–NIR) ölçüm alabilen spektrofotometre kullanılmıştır.

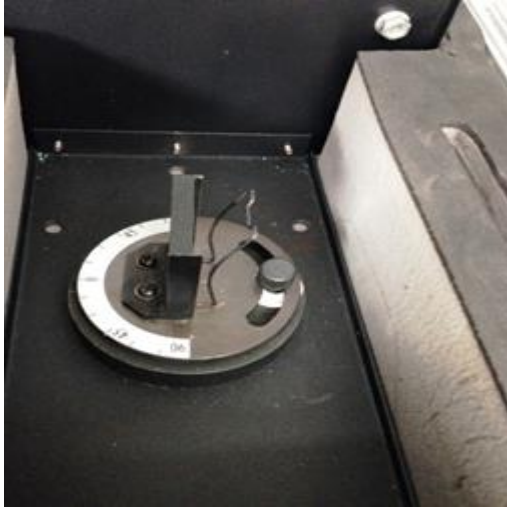
- Işık kaynağı : Döteryum & Tungsten
- Optik: Çift ışınımlı

UV-Vis spektrometrisi yönteminde ultraviyole ve görünür ışık örnekten geçerken meydana gelen etkileşimler incelenerek ultraviyole ve görünür ışığın malzemede oluşturduğu optik geçirgenlik ve yansıtma özellikleri belirlenir (Ertem ve diğ., 2011). Özgül, hassas ve ekonomik olan spektroskopik analiz yönteminin en önemli özelliği, analizlerin kolay tekrarlanabilir olmasıdır. Optik ölçüm sistemi ve kullanılan spektrofotometre Şekil 4.8 (a-b)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : (a) Optik ölçüm sistemi (b) ölçüm yapılan UV- VIS spektrofotometre.

Ölçümler sırasında cihazın azami ölçüm aralığı olan 190 – 1100 nm dalga boyu aralığında seçilmiştir ve ölçümlerde 0.5 nm adım ayarı yapılmıştır. Cihaz aracılığıyla ince PMMA canlı polimer örneklerin optik geçirgenlik ve yansıtma özellikleri incelenmiştir. Optik ölçümlerde kullanılan spektrofotometrenin geçirgenlik ve yansıtıcılık ölçümleri Şekil 4.9 (a-b)'de gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : Optik ölçümlerin yapıldığı spektrofotometrenin
(a) geçirgenlik (b) yansıtıcılık ölçüm alanları.

Ölçümler sonucunda elde edilen verilerden PMMA canlı polimerlerin doza bağlı geçirgenlik, yansıtma ve soğurma özelliklerinde meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir.

4.4 XRF Cihazında Ölçümler

Herhangi bir X ışını kaynağından salınan X ışınları malzemedeki elektronlara çarparak onları yerlerinden uzaklaştırırlar. Bu çarpışma sonunda boşalan yere bir üst veya daha üstteki yörüngelerden elektronlar doldurur. Bu doldurma esnasında da atoma özgü enerji seviyesine sahip ikincil bir X ışını salınır. Bu olaya X ışını flüoresans kısaca XRF adı verilir.

X ışınları flüoresans tekniği, genel olarak foton madde etkileşmesi sonucumeydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının nicel ve nitel değerlendirilmesine bağlı olarak uygulanan bir tekniktir. XRF yöntemi, ayarları, kalibrasyonu ve hesaplamaları tümüyle bilgisayar programları ile yapılan geliştirilmiş cihazlarla yaygın olarak kullanılmaktadır (Uyanık, 2011).

XRF cihazında numune uniform duruma yani toz veya cam haline getirilerek ya da orjinal haliyle kalitatif, kantitatif analizinin ve elementel dağılımının değerlendirilmesinin yapılması mümkündür (Köklü ve diğ., 2003). Bu durumda katı, sıvı, toz hatta gaz durumlarında bile bu teknik uygulanabilmektedir (Uyanık, 2011).

XRF sistemleri ile farklı formlardaki numunelerde sodyum-uranyum aralığındaki elementlerin analizleri numune matrisine bağlı olarak, ppm-% konsantrasyon

mertebesinde, tahribatsız, hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılmaktadır. Portatif μ -XRF cihazı ile 70 μ m çaplı alanlarda tarama ve haritalandırma yapılabilmektedir. Element analizleri herhangi bir numune hazırlama işlemi gerekmeden gerçekleştirilebilmektedir. Cihazın taşınabilir olması, yerinde analizi de mümkün kılmaktadır (Uyanık, 2011).

XRF tekniğinin uygulama alanları, çok sayıda numunenin hızlı ve doğru olarak tekrarlanabilir analizlerini yapma imkanı sağlaması nedeniyle hızla artmaktadır. XRF spektroskopik yöntemi, kısa sürede çok fazla numunenin izlenmesini gerektiren cevher zenginleştirme operasyonlarında önemli bir avantajdır (Köklü ve diğ., 2003).

XRF tekniği ile hızlı, duyarlı ve güvenilir bir şekilde malzemeye zarar vermeden düşük maliyetle kısa sürede ölçüm yapılmaktadır. Bu nedenle bilimsel ve teknolojik araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Uyanık, 2011).

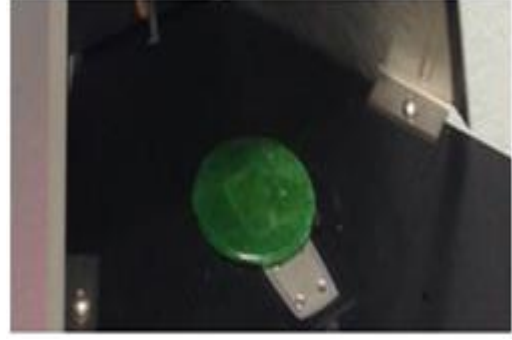
XRF tekniğinin uygulama alanları;

- a. Temel fizik araştırmaları
- b. Metalürjide, alaşım analizleri
- c. Maden filizlerinin analizleri
- d. Radyoaktif cevher analizleri
- e. Endüstride, plastik, lastik, kağıt ve cam gibi maddelerde safsızlık analizleri
- f. Petrol ürünleri, boya ve ince film analizleri
- g. Kömürlerde kül, kükürt ve nem tayinleri
- h. Çeşitli bitki örneklerinin incelenmesi
- i. Çevre araştırmaları
- j. Arkeoloji araştırmaları
- k. İnce metal ve film kaplama kalınlıklarının tayinleri

XRF ölçüm cihazına yerleştirilen farklı kalınlıklardaki PMMA numunelerin ölçümleri sırasıyla alınmıştır. Şekil 4.10 (a-b)'da XRF cihazına yerleştirilen PMMA örneğin görüntüsü verilmiştir. Ölçüm sonuçları ise Şekil 4.10 (c)' da gösterildiği gibi bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.10 : (a) XRF cihazına PMMA örneklerin yerleşimi, (b) XRF cihazına yerleştirilen PMMA örneğinn yakından görüntüsü, (c) XRF sonuçlarının bilgisayar ortamına aktarılması.

4.5 Deneyin Yapılışı

4.5.1 Gama radyasyonu sayım işlemleri

Deney sistemi kurulumu sırasında kaynak ile malzeme arasındaki mesafe 5 cm olarak ayarlanmıştır. Ölçüm zamanı ise 180 s olarak belirlenmiştir. Ölü zaman düzeltmeleri ve ortam sayımı net sayımlarda göz önünde bulundurulmuştur. Gama ışınlarını zırlamak için kurşun kolimatörler kullanılmıştır. PM1401K model sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arada bulunduran kompakt sistem, deneysel

çalışmalarda gama radyasyonu ölçümü için kullanılmıştır. Ayrıca biyolojik zırhlamada radyasyondan korunma amacına yönelik, dedektör ile kablosuz olarak uzaktan bağlantı kurabilen cep bilgisayarı kullanılmıştır.

Sistem kurulduktan sonra ilk olarak sistemin ortam radyasyonu (background) ölçülmüştür. Daha sonra malzeme konulmadan kaynaktan çıkan ve kolimatörü geçerek dedektöre ulaşan başlangıç gama radyasyonu (I_0) ölçülmüştür. Bu çalışmalardan sonra her bir malzeme için farklı kalınlık değerlerinde numuneler kolimatör önüne yerleştirilerek her kalınlık değeri için gama radyasyonu (I) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ortam radyasyonunun ölçülen sayım değerlerinden çıkarılması ile net sayım değerleri elde edilmiştir. Her bir malzemenin farklı kalınlıkları için elde edilen net sayım değerleri net başlangıç sayımına bölünerek bağıl sayım (I/I_0) değerleri belirlenmiştir. Malzemelerin bağıl sayım-kalınlık grafikleri oluşturularak gama zayıflatma eğrilerine ulaşılmış olup buradan hareketle malzemelerin birbirleri ile mukayese edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden hareketle hesaplanan kütle zayıflatma katsayılarının teorik değerler ile karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların birbirleri ile uyumluluğu incelenerek deneysel sonuçların güvenilirliği ortaya çıkarılmıştır.

4.5.1.1 Materyal üretimi

Hazırlıklar ve ölçümler AtmosBag four-hand; steril olmayan, büyüklüğü L, kapalı tipte, Tape-seal (Sigma-Aldrich) içerisinde gerçekleştirildi. Tetra-n-butilamonyum bromür; % 98+ (Alfa Aesar), bakır bromür, Puratronic; % 99.998 (metals basis) (Alfa Aesar), Metil metakrilat; % 99, stab. (Alfa Aesar), 1,1,4,7,7-Pentametildietilentriamin; % 98 (Alfa Aesar), Etil 2-bromizobütrat; %98 + (Alfa Aesar) kullanılmıştır. Ekstra saf argon ve regülatör güvenli teknik donanımları karşılamak için beton bir duvara zincirlendi. Ölçümlere başlamadan önce AtmosBag four-hand, non-sterile, size L, closure type, Tape-seal (Sigma-Aldrich), Şekil 4.11 (a,b)'de tamamen vakumlandı, bu sistem içinde ekstra saf argon sirkülasyonu 10 dk boyunca devam etti.



(a)

(b)

Şekil 4.11 : (a) atmosfer'e Argon bağlantısı, (b) vakum pompa bağlantısı
(Bel ve diğ., 2014).

4.5.1.2 ATRP tarafından canlı polimerizasyon PMMA'nın sentezi

Atmosbag içine yerleştirilmiş tüpün içine Bu_4NBr (1.031 g, 3.2 mmol) ve CuBr (0.057 g, 0.4mmol), PMDETA (0.069 g, 0.4 mmol) eklendi. Glove bag içerisinde, ekstra saf argon tüpe uygulandı ve tüp basınçlı argon ile lastik septum ile tutturuldu ve atmosferden çıkarıldı. Tüp 25°C 'lik yağ banyosu içine yerleştirildi ve bu doğrultuda argon aletleri dışarıdan bağlandı (Şekil 4.12). Gaz geçirmez şırınga içerisinde önceden hazırlanan MMA 'ya (24.0 g, 0.24 mol) manyetik dizilim ile sürekli devam eden argon temizleme altında karışım uygulandı. Manyetik dizilim 13 saat boyunca devam etti ve bu 13 saatten sonra EBIB (0.078 g, 0.4 mmol) eklendi. Karışım, argonla cam firit boyunca yavaşça degaslandı (Bel ve diğ., 2014).



Şekil 4.12 : Silikon yağ banyosunda degas işlemi.

Dış argon kaynaklar karışımın atmosferle etkileşmesine engel olmuştur. Tüp parafilm ile çevrelenmiş lastik septum ile tutturuldu. 4 saat sonucunda oluşan polimer açık yeşil renkli şeffaf bir katı olarak elde edildi. Polimer yağ banyosundan atmosfer'e hareket etti ve ayrı kalıplara döküldü. Bu adımlar esnasında örnekler, kürlenmesi için atmosferle temas etmeleri engellendi ve ATRP tarafından oluşturulan PMMA

polimerizasyonun son derece benzer örnekleri elde edildi. Örneklerin bir seti atmosferik şartlar altında kürlendirilirken, diğeri bir seti 45 °C'lik kontrollü argon atmosfer altında kürlendirildi (Bel ve diğ., 2014).



a. Ortam atmosferi ile kürlenmiş

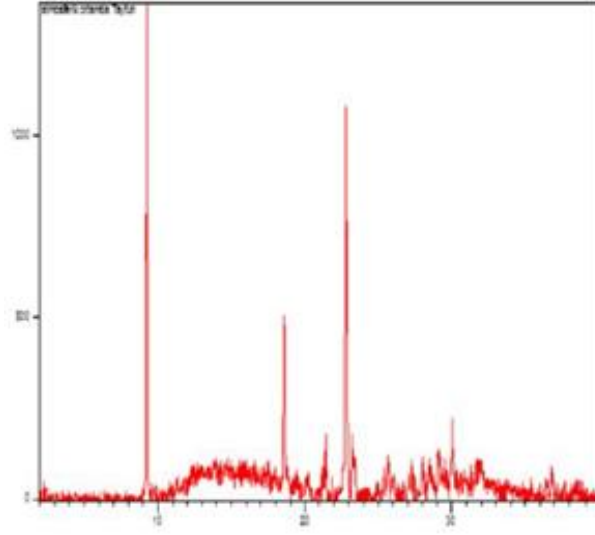
b. 45C'lik argon atmosfer ile kürlenmiş

Şekil 4.13 : ATRP canlı polimerizasyon PMMA'nın morfolojisindeki kürlenme etkileri (Bel ve diğ., 2014).

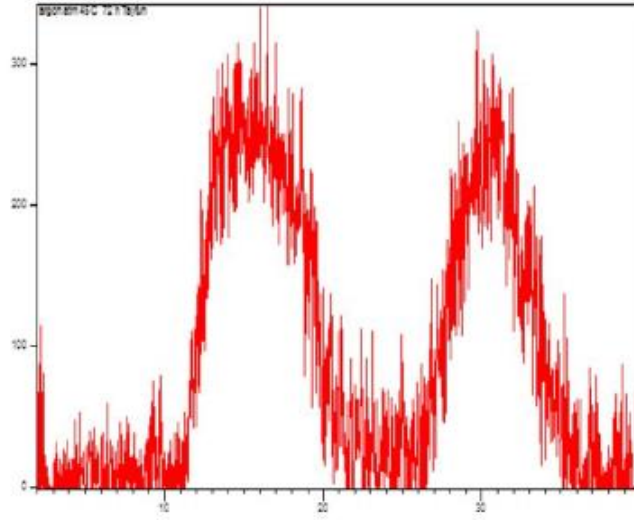
4.5.1.3 Karakterizasyon

ATRP ile üretilen canlı polimer PMMA'nın mikrografik yüzeyi kullanılan örnekler için Şekil (4.14) ve Şekil (4.15)' de gösterilmiştir. Kontrollü ısı ile argon atmosferi altında kürlenmiş örneklerin morfolojisi ve atmosferik çevre şartı altında kürlenmiş örnekler stereomikroskop altında incelendi. Örnekler üzerindeki çalışmalar göstermiştir ki atmosferik ortamda kürlenmiş örnekler cam üründe termal şok gibi desenler gösterirken, kontrollü atmosfer altında kürlenen örnekler eşit olarak dağılmış daha yumuşak bir yapı göstermiştir (Bel ve diğ., 2014).

Aşağıdaki XRD görüntülerinden de görüldüğü gibi 45°C'lik kontrollü ısıyla argon atmosferi altında kürlenen örnekler ve atmosferik çevre şartlarında kürlenen örnekler önemli düzeyde farklılıklar göstermiştir. Argon atmosferi altında kürlenen, ATRP ile oluşturulan canlı polimerizasyon PMMA örnekler literatürle uygun olarak polimerik maddelerin desenlerini çok iyi düzeyde göstermiştir. Diğeri bir taraftan atmosferik şartlarda kürlenen örnekler içindeki kristal yapı oluşumunu içeren keskin pikler göstermiştir (Bel ve diğ., 2014).



Şekil 4.14 : Atmosferik şartlarda kürlenmiş PMMA'nın XRD görüntüsü
(Bel ve diğ., 2014).



Şekil 4.15 : Argon atmosferi altında kürlenmiş PMMA'nın XRD görüntüsü
(Bel ve diğ., 2014).



5. DENEY SONUÇLARI

Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmayan ve uygulanan PMMA örnekler karşılaştırıldığında, solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmayan PMMA polimer yapının daha kırılkan olduğu Şekil 5.1 (a)'daki gibi üretildiği tespit edilmiştir. Şekil 5.1 (b)'de ise solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanan PMMA polimer örneklerin daha yoğun ve kompakt halde üretilebildiği tespit edilmiştir.



(a)



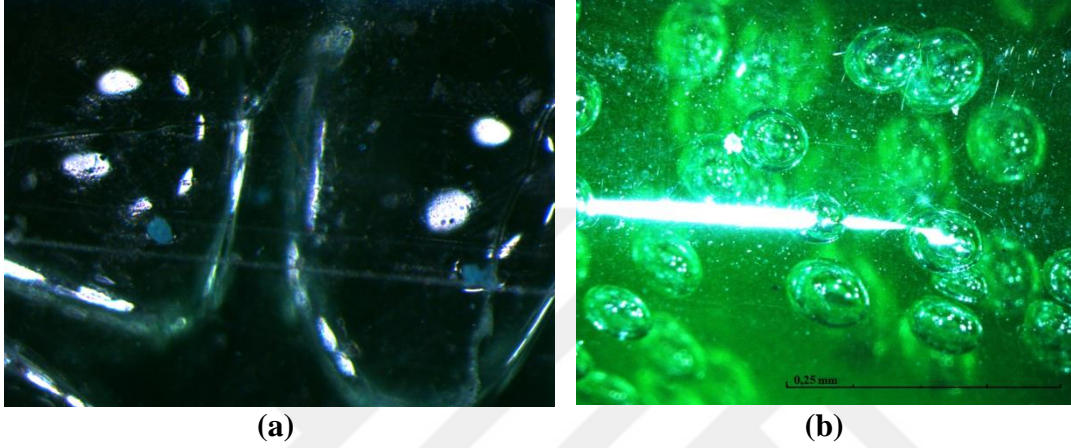
(b)

Şekil 5.1 : Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan ve (b) Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanan PMMA polimer yapısı.

5.1 PMMA Polimerin Optik Mikroskop Görüntüleri

Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmamış (Şekil 5.2) ve bu işlem uygulanarak (Şekil 5.3) üretilmiş PMMA polimer örneklerin optik mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi yapılmadan üretilen örneklerin optik mikroskop görüntüleri, bu örneklerin granüler bir yapıda olduğunu göstermektedir. Solüsyon içinde açığa çıkan

gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi sonrasında ise örneklerin granüler morfoloji kaybolurken daha homojen bir yapı elde edilmiştir. Ancak solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi sırasında örnek yüzeylerinde bazı kalıntıların da olduğu görülmektedir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan üretilmiş PMMA polimerin optik mikroskop görüntülerinde, Şekil (5.2a-b) 'de arz edilmiştir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan üretilen PMMA polimer örneklere ait görüntülerde yapının habbeli (~0.25 mm) olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 : Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanmadan PMMA polimer yapının optik mikroskop görüntüleri.

Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılma işlemi uygulanarak üretilmiş PMMA polimerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.3'de belirtilmektedir. Solüsyon içinde açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması sayesinde, yapıda kompaktlık sağlanırken, mikroskop görüntülerinde ise bu yapının daha homojen olduğu görülmektedir.

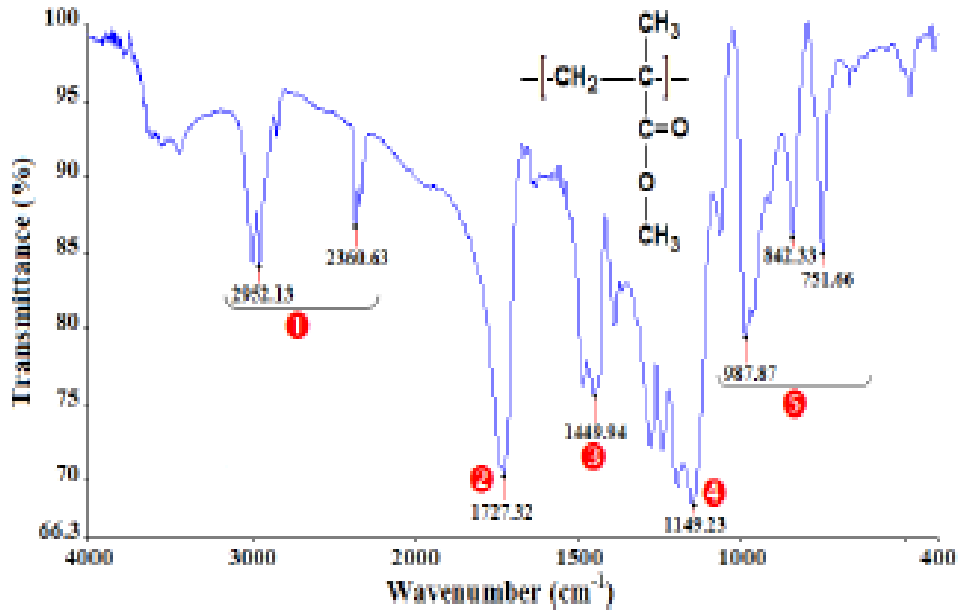


Şekil 5.3 : Degas edilmiş PMMA polimer yapının optik mikroskop görüntüleri.

5.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Ölçümleri

Kızılötesi spektroskopisinden (IR) yararlanarak uygulanan FTIR spektroskopisi yöntemi, ara yüzeylerde, kolloidlerde, agregalarda ve bimoleküler filmlerde bulunan moleküllerin yapısını, fonksiyonel gruplarını, yapıların bağ şekillerini ve yerleşim düzenini belirlemek amacı ile birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Oruçoğlu, 2010).

Bu tez çalışmasında incelenen ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimer yapının FTIR analiz sonuçları literatürde endüstriyel termoplastik olarak tanımlanan polymethyl methacrylate (PMMA)'ın FTIR analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Literatürde arz edilen PMMA yapının FTIR ölçümleri Şekil 5.4'de ve bu ölçümler sonucunda tespit edilen pikler Çizelge 5.1'de belirtilmiştir (Ghorbel ve diğ., 2014).

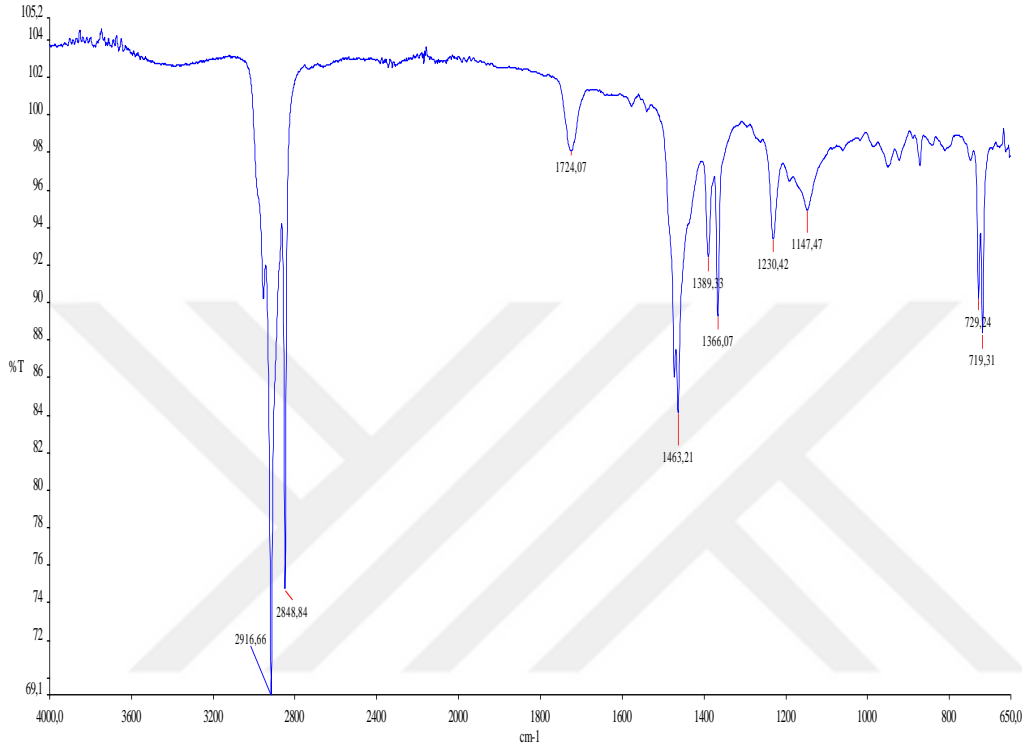


Şekil 5.4 : Literatürde arz edilen PMMA yapının FTIR ölçümleri (Ghorbel ve diğ., 2014)

Çizelge 5.1 : PMMA'nın infrared spektrumu (Ghorbel ve diğ., 2014).

Polimer	NO	Dalga Sayısı (cm-1)	Pik Belirleme
PMMA	1	2360-2952	O-CH ₃ stretch
	2	1727	C=O stretch (Keton)
	3	1450	C-H bending (alkan)
	4	1149	C-O stretch (eter)
	5	751-988	(CH ₂) _n with n>4

ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimer yapısını tanımlayabilmek için yapılan FTIR ölçümleri Şekil 5.5’de gösterilmektedir. Bu çalışmadaki FTIR ölçümleri, 650–4000 cm^{-1} aralığında yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında incelenen, ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimerde tespit edilen bağlar ise Çizelge 5.2’de belirtilmiştir. Şekil 5.5’de FTIR ölçümlerinde arz edilen piklere karşılık gelen bağların, literatüre uygun şekilde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.5 : ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimerin FTIR analiz sonuçları.

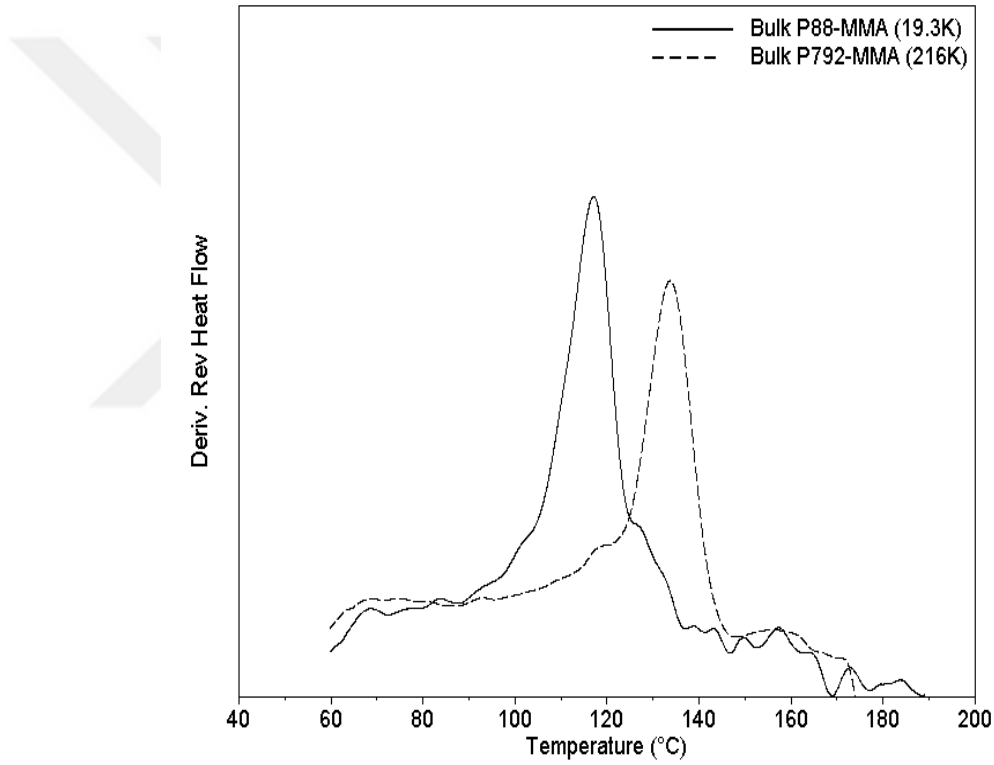
Çizelge 5.2 : ATRP yöntemi ile üretilmiş PMMA polimerde tespit edilen bağlar.

Bağ	Dalga sayısı (cm^{-1})
O-CH ₃ stretch	2916
O-CH ₃ stretch	2848
C=O stretch (Keton)	1724
C-H bending (Alkane)	1463
C-O stretch (Ether)	1147
(CH ₂) n>4 (Alkane)	729

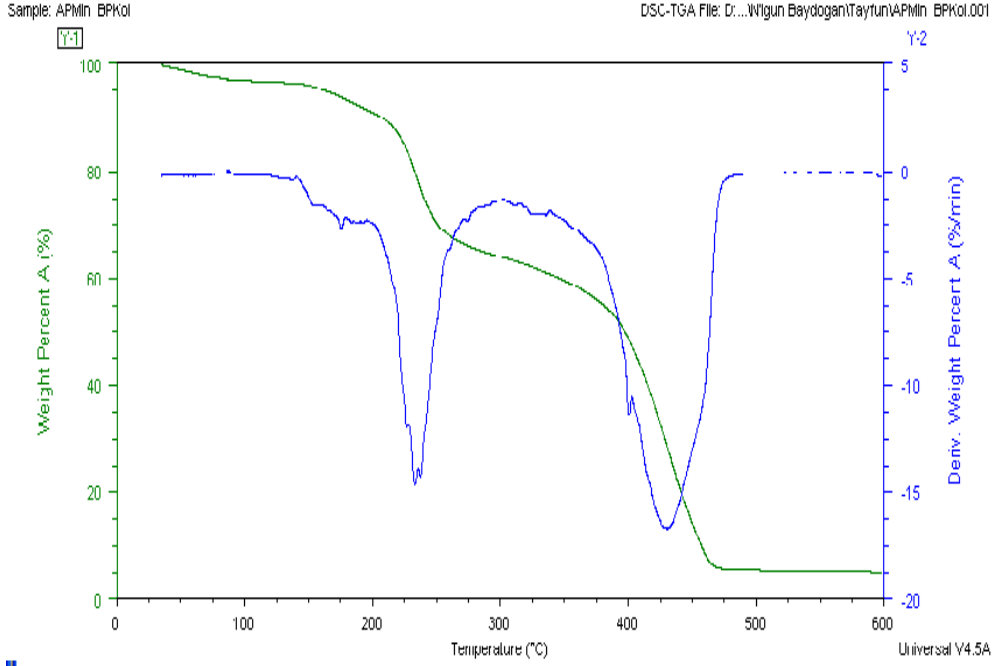
5.3 TGA/DSC Analiz Sonuçları

Literatürde arz edilen çalışmalarda bulk haldeki PMMA'nın camsı geçiş sıcaklığına ilişkin olarak, yapılan TGA/DSC analizleri kapsamındaki yapılan incelemelerdeki, derivative heat flow analizinde, Polymer Source, Inc. tarafından, bulk P88-MMA ürün no'su ile üretilen PMMA ($M_w = 1.93 \times 10^4$, $M_n/M_w = 1.06$)'nin camsı geçiş sıcaklığının, 116 °C olarak arz edilmektedir. Bu çalışmaya ait görüntü Şekil 5.6'da arz edilmektedir (Kabomo ve diğ., 2001).

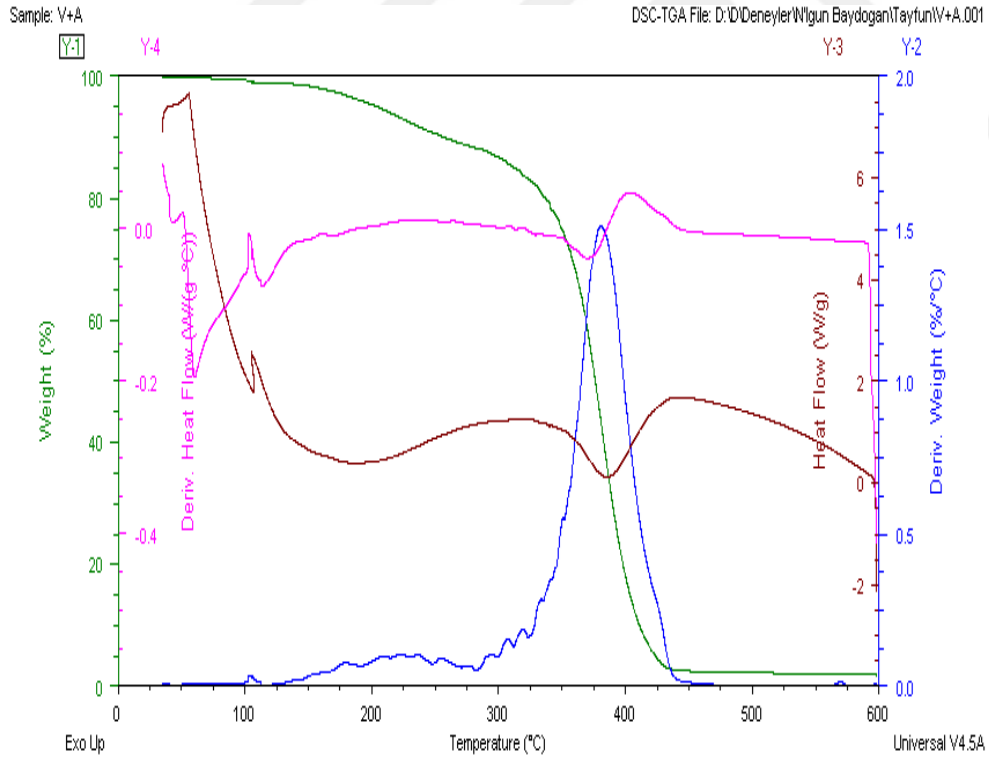
Bu tez çalışmasında incelenen, ATRP yöntemi ile üretilen, degas işlemi görmüş PMMA polimer yapıda da benzer şekilde, camsı geçiş sıcaklığının ~ 110 °C olduğu Şekil 5.7 (a-b)'de görülmektedir.



Şekil 5.6 : PMMA polimerin TGA/DSC analizi (Kabomo ve diğ., 2001).



(a)



(b)

Şekil 5.7 : (a,b) ATRP yöntemi ile üretilen, Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan PMMA polimerin TGA/DSC analizi.

5.4 Solüsyonda Açığa Çıkan Gazın Yapıdan Uzaklaştırılması İşleminin PMMA Polimer Yapının Kimyasal Kompozisyonuna Etkisi

Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işleminin PMMA'nın kimyasal kompozisyonuna etkisinin incelenmesinde XRF analizinden faydalanılmıştır.

PMMA solüsyona, deney düzeneğinin alt kısmından uygulanan, Ar (kütlece büyük atomlara sahip atomlardan oluşan) gazı ile degas işlemi yapılmıştır. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işleminde kullanılan argon tüpden ~ 0.5 mPa basınçta argon gazı ortama uygulanmıştır. ~ 0.5 mPa'lık basınçta hızlandırılmış Ar atomlarının, PMMA polimeri oluşturmak için hazırlanan solüsyon içinde etkin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.3).

Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işleminde kullanılan argon gazı içindeki Ar atomlarının, yapıda difüze olduğu düşünülmüştür. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi görmüş, 2 cm kalınlığındaki PMMA polimer örneklerin, alt ve üst yüzeylerinden yapılan XRF analizinde, PMMA polimer örneklerin alt ve üst yüzeylerinin kimyasal kompozisyonunda farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Cu atomların, solüsyonun üst yüzeyinde daha homojen bir şekilde daha fazla miktarda toplandığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi, Argon atomlarının solüsyon içine nüfuz ederek PMMA solüsyonu içindeki atomlara mermi taneciği gibi davranmasıdır. PMMA solüsyon içindeki kütlece ağır atomların, solüsyonun üst yüzeyine doğru saçılma etkisi sonucu bir miktar ilerlediği düşünülmüştür.

Çizelge 5.3 : PMMA polimer yapının alt ve üst yüzeylerinin XRF analizi.

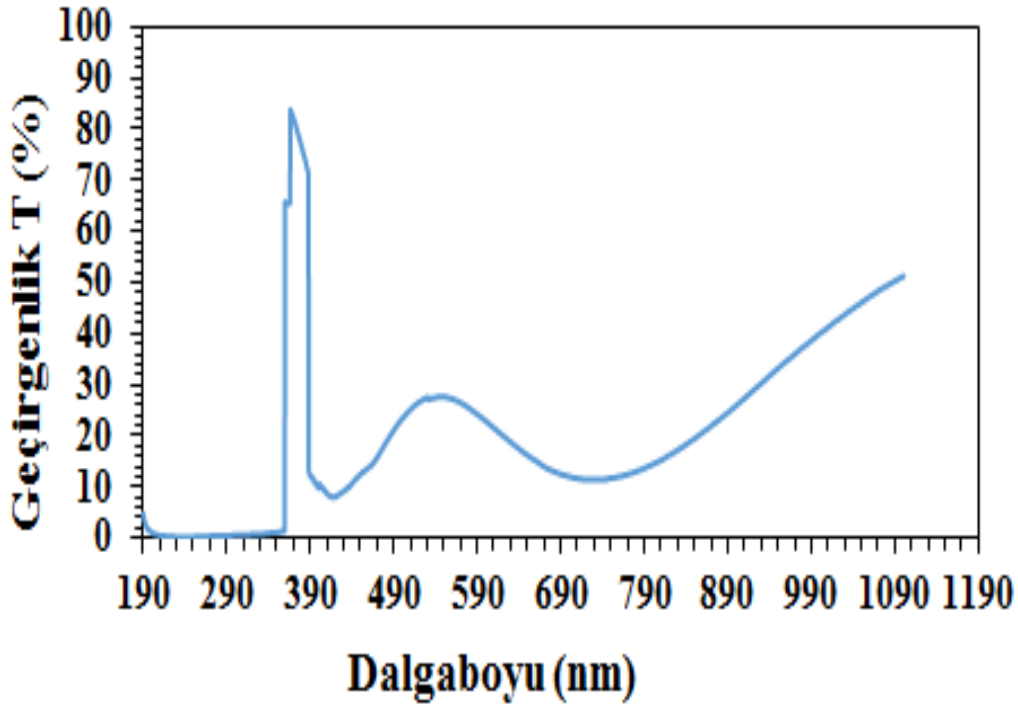
PMMA Polimerin Üst Yüzeyi			PMMA Polimerin Alt Yüzeyi		
Tespit eden	ppm	±	Tespit eden	ppm	±
Cu	6642	630	Cu	1203	24

5.5 Solüsyonda Açığa Çıkan Gazın Yapıdan Uzaklaştırılması İşleminin Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimerin Optik Geçirgenlik Özelliğine Etkisinin İncelenmesi

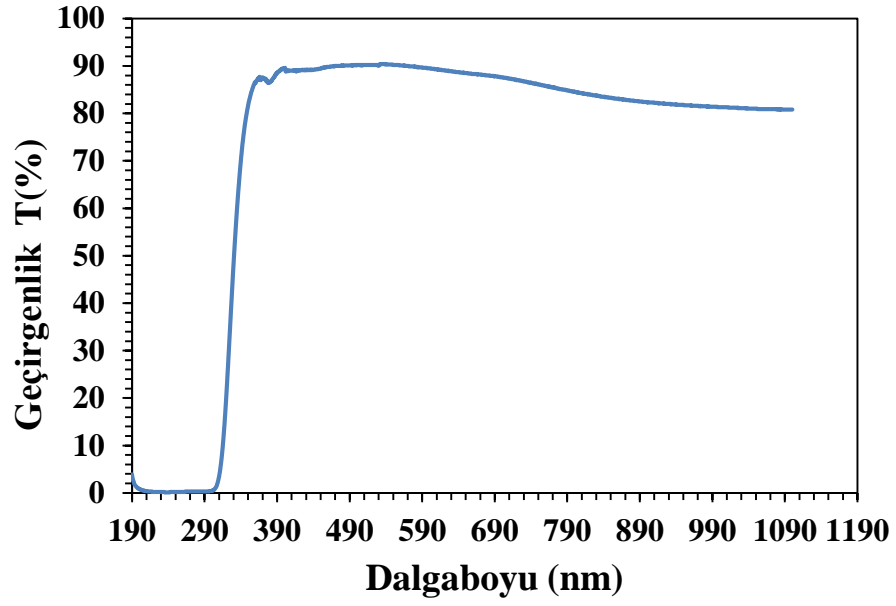
Homojen PMMA yapı elde etmek amacıyla, solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanarak üretilmiş PMMA örneklerin optik geçirgenlik özellikleri bu tez çalışmasında incelenmiştir.

Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işleminin, PMMA yapının optik geçirgenlik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, üretilen en ince ve en kalın örneklerin optik değerlerinde oluşan farklılıklar değerlendirilmiştir.

0.1 cm kalınlıktaki PMMA örneklerin optik geçirgenliği Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da arz edilmektedir. PMMA örneklerin kalınlığına bağlı olarak optik geçirgenlik değerlerinde değişimler olduğu görülmektedir.

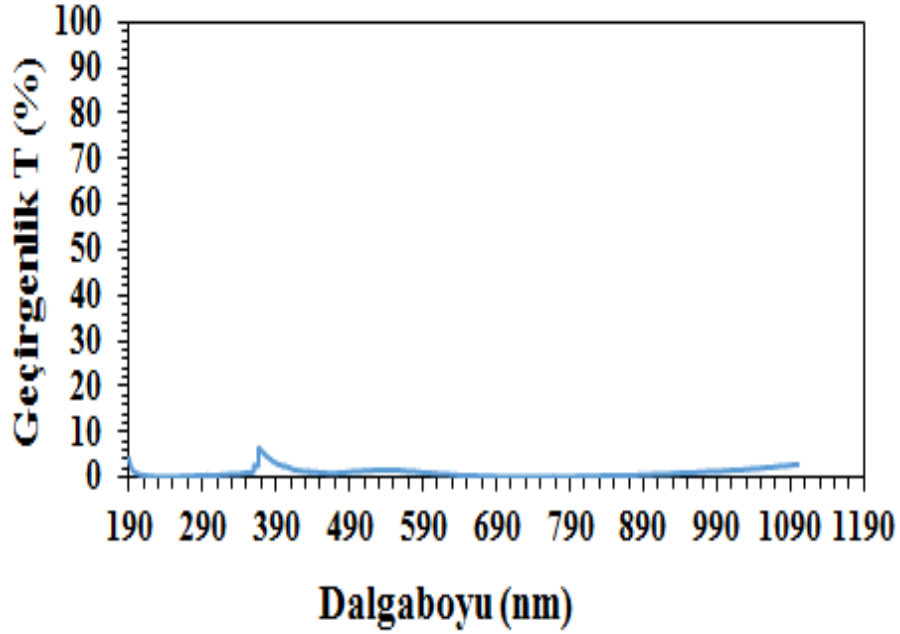


Şekil 5.8 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik geçirgenliği.

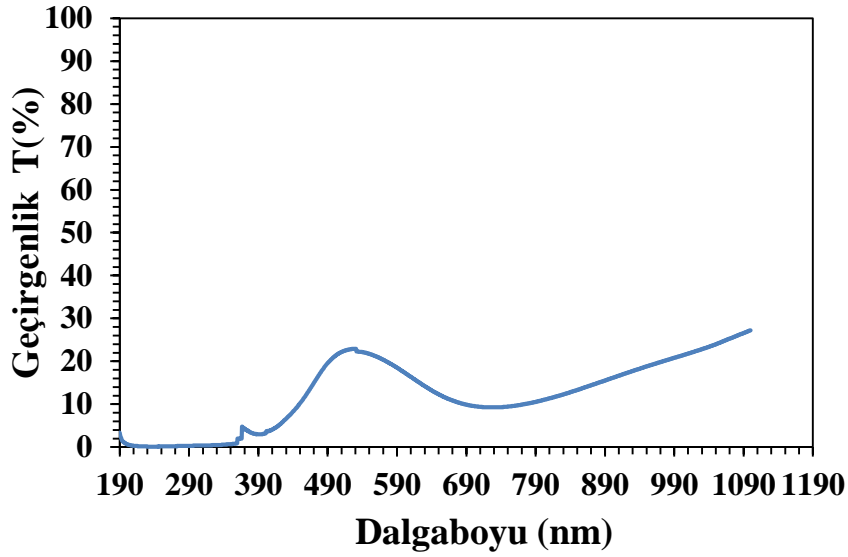


Şekil 5.9 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik geçirgenliği.

PMMA polimer örneklerin kalınlığı arttıkça geçirgenliğinin azaldığı görülmektedir. 0.6 cm kalınlıktaki PMMA örneklerin optik geçirgenliği Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de arz edilmektedir.



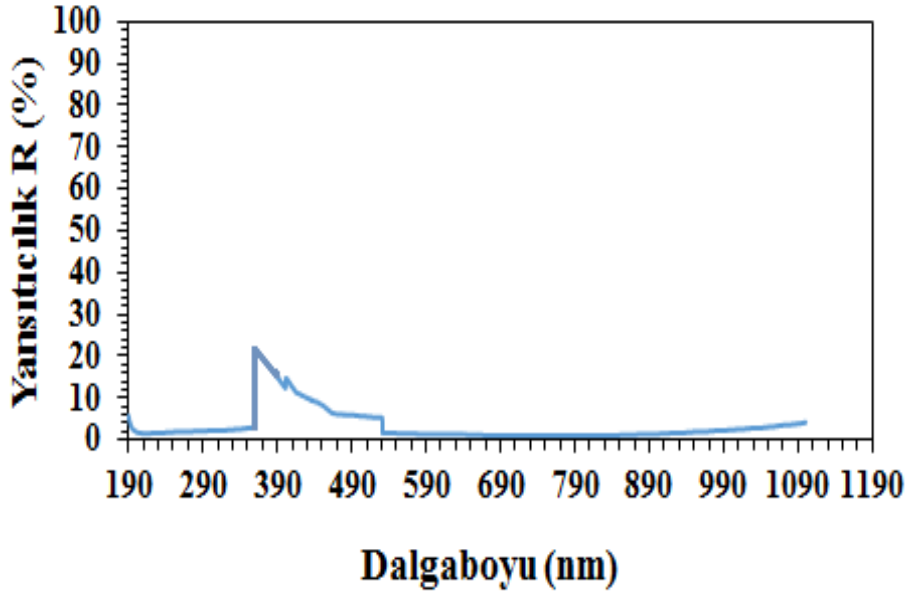
Şekil 5.10 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA’nın optik geçirgenliği.



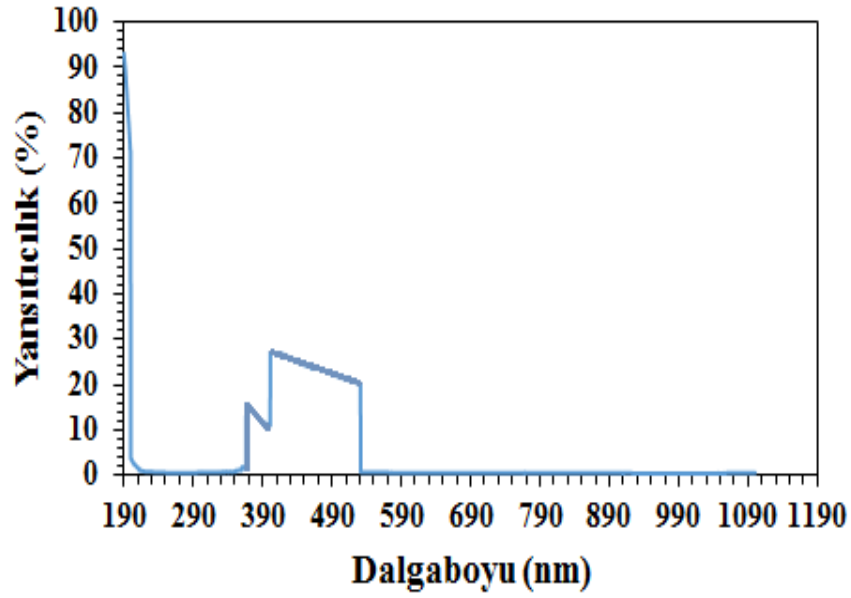
Şekil 5.11 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik geçirgenliği.

5.6 Poli(metil metakrilat) (PMMA) Polimerin Optik Yansıtıcılık Özelliğine Degas Etkisinin İncelenmesi

Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmış yapıdaki homojenliğin artması ve yapıdaki partiküllerin küçülmesi nedeniyle, geçirgenlik artarken, yansıtıcılığın azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).

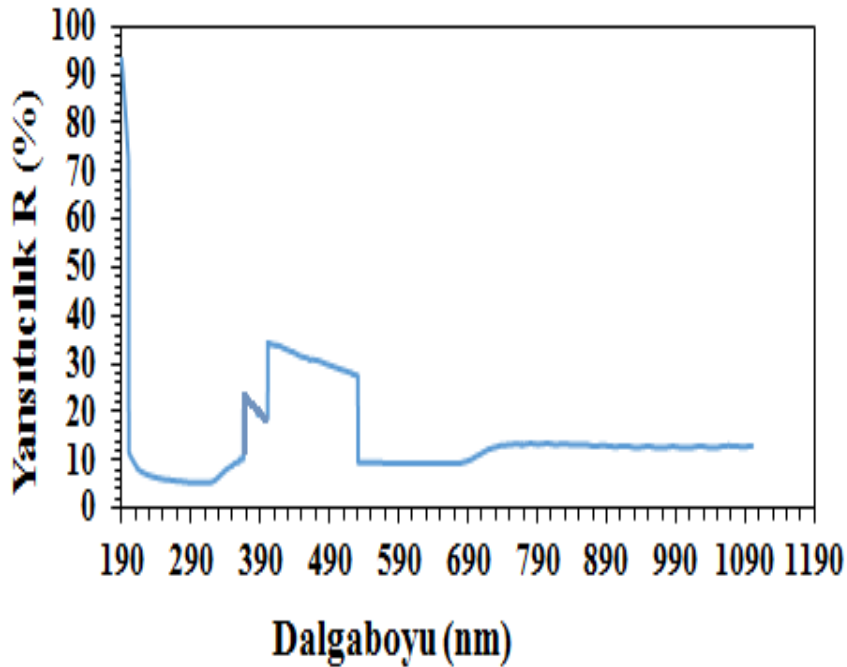


Şekil 5.12 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.

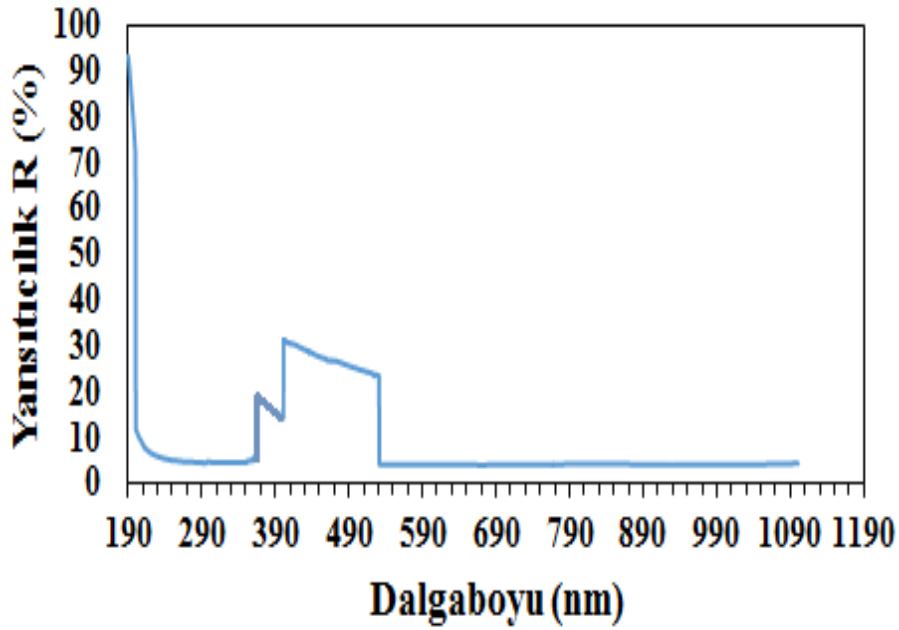


Şekil 5.13 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan, 0.1 cm kalınlıktaki PMMA polimerin optik yansıtıcılığı.

PMMA polimer örneklerin kalınlığı arttıkça, örneklerin yansıtıcılığı bir miktar artmıştır (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15). PMMA polimer örneklerin kalınlığı arttıkça, yapı içinden geçen ışınların, yapıdaki partikül sayısı artışına bağlı olarak yapı içinde daha fazla saçıldığı düşünülmüştür.



Şekil 5.14 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.



Şekil 5.15 : Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan,0.6 cm kalınlıktaki PMMA'nın optik yansıtıcılığı.

5.7 PMMA Canlı Polimerin Gama Transmisyon Özelliklerinin İncelenmesi

PMMA canlı polimerin gama transmisyon ölçümleri sonucunda polymer yapının zayıflatma katsayısının (μ) belirlenmesi amacıyla, Eşitlik (3.1) kullanılmıştır.

$$I=I_0e^{-\mu x} \quad (3.1)$$

5.7.1 Cs-137 radyoizotopu kullanılarak gama transmisyon özelliklerinin incelenmesi

Farklı kimyasal kompozisyonlardaki PMMA örneklerin, gama transmisyon değişimleri, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Çizelge (5.4., 5.5., 5.6., 5.7.)'de arz edilmektedir. Bu çalışmada Cs-137 gama radyoizotop kaynağının seçilmiş olmasının nedeni; mono enerjilik (tek enerjili) bir radyoizotop kaynak olması ve yarı ömrünün 30 yıl olması nedeniyle ölçümlerde çalışılan zaman aralığı için aktivite düzeltmesi yapılmadan çalışılabilir olmasıdır.

Cs-137 radyoizotopundan yayınlanan fotonların enerji seviyesinin 0,667 keV olmasından dolayı, çalışılacak polimer numuneler için bu enerji seviyesinin uygun olması bu radyoizotopun gama geçirgenlik deneyleri için seçilmesinde etkin olmuştur (Büyük ve Tuğrul, 2009).

Deneylere başlanmadan ve radyoizotop kaynak sayım sistemine, yerleştirilmeden önce, doğal ortam radyasyonu (background) (I') ölçülmüştür. Daha sonra ise çalışılacak radyoizotop kaynak yerleştirilmiştir.

Radyoizotop kaynak yerine sabitlendikten sonra, PMMA polimer örnekler sayım sistemine yerleştirilmeden önce sayımlar alınmıştır. Laboratuvar ortamının bu sayımları, deney geometrisindeki radyoizotop kaynak olmadan başlangıç sayımı (I') olarak nitelenmiştir. Bu sayımlar en az üç kez olmak üzere alınmış ve ortalama başlangıç sayımları belirlenmiştir.

Kaynak yerleştirildikten sonra alınan sayımlardan, ortam radyasyonu çıkarılarak net sayımlar elde edilmiştir. Net sayımların ortalamaları hesaplanarak ortalama sayım elde edilmiştir. Rasyonel değerlendirmelerin yapılabilmesi için başlangıç sayımlarına göre bağıl sayım (I/I_0) tayini yoluna gidilmiştir. Daha sonra ise, standart sapmalar Microsoft Excel programı yardımı ile hesaplanmıştır. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan 0.1 cm kalınlıktaki PMMA örneklere, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak elde edilen bağıl sayım değerleri Çizelge 5.4'de, belirtilmektedir. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanması durumunda ise elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5'de arz edilmektedir.

Çizelge 5.4 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Cs-137	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
I_0	1031	1027	1025	1028	3	1,0000
I	998	1005	1003	1002	4	0,9750

Çizelge 5.5 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Cs-137	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
I_0	1031	1027	1025	1028	3	1
I	993	995	994	994	1	0,9673

Açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA örneklerin , Cs-137 radyoizotopu kullanılarak elde edilen bağıl sayım değerleri Çizelge 5.6'de, belirtilmektedir. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanması durumunda ise elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de arz edilmektedir.

Çizelge 5.6 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Cs-137	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/Io)
Io	1031	1027	1025	1028	3	1
I	921	922	927	923	3	0,8985

Çizelge 5.7 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Cs-137	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/Io)
Io	1031	1027	1025	1028	3	1
I	873	872	871	872	1	0,8485

5.7.2 Co-60 radyoizotopu kullanılarak gama transmisyon özelliklerinin incelenmesi

Deneylerde gama kaynağı olarak Co-60 gama radyoizotopu kullanılmıştır. Gama radyasyonu ölçümü için sintilasyon dedektörü ve çok kanallı analizörü bir arada bulunduran ölçüm sistemi deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan 0.1 cm kalınlıktaki PMMA örneklere , Co-60 radyoizotopu kullanılarak elde edilen bağıl sayım değerleri Çizelge 5.8'de, belirtilmektedir. Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanması durumunda ise elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9'de arz edilmektedir.

Çizelge 5.8 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Co-60	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/Io)
Io	5341	5348	5345	5345	4	1
I	5270	5272	5275	5272	3	0,9865

Çizelge 5.9 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.1 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Co-60	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/Io)
Io	5341	5345	5348	5345	4	1
I	5162	5151	5156	5156	6	0,9647

Oluşan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, 0.6 cm kalınlıktaki PMMA örneklerin , Co-60 radyoizotopu kullanılarak elde edilen bağıl sayım değerleri Çizelge 5.10’de, belirtilmektedir. Açığa çıkan gazın solüsyondan uzaklaştırılması işlemi uygulanması durumunda oluşturulan örnekler için ise elde edilen sonuçlar Çizelge 5.11’de belirtilmektedir.

Çizelge 5.10 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri

Co-60	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/Io)
Io	5341	5348	5345	5345	4	1
I	4961	4971	4968	4967	5	0,9293

Çizelge 5.11 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan 0.6 cm kalınlıktaki örneklerin örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

Co-60	1. Sayım	2. Sayım	3. Sayım	Ortalama Sayım	Standart sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
I₀	5341	5348	5345	5345	4	1
I	4609	4614	4602	4608	6	0,8622

Farklı kimyasal kompozisyonlardaki PMMA örnekler için, Cs-137 ve Co-60 radyoizotopları kullanılarak, bağıl sayım sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.12’de ve Çizelge 5.13’de belirtilmektedir.

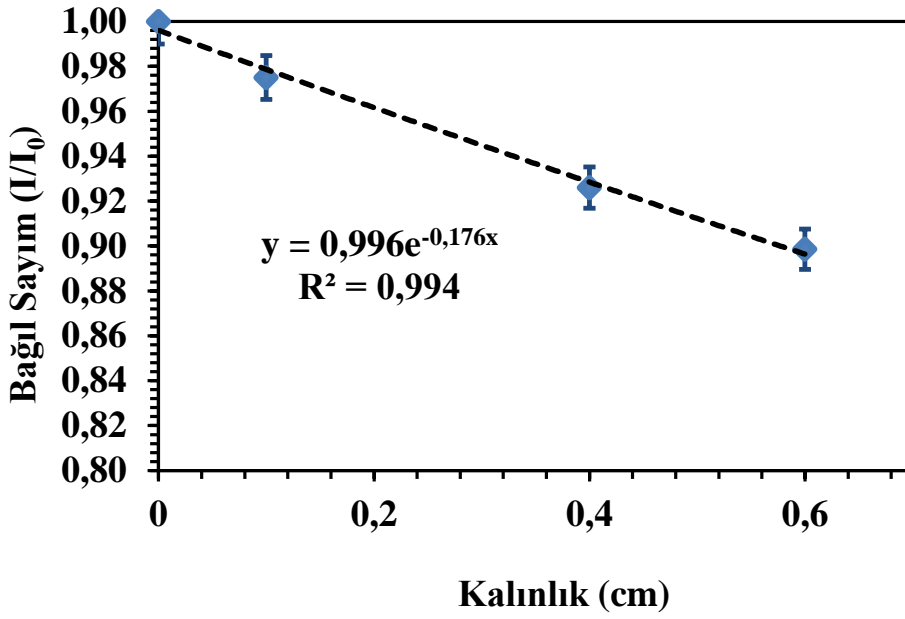
Çizelge 5.12 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan farklı kalınlıklardaki örneklerin Cs-137 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

PMMA Polimer Örnek	Kalınlık (cm)	Sayımlar			Ortalama Sayım (I)	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
		I ₁	I ₂	I ₃			
Polimer Örnek yokken	0	1031	1027	1025	1028	3	1
Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan	0,1	998	1005	1003	1002	4	0,9750
	0,4	953	951	950	951	2	0,9257
	0,6	921	921	927	923	3	0,8985
Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan	0,1	993	995	994	994	1	0,9672
	0,4	909	908	907	908	1	0,8836
	0,6	873	872	871	872	1	0,8485

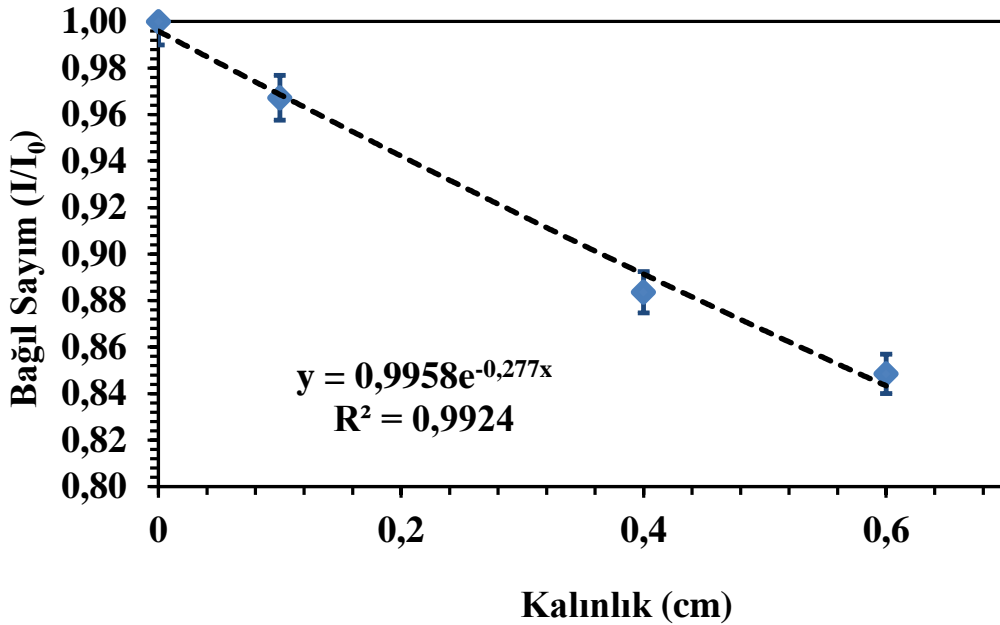
Çizelge 5.13 : Gazın uzaklaştırılması durumunda oluşturulan farklı kalınlıklardaki örneklerin Co-60 radyoizotopu ile bağıl sayım değerleri.

PMMA Polimer Örnek	Kalınlık (cm)	Sayımlar			Ortalama Sayım (I)	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
		I ₁	I ₂	I ₃			
Polimer Örnek yokken	0	5341	5348	5345	5345	4	1
Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan	0,1	5270	5272	5275	5272	3	0,9865
	0,4	5088	5085	5089	5087	2	0,9519
	0,6	4961	4971	4968	4967	5	0,9293
Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanan	0,1	5162	5151	5156	5156	6	0,9648
	0,4	4792	4799	4795	4795	4	0,8598
	0,6	4609	4614	4602	4608	6	0,8972

Solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, PMMA örneklerin, kalınlıktaki artışa bağlı olarak, bağıl sayım değişimi, Cs-137 radyoizotopu kullanılarak, Şekil 5.16'de arz edilmektedir. Şekil 5.16'deki grafikte belirtilen exponansyel eğrinin denklemi, Excel Programı kullanılarak tespit edilmiştir. Bu grafikte, lineer soğurma katsayısının, 0.176 cm⁻¹ olduğu görülmektedir. Açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması durumundaki elde edilen PMMA yapıdaki değişim Şekil 5.17'de belirtilmektedir ve bu grafikte lineer soğurma katsayısının, 0.277 cm⁻¹ olduğu görülmektedir.



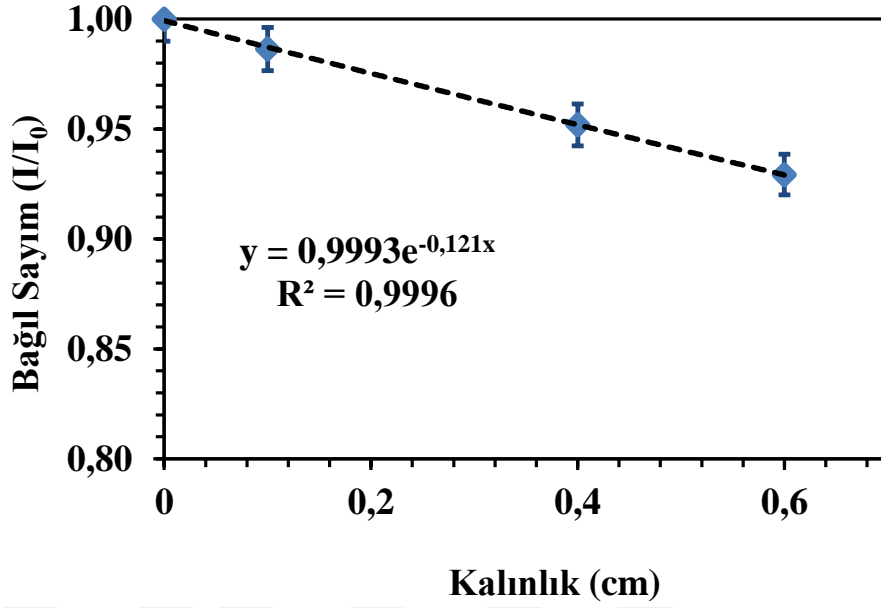
Şekil 5.16 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda PMMA'nın Cs-137 radyoizotopu ile bağlı sayım değişimi.



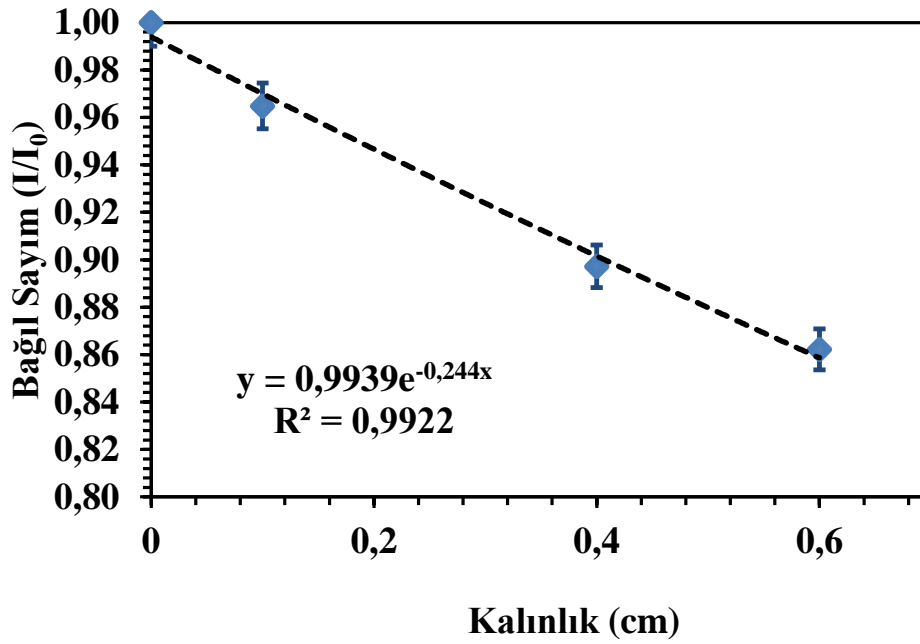
Şekil 5.17 : Gazın uzaklaştırılması durumunda PMMA'nın Cs-137 radyoizotopu ile bağlı sayım değişimi.

Açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması işlemi uygulanmayan, PMMA örneklerin, kalınlıktaki artışa bağlı olarak, bağlı sayım değişimi, Co-60 radyoizotopu kullanılarak, Şekil 5.18'de arz edilmektedir. Şekil 5.18'deki grafikte belirtilen exponansiyel eğrinin denklemi, Excel Programı kullanılarak tespit edilmiştir. Bu grafikte, lineer soğurma katsayısının, $0,121 \text{ cm}^{-1}$ olduğu görülmektedir. Açığa çıkan gazın yapıdan

uzaklaştırılması durumundaki elde edilen PMMA yapıdaki değişim Şekil 5.19’de belirtilmektedir ve bu grafikte linear soğurma katsayısının, $0,244 \text{ cm}^{-1}$ olduğu görülmektedir.



Şekil 5.18 : Gazın uzaklaştırılmaması durumunda PMMA'nın Co-60 radyoizotopu ile bağlı sayım değişimi.



Şekil 5.19 : Gazın uzaklaştırılması durumunda PMMA'nın Co-60 radyoizotopu ile bağlı sayım değişimi.



6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ağırlığın kritik olduğu sanayii dallarında, örneğin uzay ve otomotiv sanayilerinde, polimer malzemeler önem taşımaktadır. Polimerik malzemeler hafif olduklarından, günümüzde diğer malzemeler yerine kullanılmasına ilişkin araştırmalar yapılmakta ve böylece yapıda ağırlığın azaltılmasında avantaj sağlanması çalışmaları devam etmektedir. Bu nedenle, yapım malzemesini pratik bir şekilde hafifletmek günümüzde önem taşıyan konular arasında olduğundan, bu tez çalışmasında farklı şartlarda üretilmiş PMMA polimer yapılar, gama transmiyon tekniği ile incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında;

1. ATRP yöntemiyle oluşturulan PMMA'nın sentezlendiği solüsyonda degas işlemi uygulanmış ve uygulanmamış örnekler arasındaki oluşan yapısal farklılıkları incelenmiştir.
2. Degas işleminin PMMA yapıya etkisinin incelenmesinde ayrıca, gama transmiyon tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, degas işlemi sonrasında PMMA polimerdeki yapısal farklılığı değerlendirmek için, Cs-137 ve Co-60 radyoizotopları kullanılmıştır.
3. Gama transmiyon tekniği ile yapılan incelemelerde, solüsyonda açığa çıkan gazın yapıdan uzaklaştırılması sayesinde, daha yoğun bir PMMA polimer yapının oluştuğu tespit edilmiştir.

Gözenekli (~0.25 mm çap) PMMA sayesinde, ağırlık azaltılmasında avantaj sağlanabileceğinden, yakıt ekonomisinde tasarruf sağlanabilmesi söz konusudur. Polimerizasyon sürecinde, solüsyona uygulanan, argon gazı basıncı (0.5 mPa altında) degas işleminde etkili olmuştur. Yapıda kabarcıkların artışı sayesinde, polimer yapının ağırlığının azaltılması sağlanırken, PMMA polimer yapının oluşabildiği tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

- Akdoğan Eker, A.**, 2009, Plastiklerin Başlıca Kullanım Alanları, <http://www.yildiz.edu/>, alındığı tarih: 08.03.2016
- Akkaya, G.**, 2013, Bursa İli Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının İncelenmesi, Nilüfer Belediyesi Yayıncılık, Bursa, Türkiye.
- Bakkal, S.**, 2012, Kilis İli Toprak Örneklerinde ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K Ve ¹³⁷Cs Radyoaktivite Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Baysal, B.**, 1981, Polimer Kimyası, ODTÜ Fen Edebiyat Fakültesi, Yayın No:3, Cilt1, Ankara.
- Bel, T., Baydoğan, N., Çimenoğlu, H.**, 2014, Effect Of Curing Ambient On Poly (Methacrylate) Living Polymer, Department of Metallurgical and Materials Engineering, International Journal of Mechanical And Production Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- Benlikaya, R.**, 2009, Bazı Polimetakrilat Türevi/Kil Nanokompozitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S., Olsen, K.**, 2013, XCOM: Photon Crosssection Database, <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>, U.S.
- Bilge, A.N.**, 1991, Endüstride Nükleer Teknikler, I.T.Ü. Rektörlüğü 1445, İTÜ Rektörlüğü Ofset Baskı Atölyesi.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B.**, 2009, Gama Transmisyon Tekniği İle Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Metaller İçin Kalınlık Tayini, *X. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 6-9 Ekim 2009, 49-58.*
- Büyük, B.**, 2013, Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama Ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi, XCOM Bilgisayar Programı İle İrdelenmesi ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzemesi Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Büyük, B., Tuğrul, A.B., Aktop, S.**, 2015, Tib2 Katkılı B4C-Sic Kompozit Malzemelerin Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(1), 24-29*, Nükleer Araştırmalar ABD, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Çalışkana, A.**, 2013, Poli(metil metakrilat)/Nevşehir pomzası kompozitlerin elektroeolojik özelliklerinin incelenmesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Çiftçioğlu, D., 2006, UV Radyasyonu İle Polimer Zincirlerinin Kırılmasının Kinetiği Ve Bilgisayar Programı İle Bu Degradasyonun Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Clegg, D.W., Collyer, A.A., 1991, Irradiation Effects On Polymers, Elsevier Applied Science, London.

Daşdağ, S., 2011, Dalga dalga geliyorlar, Hayykitap Yayıncılık, İstanbul.

Doğan, A., Karacaer, Ö., Doğan, O.M., Bolayır, G., Bek, B., 2007, Değişik Polimerizasyon Yöntemlerinin Farklı Konsantrasyonlarda Cam Fiberle Güçlendirilen Poli (Metil Metakrilat) Protez Kaide Rezinin Transvers Dayanımına Etkisi, *Cumhuriyet Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi* Cilt:10 Sayı:1, Sivas.

Ertem, G., Şimşek, E., Karacaer, Ö., 2011, The Effect Of Two Different Polymerization Methods On The Amount Of Residual Monomer Of Acrylic Resins Reinforced With Polyethylene Fiber, *Gazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, **28(1)**, 9-16.

Ghorbel, E., Hadriche, İ., Casalino, G., Masmoudi, N., 2014, Characterization of Thermo-Mechanical and Fracture Behaviors of Thermoplastic Polymers, **7**, 375-398.

Göksel S.A., 1973, Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması, İTÜ, Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayınlar No:9, İTÜ Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul.

Görgün, E., 2014, PMMA Biyoaktif Çimentolarının Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.

Kabomo, M.T., Blum, F.D., 2001, Glass Transition Behavior Of PMMA Thin Films, Missouri University of Science and Technology.

Knoll, G.F., 2002, Radiation Detection and Measurement, University of Michigan, John Wiley & Sons Inc. New York, ABD.

Köklü, M., Özyetiş, Ö., Maraşhoğlu, D., Yavuklu, E., Çelen, B., Tufan, T., Gündüz, M., 2003, Kalsiyum Borat Analizlerinde Gelişmeler, *Türkiye 18. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*.

Krane, K.S., 2001, Nükleer Fizik, Palme Yayıncılık.

L'Annunziata, M.F., 2007, *Radioactivity Introduction and History*, 1st ed. UK, Elsevier. Med Oral Pathol;19:515-530

Mısır, M., 2011, Yeni Başlatıcı Sistemleri İle E-Kaprolaktonun Halka Açılma Polimerizasyonu (ROP) Ve Çeşitli Monomerlerin Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu (ATRP), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.

Oliveira, B.B., Oliveira, Marcio A., Paixão, L., Teixeira, M., Nogueira, M., Dosimetry And Image Quality Assessment İn A Direct Radiography, System, Radiol Bras. 2014 Nov/Dez;47(6):361–367.

- Oray, O.**, 2007, Nükleer Enerji ve Çevre, Bitirme Ödevi İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi.
- Oruçoğlu, E., Hacıyakupoğlu, S.**, 2010, Organo-Bentonitler Ve Karakterizasyonlarında Kullanılan Yöntemler, *Kil Bilimi ve teknoloji Dergisi*, Kibited **1(4)**, 301-317.
- Özden, N.**, 1983, Nükleer Çağın İlk 40 Yılı, Cilt2, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Genel yayınlar No:18, İstanbul.
- Öztürk, M., Delibaş, A.**, 2014, Metil metakrilat/2-etilhekzil akrilat latekslerinin sentezi ve karakterizasyonu, Bozok Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, V. *Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi*, Yozgat.
- Saçak, M.**, 1998, Polimer Kimyasına Giriş, , Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Döner sermaye işletmesi yayınları, Ankara.
- Şahin, N.**, 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık, ISBN 975 02 03283, Ankara.
- Seyrek, E.**, 2007, Radyoizotopların üretimi ve radyoterapide kullanılması, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Fizik Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, Tez.
- Shultis, J.K., Faw, R.E.**, 2013, Radiation Shielding, (Sf. 389-425), Springer, New York.
- TAEK**, 1999, Radyasyon ve Radyasyondan Korunma, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, İstanbul.
- Ulcay, Y., Altun, Ş., Baycan, İ.**, 2010, Aramid, Novoloid Ve Polietilen Liflerinin Radyasyon Etkisi Altında Mukavemet Değerlerinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, sayı. 1.
- Uyanık, C.**, 2011, X-Işınları Kristalografisi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Tez.
- Vural, M.**, 1996, Polimerler ve Kompozit Malzemeler, İTÜ Makine Fakültesi, /akademi.itu.edu.tr/
- Yaramış, B.**, 1985, Nükleer fizik, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Yayın No:7, Cilt1, Türkiye.
- Url-1** <<http://www.aldemirltd.com/#!polymer/c7d8>> erişim tarihi: 09.07.2015
- Url-2** <<http://www.kahveciogluplastik.com/urunler/16-pleksiglas>
pmmapolimetilmetakrilat> erişim tarihi: 30.10.2015
- Url-3** <http://www.bayar.edu.tr/besergil/7_muhendislik_plastikleri.pdf>, erişim tarihi: 04.01.2016
- Url-4** <http://institute.tarla.org.tr/thm/uphuk/5/presentations/1gun/2nd_session/L_GUNAYDIN_radyasyonun%20polimerler%20%C3%BCzerine%20etkisi.pptx> erişim tarihi: 13.02.2016
- Url-5** <<http://merlab.metu.edu.tr/uv-vis-spektrofotometresi>> erişim tarihi: 24.01.2016



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hanife Çakar
Doğum Tarihi ve Yeri : Üsküdar/08.04.1989
E-posta : hanifecakar@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik

TEZDEN TÜRETİLEN PROJELER

- Cakar, H., Baydoğan, N., 2015~ İTÜ BAP Proje No: 39314 Polimer malzemelerde degas işleminin yapıya etkisinin incelenmesi ve gama transmiyon tekniği ile polimer yapının yoğunluğunda oluşan değişimlerin incelenmesi, İstanbul, Türkiye.