

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİOLEFİN BAZINDAKİ POLİMERLERİN
OPTİK ÖZELLİKLERİ

106246

Ö. Funda GÜNDOĞDU

F.B.E. Fizik Anabilim Dalı Fizik Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. F. Şenel BOYDAĞ

[Signature]

[Signature]

Prof. Dr. Saral Mamedov

[Signature]
Prof. Dr. Nurfer Güngör

İSTANBUL - 2001

YÜKSEK ÖĞRETİM PROGRAMI
DOKÜMANTASYON BÖLÜMÜ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. POLİMERLERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI.....	3
2.1. Fiziksel Özellikler	9
3. ENERJİ BANTLARI	11
3.1. Davis –Mott Modeli	13
3.2. Polimerlerde Band Aralığı.....	14
3.3. Optik Geçişler	14
4. IŞINIM	20
4.1. Işık – Madde Etkileşimi	21
4.2. Işıma Özellikleri	22
4.3. Bir Yüzeyin Spektral ve Toplam Özellikleri	24
4.3.1. Spektral Özellikler	24
4.3.2. Yöne Bağlı Işıma Özellikleri	26
4.3.2.1. Yansıma ve Geçirgenlik	27
4.3.2.2. Yayılım ve Soğurma	29
4.4. Lambert – Beer Yasası	29
4.5. Optik Özellikler	32
4.5.1. Optik Kararlılık	33
4.5.2. Şeffaflık ve Renklenme	33
4.5.3. Matlık ve Parlaklık	34
5. GEÇİRGENLİK TAYİNİ	35
5.1. Karakteristik Parametrelerin Tayini	35
5.2. Işık Geçirgenlik Katsayısı	35
5.3. Yansıma Katsayısı	36
5.4. Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenlik Katsayısı (Solar Faktör)	36
5.4.1. Geliş Güneş Işını Bölümleri	36
5.4.2. Direkt Güneş Geçirgenlik Katsayısı	37
5.4.3. Direkt Güneş Yansıma Katsayısı	38
5.4.4. Direkt Güneş Soğurma Katsayısı	38
5.4.5. İç Bölgeye Doğru Olan İkincil Isı Transfer Katsayısı	39
5.4.5.1. Sınır Koşulları	39
5.4.5.2. Tek Tabakalı Malzeme	39
5.4.5.3. Çift Tabakalı Malzeme	40
5.4.5.4. Üç Tabakalı Malzeme	41
5.4.6. Geçen Toplam Güneş Enerjisi	42

5.4.7.	Ek Isı Transferi	42
5.5.	UV Geçirgenlik Katsayısı	43
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
7.	DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	47
KAYNAKLAR		72
ÖZGEÇMİŞ		74



KISALTMALAR

AMO	: Aşırı molekül oluşumları
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
KAIS	: Küçük açılı ışın saçılması
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	İnorganik Homozincirli Polimerler.....	4
Şekil 2.2.	Polisiloksan – R: Alkil Grubu	4
Şekil 2.3.	Ağlı Polimer	5
Şekil 2.4.	Doğrusal Polimelerde Konfigürasyonlar a) Baş Kuyruğa; b) Baş-Baş veya Kuyruk-Kuyruğa.....	6
Şekil 2.5.	Polivinilkorit.....	6
Şekil 2.6.	Etilen türevlerinde konfigürasyonlar a) Cis b) trans.....	7
Şekil 2.7.	Polipropilen Stereoizomer a) İzotaktik b) Sindiotaktik.....	8
Şekil 2.8.	Polimer zincir demetlerinde zincirlerin üç yerleşim türü a) kristalin yapıya uygun ve bütün zincirlerin her üç ekseninde paralel yerleşmesi; b) zincirlerin kesişmeyerek uzayda iyi istiflenerek paralel yerleşmesi, her yüzeyde zincirlerin yüzey açıları farklı olabilir (saf amorf durum) c) zincirlerin yüzeyde birbirine paralel olarak farklı açılarda yerleşmesi.....	9
Şekil 3.1.	(a) Na metalinin kısmen elektronlarla dolmuş valans bandı (b) Mg metalinin elektronlarla tamamen dolmuş 3s-valans bandı ve serbest 3p-bandının kısmen üst üste gelmesi	11
Şekil 3.2.	(a) yalıtkanın, (b,c) yarıiletkenin enerji bant diyagramı (E_g yasak bant genişliğidir)	12
Şekil 3.3.	Davis – mott Modelinde enerjiye karşın enerji seviye yoğunluğu $N(E)$ ve mobilite.....	13
Şekil 3.4.	Kristalin yarı iletkenlerde soğurma kenarlarının değişik şekillerinin gösterimi a) (i) direk izinli (ii) direk yasak, b) İndirek, $n=2$ izinli, $n=3$ yasak c) eksiton oluşumlu direk izinli d) Ekspansiyen Urbach kenarı.....	15
Şekil 3.5.	Optik absorpsiyon eğrisi	18
Şekil 4.1.	Bir yüzeyden yansıyan, soğurulan, geçen enerji	22
Şekil 4.2.	Bir noktada $\vec{i}$ yönünde yayınlanan (yansıyan) ışın.....	23
Şekil 4.3.	Bir noktada $d\Omega$ katı açısında dA gibi küçük bir alanda dağılan ışın demeti.....	23
Şekil 4.4.	Işın demetinin belli bir kırılma indisine sahip bir ortamdan başka kırılma indisine sahip bir ortama geçişi	24
Şekil 4.5.	Spektral yayıcılık gücü.....	25
Şekil 4.6.	Işığın yüzeyle etkileşimi.....	27
Şekil 4.7.	Işımaya maruz kalan filmin şeması	31
Şekil 4.8.	Filmde çoklu iç yansımalar	32

ÖZET

Polimer malzemelerin hafif, ucuz ve kolay işlenebilir olması onların cam, metal gibi diğer malzemelerin yerini alması, uygulamada birçok özelliklerinin araştırılmasını gerektirmektedir. Polimer kullanımındaki en önemli konulardan biri onların henüz tam olarak anlaşılamayan makroskopik optik özellikleridir. Bu çalışmada polipropilen (PP) ve alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) bazındaki polimer kompozitlerin geçirgenlik/soğurma özellikleri araştırılmıştır. Alçak yoğunluklu polietilen temeli, kalınlıkları 52-150 μm arasında değişen AYPE / PP elyaf (%10 - %50 PP elyaf), AYPE/elmas (%0,3-%1,5 elmas); polipropilen temelli kalınlıkları 30-225 μm arasında değişen PP/%20 AYPE polimer kompozitlerin ve kalınlıkları sırasıyla 32-270 μm ve 28-318 μm arasında değişen saf AYPE ve PP örneklerinin 200-2100 nm dalga boyu aralığında spektrumları incelenerek UV-görünür bölgedeki optik soğurma spektrumları yardımıyla bulunan optik enerji aralığı (E_d , E_i , ΔE) ve geçirgenlik değerleri (τ_{uv} , τ_e , τ_v) liste halinde verilmiştir.

Polimerlerin yapısı ve sınıflandırılması hakkında bilgiler verilerek iletken ve yalıtkan malzemelerin bant modellerinden kısaca söz edilerek optik bant aralığını elde etmede yararlandığımız kristal ve amorf yarı iletkenlerin bant yapısı ve Davis-Mott modeli açıklanmıştır.

Madde-ışık etkileşimi ve malzemelerin karakteristik parametrelerinden ışık geçirgenlik katsayısı (τ_v), direk solar geçirgenlik katsayısı (τ_e) ve UV geçirgenlik katsayısı τ_{uv} hesaplama yöntemleri verilmiştir.

Değişik kalınlıklarda hazırlanan 28 ayrı örnekte yapılan ölçümlerde AYPE/ PP elyaf için en düşük E_i değerleri %20PP elyaf katkılı örnekte gözlenmiştir. Farklı kalınlıklı PP/%20 AYPE örneklerinde E_i değerleri değişmemekte τ_{uv} değerleri, PP örneklerinde olduğu gibi kalınlık arttıkça, AYPE/elmas örneklerinde ise τ_{uv} değerleri katkılarının yüzdeleri arttıkça azalmaktadır.

Sonuç olarak hem direk hem indirek geçiş mekanizmalarının varlığı söz konusudur. Polimer-polimer kompozitleri oluşturan organik katkılar mevcut yapıyı değiştirmeden doldurucu rol oynarlar; inorganik katkılar ise aşırı molekül oluşumunda önemli değişikliklere neden olarak yapıyı değiştirirler.

Anahtar Kelimeler: Polimer kompozit, optik özellikler, geçirgenlik, soğurma, optik enerji aralığı.

ABSTRACT

Many properties of polymeric materials (light, cheap, easily processable) which make them take place of other materials like glass and metal should be investigated. The main interest in the use of polymers lies in their macroscopic optical properties which are not fully understood. In this study the transmittance / absorbance of polypropylene (PP) and low density polyethylene (LDPE) based composites are investigated. The optical energy gap values (E_d , E_i , ΔE) and the transmittances (τ_{uv} , τ_e , τ_v) which are determined by examining the spectra of low density polyethylene based but differently doped organic LDPE/fiber (10%-50% PP fiber) and inorganic LDPE/diamond (0,3%-1,5% diamond) polymer composites with the thicknesses of 52-150 μm . PP based 20% LDPE doped polymer composites with the thicknesses of 28-318 μm , pure LDPE samples with the thicknesses of 32-270 μm and pure PP samples with the thicknesses of 28-318 μm in the wavelength range 200-2100 nm and with the help of the optical absorption spectra in the UV-visible range are listed.

Besides giving information about the structure and classification of polymers, the band structure,s of conducting and non conducting materials are given briefly and the band structure of crystalline and amorphous semi-conductors (Davis-Mott Model) which helped us to determine the optical band gap are explained.

The effect of radiation on materials and the methods for calculating some of the characteristic parameters UV transmission coefficient τ_{uv} , light transmission coefficient τ_v and direct solar transmission coefficient τ_e are given.

In the measurements of 28 different samples which were prepared in different thickness, among all LDPE/fiber samples, the lowest E_i value is observed for 20%PP fiber additives. In the PP/20% LDPE samples with different thicknesses E_i values doesn't show a significant change. In PP samples the value of τ_{uv} decreases as the thicknesses increase and in LDPE/diamond it decreases as the percentage of the additives increases.

The result indicate mechanisms of both direct and indirect transitions exist. The organic additives, forming polymer-polymer composites play a filling role without changing the original formation while inorganic additives gives rise to significant changes in supramolecular formation (SMF).

Keywords: Polymer composites, optical properties, transmittance, absorbance, optical energy gap.

Tez çalışmamıza başladığımız ilk günden itibaren yardım ve desteğini esirgemeyen ve beni yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. F. Şenel Boydağ'a;

Bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Şavval Mamedov'a;

Deneylerim sırasında kullandığım örnekleri hazırlayan sayın Hocam Doç. Dr. Vilayet Alekperov'a;

Deneyisel çalışmalarımı yapabilmem için bana olanak sağlayan başta Esra Akmoran ve Fehiman Akmaz olmak üzere Şişe Cam, Cam Teknolojisi Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Polimerik malzemelerin kullanım alanları çok geniştir. Isıl, mekanik ve optik özellikler açısından kararlı yeni polimerler elde etmede sürekli bir gelişme söz konusudur. Polimerler elektronik uygulamalarda, tıpta, optik anahtar olarak, lastik endüstrisinde, ayrıca optik aletlerde filtre olarak günlük yaşamda daha önce kullanılan inorganik malzemelerin yerini almaktadır. Bunun sonucu olarak polimer fiziği hızla gelişmekte yapay malzemeler grubuna giren sentetik polimerlerin yaygın kullanımı gündeme yeni problemler getirmektedir (Polimer kullanmanın en önemli avantajı ucuz oluşu, kolay işlenebilirliği cama göre daha hafif olmasıdır) Bu problemler Mamedov (Mamedov, Sh.V, 1999) tarafından şu şekilde açıklanmaktadır. 1) Dış etkenler nedeniyle polimerlerin bozulmasını önlemek için konan katkı maddelerinin etki mekanizmasının araştırılması, 2) Fabrikasyon, sıcaklık, katkı miktarı gibi bazı faktörlere bağlı bir kısım polimer karakteristiklerinin çok değişen mekanizmalarının bulunması. Bir polimer malzemesi üretilmeden önce sıcaklık, optimum katkı miktarı seçimi gibi özelliklerin önemi (ki bu konu katı polimerlerde tam olarak açıklığa kavuşmamıştır). 3) Polimerlerin moleküler yapısının tanımlanması ve bu yapıda katkıların etkisinin araştırılması.

Polimerlerdeki bazı düzenli oluşumlar maddenin yapısını ve özelliklerini belirler. Bu düzenli oluşumlar her örnekte aynı değildir ve dış faktörlerden etkilenirler. Bu durum katkılı polimerlerde daha da karmaşıktır. Azerbeycan bilim adamları polimer üretiminin tüm özelliklerinin başlangıç koşullarına bağlılığını göstermişlerdir.(Mamedov Sh. V) Polimer kompozitlerinin elde edilmesi sırasında polimer – polimer ve diğer katkıların birbiriyle uyuşmasının önemi vurgulanmıştır. Polimerlerde aşırı moleküler yapının oluşumu katkı miktarı ve sıcaklığa bağlıdır.

İkinci yaklaşıma göre polimerlerde düzenli ve düzensiz yapı bir arada yer alır ve farklı karakteristiklere sahiptir ve sınırda IR ışın saçılması söz konusudur.

Polietilen (PE) ve polipropilen (PP) gibi lineer sentetik polimerlerde ve bunlarla oluşturulan kompozitlerin optik özelliklerinin incelenmesi yukarıda söz edilen problemlerin aydınlanmasına yardımcı olur. PE, PP VE PP/PE; PE/PP elyaf; PE/elmas kompozitlerin soğurmasını araştırmak optik uyarılma ve fonon spektrumları arasındaki etkileşimi anlamayı sağlar. Uzun dalgaboyları (IR) polimer molekülünde fonksiyonel gruplar tarafından absorplanır ve yapı analizinde çok yararlıdır. Kısa dalga boyları (UV) nin absorpsiyonu ise polimer molekülündeki kararlı olmayan bağlar etkiler (Boydağ, 1999). Katkı maddelerinin

analizinde UV spektroskopisi en etkin yöntemdir. IR spektroskopisine üstünlüğü sönüm katsayısının çok büyük olması polimer matrisinin oluşturduğu absorpsiyonların bu bölgede olmamasıdır (Tobolsky, 1971).

Absorpsiyon ölçümleri kimyasal bağlar hakkında da ipuçları verir. Poliolefinlerde C-C; C-H; C-O vb. için değişik yöntemlerle hesaplanan değerler çok büyük farklılıklar gösterir; en iyi yöntem optik yöntemdir. Öte yanda, bu ölçümler kullanılarak poliolefinlere eklenen inorganik (elmas) ve organik (elyaf) katkıların ana yapıya kimyasal bağlarla mı ya da sadece basit doldurucu olarak mı katıldığı saptanabilir.

Optik soğurma spektroskopisi malzemelerin enerji aralığı optik geçişler ve bant yapılarıyla ilgili bilgi edinmemizi sağlar, yaklaşık band kenarları ve optik aktivasyon enerjileri hesaplanabilir.

Bu çalışmada PE; PP ve PP/PE; PE/PP elyaf; PE/elmas kompozitlerin geçirgenlik (T_{uv} , T_v , T_e) soğurma spektrumlarından yararlanarak ve optik band yapıları araştırılmıştır.

2. POLİMERLERİN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Aynı tür atom ya da atom gruplarının birbirini tekrar etmesiyle oluşan zincirlerinde atomlar(Mamedov) arasında kovalent bağ, moleküller arasında zayıf Van Der Waals bağları olan yüksek molekül ağırlıklı bileşiklere polimer denir.

Bir polimer zincirindeki monomer sayısına polimerizasyon derecesi denir. Bir bileşiğin monomer sayısı 500'den küçük olursa buna düşük moleküllü birleşme, 500-5000 arasında olursa oligomer, 5000'den büyük olursa polimer olarak adlandırılır.

Polimerlerin molekül kütlesi tam olarak bulunamaz. Polimerleşme sırasında oluşan polimer zincirlerinin uzunlukları rastgele bir olaydır. Daima bir zincir uzunluğu dağılımı vardır.

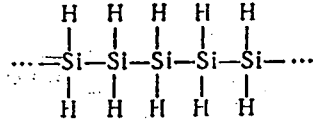
Polimerler, doğalarına göre doğal ve sentetik olarak iki gruba ayrılırlar.

Doğal polimerlerin makromolekülleri izopren (polizopren), selüloz, şeker, proteinler ve nükleik asitlerden meydana gelmiştir(Pişkin, 1987). Proteinler yüzlerce binlerce aminoasit birimini içeren yüksek moleküllü bileşiklerdir. Molekül ağırlıkları birkaç milyona ulaşır. Proteinler lineer polimerlerdir ve kopolimerlerdir.

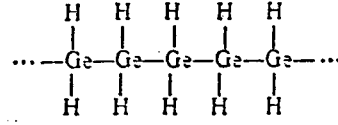
Bir elementin polimer oluşturma kabiliyeti onun atomları arasındaki bağ enerjisi ile belirlenir(Tager, 1978). Birçok organik polimerde ana zincir karbon homozincirlerinden oluşmuştur. C-C bağ enerjisi 332,8kJ/mol dür ve bu bağ enerjisi homozincirli polimer oluşturmak için yeterlidir. Fakat O-O (141 kJ/mol) ve N-N (153kJ/mol) bağ enerjileri düşük olduğundan Oksijen ve nitrojen atomlarından homozincirli polimerler hazırlanamaz. Ayrıca ana zincirde yer alabilmesi için değeri en az iki olmalıdır.

Organik kimyada kabul edilen sınıflandırmaya bağlı olarak organik polimerler alifatik ve aromatik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Genellikle tekrarlanan grubun kimyasal adının önüne poli sözcüğü konularak polimerin adı türetilir.

İnorganik polimerler organik polimerler kadar yaygın olarak kullanılmaz. İnorganik polimerlerde, ana zincirde karbon atomu yerine periyodik cetveldeki IV-VI grup elementleri yer alır. Si, Ge, B ve P vs. homo veya hetero vb. zincir yapılar oluşturur. Aşağıda Şekil 2.1'de IV – VI grup elementlerinin oluşturduğu homozincirli polimerler gösterilmiştir.



Polisilan

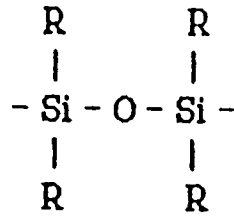


Poligerman

Şekil 2.1. İnorganik Homozincirli Polimerler (Teger, 1978)

İnorganik polimerlerde ana zincirde bağ enerjileri genellikle organiklerden yüksektir. B – O bağ enerjisi 496 kJ/mol ve Si- O bağ enerjisi 371kJ/mol dür bu yüzden bu polimerler daha yüksek ısı ve mekanik dayanıklılık gösterirler.

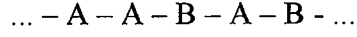
Ana zincirde C,N, O ve S atomlarından başka diğer elementler de mevcutsa böyle zincire sahip polimerlere elemento – organik polimerler denir. En yaygın olarak kullanılan polisiloksanlardır (Şekil 2.2)



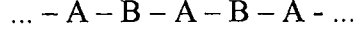
Şekil 2.2. Polisiloksan – R: Alkil Grubu (Tager, 1987)

Polimerler kendilerini meydana getiren monomerlerin sayısına göre ikiye ayrılırlar.

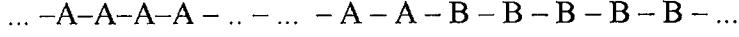
Aynı monomerden meydana gelmiş polimer homopolimer olarak adlandırılır. Eğer polimer zincirinin içerdiği monomer sayısı birden fazla ise bunlar heteropolimer olarak isimlendirilir. Polimer eğer iki monomerden oluşmuşsa kopolimer denilir. Kopolimerler zincirlerine göre çeşitli gruplara ayrılırlar.



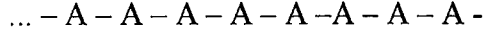
Gelişi güzel kopolimer



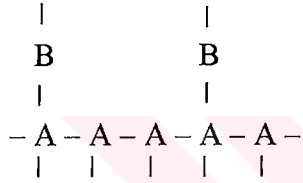
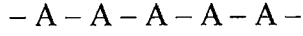
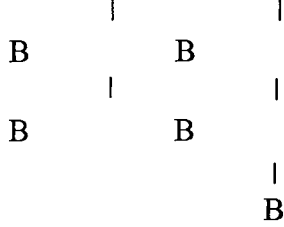
Alternatif kopolimer



Blok kopolimer

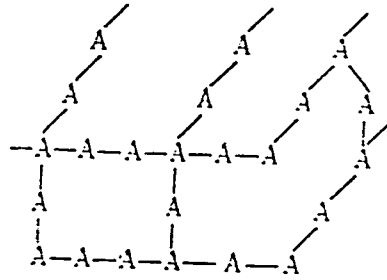


Dallı kopolimer



Çapraz Bağlı (Ağlı) kopolimer

Lineer (hatlı) polimerler uzun zincirli polimerlerdir. Dallanmış polimerler sayıları ve uzunlukları değişebilen yan dallara sahip uzun bir zincirden oluşur. Bu zincir ana zincir olarak adlandırılır. Ağlı (çapraz bağlı) polimerler üç boyutlu ağda bağlanmış uzun zincirlerden oluşur (Şekil 2.3).

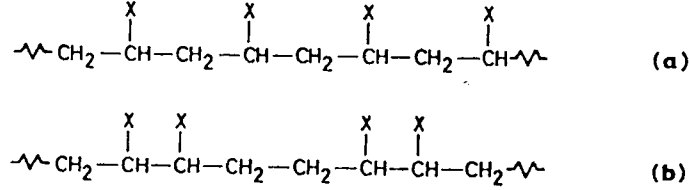


Şekil 2.3. Ağlı Polimer (Teger, 1987)

Düzenli ve Düzensiz Polimerler

Tekrarlanan monomerlerin monoton dizilişlerinden oluşmuş zincirlere sahip olan bir polimere düzenli polimer denir. (Örneğin monomerlerin mükemmel uzun mesafe düzene sahip olması) Böyle bir düzene sahip olmayan polimerler düzensiz polimerlerdir. Zincir düzensizliği pek çok değişik sebebe bağlı olabilir.

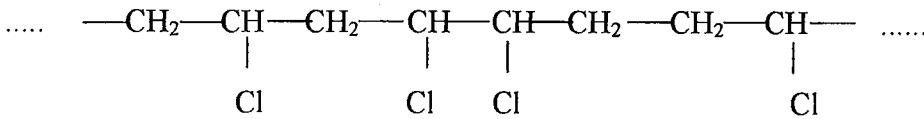
Zincir düzensizliği, öncelikle monomerlerin zincirde birbirini değişik pozisyonlarda takip ederek tekrarlanmalarından kaynaklanabilir. Örneğin bir polimerleşme reaksiyonunda tekrarlanan birimler şekillenerek birleşebilirler (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Doğrusal Polimerlerde Konfigürasyonlar

a) Baş Kuyruğa; b) Baş-Baş veya Kuyruk-Kuyruğa (Pişkin, 1987)

Birinci şekle göre birleşmeye “baş kuyruğa”, ikinci şekle göre birleşmeye “kuyruk kuyruğa” veya “baş başa” denir. Birçok polimerleşmede monomerler “baş kuyruğa” şekline göre birleşirler fakat bazı monomerler zincirin bazı kısımlarında sonrakinin düzenini bozarak ikinci şekle göre birleşebilirler. Örneğin böyle zincir düzensizlikleri polivinilkloritte meydana gelir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Polivinilkorit (Pişkin, 1987)

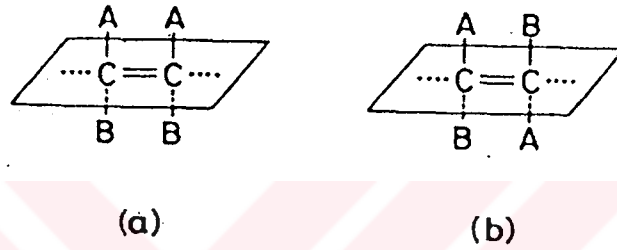
Zincir düzensizliği ikinci olarak, değişik derecede dallanmalardan meydana gelebilir. Çünkü yan zincirlerin eklenme yerleri, dalların sayısı ve uzunlukları değişebilir. Dallı polimerler yapı olarak çok düzensizdirler.

Üçüncü olarak zincir düzensizliği değişik kimyasal yapıların monomerlerinin rastgele dizilmesinin sonucu da olabilir. Bu tip düzensizlik en çok kopolimerlerde gözlemlenir. Çünkü kopolimerleşmede monomerler rastgele birleşebilirler.

Polimerlerde stereodüzensizlik çok önemlidir. Stereodüzenli polimerlerde bütün monomerler ve bileşenler uzayda bazı belli düzende yerleşmişlerdir. Böyle bir uzaysal

düzensiz olan polimerler stereodüzensiz polimerlerdir. Birimlerin veya bileşenlerin uzaydaki yerleşimlerdeki farklılıklar polimerlerin konfigürasyonel izomerizmine sebep olur. Bunlar da cis-trans izomerizmidir.

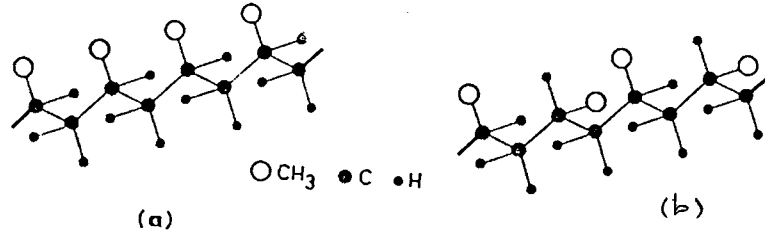
Cis-trans izomerizm ana zincirlerinde çift bağ içeren polimerlerde bulunur ve geometrik bir izomeri türüdür.



Şekil 2.6.Etilen türevlerinde konfigürasyonlar a) Cis b) trans (Pişkin, 1987)

Stereoizomerlerin yapısal formülleri aynı fakat atomların uzaydaki dizilişleri farklıdır. Eğer Şekil 2.6 (a, b) de gösterildiği gibi A ve B gibi farklı gruplar bir düzleme göre aynı tarafta ise bu konfigürasyon “cis” konfigürasyonu, farklı taraflarda ise “trans” konfigürasyonu olarak adlandırılır.

Sentetik polimerlerde kararlı konfigürasyonlar gözlenir. Şekil 2.7 de polipropilen örneğinde görüldüğü gibi metil grupları zigzag polipropilen ana zincirine göre iki farklı düzen içinde yerleşmiş olabilirler. Burada zincir üzerinde tüm metil gruplarının bir tarafta olduğu stereoizomer “izotaktik” diğer konfigürasyon ise “sindiotaktik” izomer olarak adlandırılır. Yapıda , metil gruplarının gelişgüzel yer aldığı stereodüzensiz yapı “ataktik” yapı olarak adlandırılır. “Taktisite” terimi yapı içindeki düzenliliği belirler.

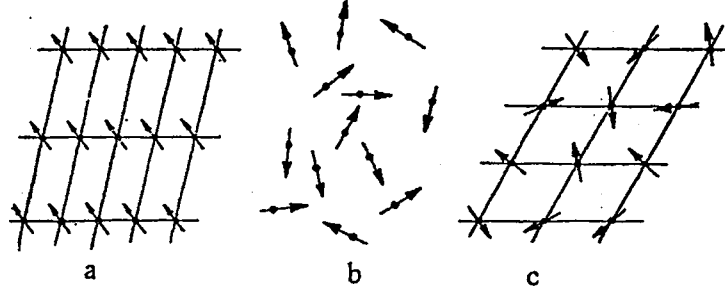


Şekil 2.7. Polipropilen Stereoizomer a) İzotaktik b) Sindiotaktik (Teger, 1987)

Fakat polimerlerde amorf kavramından bahsederken tamamen düzensiz bir yapıdan bahsedildiği düşünülmemelidir (Lenger (Özcanlı), 2000). Geliştirilen çeşitli yöntemlerle (spektroskopi, ısı yöntemleri, polimerin röntgen analizi) amorf polimerlerde de belli bir düzenden (yakın düzen) bahsedilebileceği ortaya çıkmıştır.

İlk önceleri kristalin polimerlerde düzenli kısımlarda polimer zincirlerin birbirine paralel olacak şekilde sıkı olarak yerleşmesi, aralarındaki mesafenin yeterince küçük olması sebebiyle yoğunluğunun yüksek olduğu, amorf aralarında büyük hacimli boşluklar ve bu yüzden de düşük yoğunluklu olduğu düşünülmüştür. Fakat yapılan ölçümlerden kristalin ve amorf polimerlerin yoğunlukları arasında çok fazla bir fark olmadığı görülmüştür. (Mamedov)

Daha sonraki araştırmalarda amorf polimerlerde de kayda değer bir düzen olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu, kristalin polimerinkinden farklıdır. Eğer kristalin polimerde düzen her üç eksen boyunca ise yani her üç dikey yüzeyde ise, amorf polimerlerde bir yüzeyden diğer yüzeye geçtikçe düzen farklıdır, zincirler arasındaki açılar yüzeyden yüzeye farklıdır. Amorf polimerlerde çok fazla boşluk oluşması zorunluluğu yoktur dolayısıyla yoğunluk farklı olmamalıdır. Amorf polimerlerin kristalleşmesi için belli bir enerji miktarı amorf kısımlarındaki zincirlerin yönlenme açılarının eşitlenmesine harcanır (Şekil 2.8). (Mamedov)



Şekil 2.8. Polimer zincir demetlerinde zincirlerin üç yerleşim türü a) kristalin yapıya uygun ve bütün zincirlerin her üç ekseninde paralel yerleşmesi; b) zincirlerin kesişmeyerek uzayda iyi istiflenerek paralel yerleşmesi, her yüzeyde zincirlerin yüzey açıları farklı olabilir (saf amorf durum) c) zincirlerin yüzeyde birbirine paralel olarak farklı açılarda yerleşmesi (Lenger, 2000)

Neticede amorf polimerlerde düzenli kısımlar, kristalin polimerlerde ise amorf kısımlar vardır. dolayısıyla amorf polimerler tamamen düzenden yoksun, kristalin polimerler de tamamen düzenlidir denilemez.

2.1. Fiziksel Özellikler

Bazı polimerlerin optik olarak yararlı olabileceği bir takım tesadüfler sonucu ortaya çıkmıştır. Çünkü bu malzemeler temelde başka yerlerde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Fakat, gözlük camı uygulamaları (polidialiglikol) ve optik bilgi depolanması (özel olarak formüle edilmiş polidikarbonat) için kullanılan malzemelerin optik özelliklerinden faydalanmak isterken çok dikkatli olunulmalıdır çünkü değişik molekül ağırlığına sahip olmaları kırılma indisinde bir miktar değişikliğe sebep olabilir. Renk ve diğer özellikleri ayarlaması için eklenen edilen katkılar da spektral geçirgenlik özelliklerinde küçük bir takım değişiklikler yaratabilir.

Yüzlerce optik cam tipi vardır. Kataloglarda çok değişik türde optik, fiziksel, termal (ısı) ve kimyasal özelliklere sahip cam tipleri yer alır (Bass, 1995). Bu malzemelerin yoğunlukları $2.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ – $6.3 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$ arasındadır. Optik olarak kullanılabilen en ağır polimer malzemenin yoğunluğu $1.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ en hafif malzemeninki ise $0.83 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ civarındadır. Herşey hesaba katıldığında, polimerik optik sistemler cam malzemelerle kıyaslandığında çok daha hafif olarak yapılabilir.

Alçak yoğunluklu polietilenin yoğunluğu $0,85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'ün altındadır (Mamedov, V). Alçak yoğunluklu polietilen %55-70 kristal yapıya sahipken, yüksek yoğunluklu polietilen %75-95 kristal yapıya sahiptir.

Polietilenler tatsız, kokusuz, inört maddelerdir. Polietilen filmlerin gaz geçirgenliği yüksektir. Rutubet geçirgenliği ise düşüktür. Bu yüzden yiyecek maddelerinin paketlenmesinde kullanılır. İyi bir yalıtkan olarak elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanılır. Yüksek yoğunluklu olanları bu kullanım alanlarına ek olarak çevreye, yüksek darbeye ve kırılmaya dayanıklı malzemeler yapımında (deterjan şişesi... gibi) de kullanılır.

Polipropilen izotaktik yüzdesi, molekül ağırlığı ve kristalliğine göre fiziksel özelliklere sahip olur. Yüksek yoğunluklu polietilene benzer. (Polietilenin erime noktası $135-147^\circ\text{C}$, polipropileninki $175-197^\circ\text{C}$ 'dir.) Polipropilen elektriksel dayanıklıdır. Otomobil endüstrisinde, boru ve tank yapımında kullanılır. Ayrıca geniş çapta tekstil endüstrisinde ip ve halat yapımında kullanılır.

Genellikle karbon temelli optik polimerler UV ve infrared bölgesinde kuvvetli soğurucu olan, görünür dalgaboylu malzemeleridir (8). Bu soğurma spektrumdan pek de açıkça anlaşılmaz. Bu tip veriler, spektroskopistler tarafından kimyasal yapıyı tayin etmek için üretilmiştir ve çok ince örnekleri temsil edebilirler. Bu bilgilerden kolayca şu kaniya varabiliriz; polimerler geniş bir spektral bölge içinde iyi geçirgenliğe sahiptirler. Optik tasarım amacıyla hareket ettiğimizde gerçekleştirmek istediğimiz amaca uygun olarak yeterli kalınlıkta örneklerden alınmış geçirgenlik verileri gereklidir.

Polimetilmetakrilat bazı özel formüle edilmiş çeşitleri 300 nm 'ye kadar yararlı geçirgenlik gösterirler. Pek çok optik amaçlı polimer görünür spektrumun mavi kısmında soğurmaya başlar ve 900 nm , 1150 nm ve 1350 nm civarına kadar ek soğurma bölgelerine sahiptir. 2100 nm civarında da tamamen opak olur. Bu soğurma bölgelerini elde etmemizi sağlayan kimyasal yapı hemen hemen tüm karbon bazlı polimerler için aynıdır.

3. ENERJİ BANTLARI

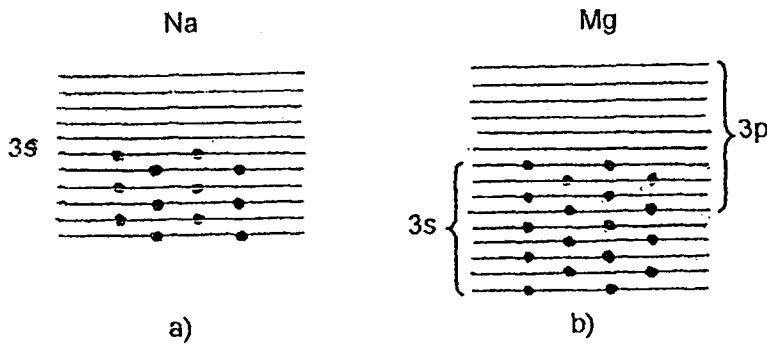
Her katı madde elektronlar içerir. Elektrik iletkenliği açısından önemli olan konu uygulanan bir elektrik alanda elektronların nasıl davrandığıdır. Bilindiği gibi kristaldeki elektronlar elektron yörüngelerinin bulunamadığı enerji bölgeleriyle ayrılmış enerji bantları içinde yer alırlar. (Ashcrof, 1976; Caferov., 1998) Enerji aralıkları veya bant aralıkları denilen bu yasak bölgeler iletkenlik elektron dalgalarının kristal iyonları ile etkileşmesi sonucu oluşur.

İzinli enerji bantları tamamen dolu veya tamamen boş ise kristal, bir yalıtkan gibi davranır, çünkü elektronlar bir elektrik alanda hareket edemezler. Bir veya daha çok bant yarı dolu ise kristal, bir metal gibi davranır. Bir veya daha çok bant zayıf oranlarla dolu veya boş ise kristal, bir yarımetal veya yarıiletken olur.

Valans bandın (Ev) kısmen elektronlarla dolmuş olması durumunu alkali metallerle (Li, Na, K,) (Cu, Ag, Au)'da görürüz. Bu tip metallerde kristal oluştuğu zaman, atom seviyeleri bantlara ayrılır. Bantların bir kısmı elektronlarla tamamen dolmuş halde iken valans bant elektronlarla kısmen doludur ve bandın üst seviyeleri boştur. Bu tür kristale bir dış elektrik alanı uygulandığında, elektronlar valans bandındaki serbest üst düzeylere geçebilirler ve kristalden elektrik akımı geçebilir.

Elektronlarla tam dolmuş Ev, serbest bantla kısmen üst üste gelir. Bu tür malzemelerde elektronla valans bandından, serbest bandın boş seviyelerine geçebilir ve böylece elektrik akımı oluşturabilir.

Metallerde elektronlarla tam dolmuş bandın üstünde kısmen elektronlarla dolmuş bant gelmekte veya tam dolmuş (valans) bant, üstteki boş bantla kısmen üst üste gelmektedir. Band aralığı bu iki tür bant yapısına sahip malzemeler metaller veya iletkenler olarak tanımlanır. Bu iki tip metale örnek olarak Na ve Mg'ü verebiliriz (Şekil 3.1)

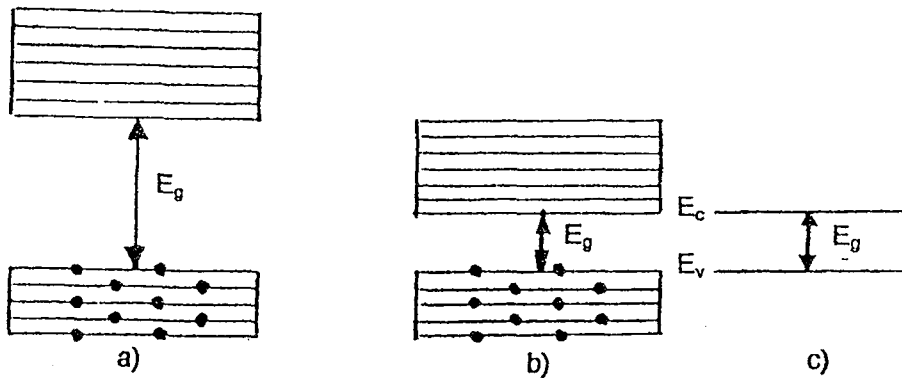


Şekil 3.1. (a) Na metalinin kısmen elektronlarla dolmuş valans bandı (b) Mg metalinin elektronlarla tamamen dolmuş 3s-valans bandı ve serbest 3p-bandının kısmen üst üste gelmesi (Caferov, 1998)

Yalıtkanlarda (iletken olmayan katılar) elektronlarla tam dolmuş olan valans bandının üstünde boş iletim bandı (E_c) yerleşmektedir (Şekil 3.2.a) E_v ve E_i bantları arasında geniş bir yasak bant vardır. Yalıtkanlarda yasak bandın genişliği büyüktür. ($E_g > 4$ eV), Valans bandının enerji durumları valans elektronların sayısına eşittir ve her enerji düzeyinde iki elektron yerleşmektedir. Yalıtkanlarda dış elektrik alan elektrik akımı oluşturamaz, çünkü elektronlar tam dolmuş valans bandında hareket edemezler. NaCl kristalini ele alalım. Bu tip iyonik kristallerde, valans ve iletim bantları arası genişliği büyüktür ($E_g > 5$ eV) (Şekil 3.2a) ve dış elektrik alanın etkisiyle elektronu valans bandından iletim bandına geçirmek mümkün değildir. Dış elektrik alan NaCl yalıtkan kristalinde yönelmiş elektron hareketi (elektrik akımı) oluşturamaz. Elmas (C), oksitler ($Al_2 O_3$, Mg O,) yalıtkanlar grubuna girerler. Elmasın yasak bant genişliği $E_g = 5,2$ eV, $Al_2 O_3$ 'ün $E_g = 7$ eV tur.

Yarıiletkenlerin bant şekli yalıtkanlarınkine benzer (Şekil 3.2b) aralarındaki fark, yasak bant genişlikleridir. Yarıiletkenlerin yasak bant genişliği daha küçüktür ($E_g = 0,1 - 4$ eV).

Yarıiletkenin çok kullanılan, daha basit bir bant diagramı şekil 3.2c'de gösterilmiştir. Bu şekilde sadece iletim bandındaki dip enerji düzeyi E_c ve valans bandındaki tavan düzeyi E_v gösterilmektedir ve bu düzeyler arası uzaklık (E_g) yasak bant genişliğine eşittir. Klasik band teorisine göre malzeme içinde enerjisi band aralığına düşen hiçbir elektron yada deşik bulunmaz.



Şekil 3.2. (a) yalıtkanın, (b,c) yarıiletkenin enerji bant diyagramı (E_g yasak bant genişliğidir) (Caferov, 1998)

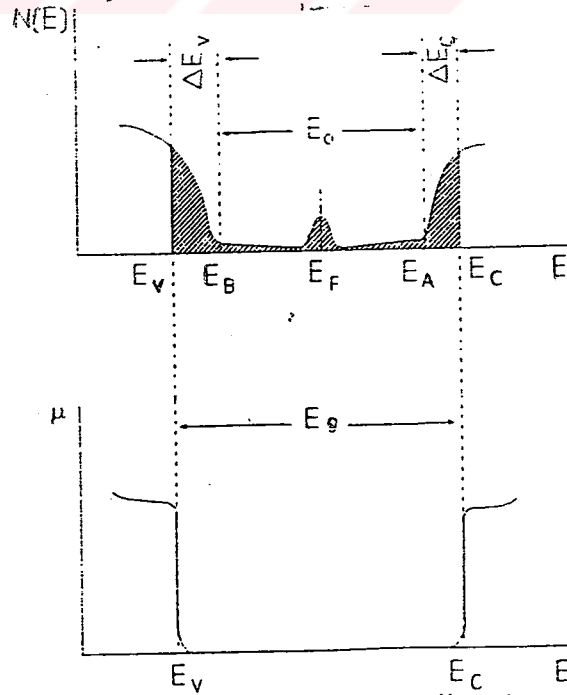
Amorf maddelerde ise atomların düzenli bir sayıya ve yapıya sahip olmaması atomik bağ, uzunluk ve açılarının değişikliklere uğramasına neden olur. Amorf maddelerde komşu atomların birbirine göre konumu bağı olanaksız kılırsa, istenen bağ oluşmaz ve amorf madde atomunun bir elektronu tek başına kalır, buna kopuk bağ denir. Bağ yapan iki elektronun enerjileri bağ yapmadan önceki enerjilere göre artan ve azalan iki banda dönüşür. Başka elektronlarla bağ yapamayan yalnız kalarak kırık bağları oluşturan elektronların enerjileri değişmeden valans ve iletkenlik kanalları arasında kalır. (Hecht, 1999; Solymar, Walsh, 1970)

Deneyler aynı maddenin kristal ve amorf yapılarının çok benzediğini gösterecektir.

Periyodik olmayan sistemlere en iyi örnek amorf yarı iletkenlerdir. Aynı maddenin kristal ve amorf yapıları arasındaki fiziksel benzerlikler incelenerek bazı sonuçlara varılabilir. Mott , amorf malzemelerde yapısal düzensizlikten oluşan potansiyelin lokalize seviyelerin doğmasına yol açabileceğini göstermiştir. Bu seviyeler normal bandların altında ve üstünde kuyruklar oluşturur.

3.1. Davis – Mott Modeli

Bu modelde E_C ile E_A arasında ΔE_C ve E_V ile E_B arasında ΔE_V gibi uzun erimli düzenin yokluğundan kaynaklanan lokalize enerji seviyeleri vardır. (Karabay (Ofıazer), 1993; Kittel, 1986, Mott ve Davis, 1979) (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Davis – mott Modelinde enerjiye karşı enerji seviye yoğunluğu $N(E)$ ve mobilite μ (Karabay (Ofıazer), 1993)

Bu seviyeler malzemenin yapısındaki bant kuyruklarında farklı olarak ele alınır. Malzemedeki kusurlardan kaynaklanan ikinci tip lokalize seviyeler, bant aralığı içinde daha fazla uzanırlar fakat, bu seviyelerin enerji seviye yoğunlukları düşüktür ve Fermi seviyesini sabitlemeye yeterli değildir.

Davis – Mott modelinde de lokalize seviyeleri sürekli seviyelerden E_C ve E_v enerjileri ayırır. Bu enerjilerde mobilitenin en az 100 kez değişmesi söz konusudur.

Üstelik, Davis Mott'a göre yasak bant aralığının ortalarında dengeleyici enerji seviyeleri vardır. bu seviyeler, amorf yarı iletkenlerde iletkenliği ve Fermi seviyesinin sabitlenmesini açıklamak için ortaya atılmıştır.

3.2. Polimerlerde Band Aralığı

Kristalin polimerlerde belirli bir düzen vardır ve bant teorisinin geçerli olduğu düşünülmüştür (Terjc, Skotheim, 1986). Ancak deneysel sonuçlardan da görüldüğü gibi amorf-kristalin ve amorf polimerlerde (çoğunlukla bütün polimerler bu sınıfa girerler) bant teorisinin eksiklikleri vardır. Bu nedenle bu tür polimerlerin fazla miktarda katkıları olduğu ve hem defektlerin hem de katkıların yasak bant içerisinde kendi seviyelerini oluşturduğu düşüncesine varılır ve klasik bant teorisinin Mott ve Davis'in teorisine uygun olarak geçerli olduğu görülmüştür.

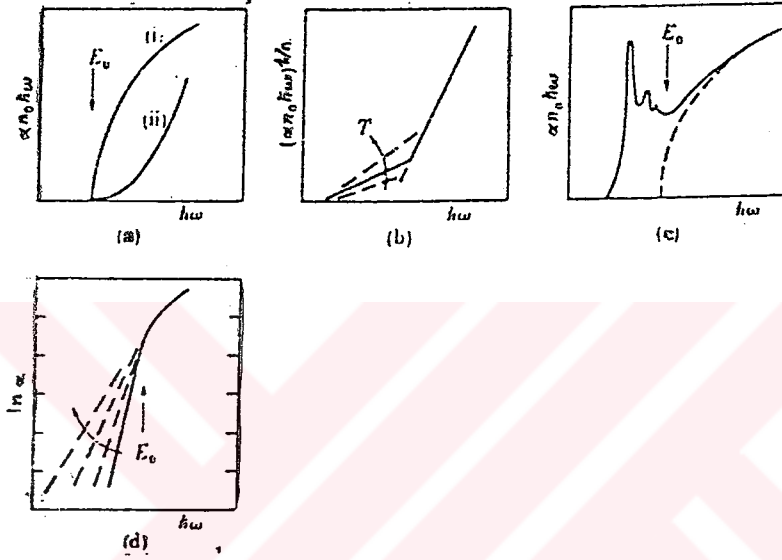
Katkı seviyeleri çok fazladır ve katkı seviyeleri birleşerek daha dar bir bant oluşturabilirler, geçişler bu seviyelerden olabilir. Gerçekten de genel bant seviyelerinin geçiş enerjileri 3-10 eV ve daha fazla olmasına rağmen iletkenlik ölçümlerinde birkaç eV luk geçişler gözlenilmektedir.

3.3. Optik Geçişler

Temel olarak polimerlerde iki tip optik geçiş vardır (Mott, Davis, 1979). Bu iki olay da valans bandındaki elektronun elektronmanyetik dalga ile etkileşmesinin sonucudur. Bununla beraber indirek geçişler, örgü titreşimleriyle ani etkileşmeleri içerir. Böylece elektronun dalga vektörü optik geçiş ile değişebilmekte, momentumdaki değişim ise fononlar tarafından dengelenmektedir (radyasyonun elektrona verdiği momentum önemsiz kabul edildiğinde) Eğer eksiton (elektron deşik etkileşmesi) formasyonu ihmal edilirse, foton enerjisi $h\nu$ 'nın fonksiyonu olan soğurma katsayısı α ilk ve son enerji seviyelerini içeren bantlar için

$N(E)$ nin enerjisine bağılılığına bağlıdır. Basit parabolik bantlar ($N(E) \propto E^{1/2}$) ve direk geçişler için

$$\alpha n_0 \hbar \nu \sim (\hbar \nu - E_0)^n$$



Şekil 3.4. Kristalin yarı iletkenlerde soğurma kenarlarının değişik şekillerinin gösterimi
a) (i) direk izinli (ii) direk yasak, b) İndirek, $n=2$ izinli, $n=3$ yasak c) eksiton oluşumlu direk izinli d) Eksponalsiyen Urbach kenarı (Mott, Davis, 1979)

Burada $n=1/2$ veya $3/2$ olması, kuantum mekaniğine göre yasak yasak veya izinli geçişleri ifade eder. E_0 optik band ve n_0 kırılma indisi, α soğurma katsayısı, ν frekans ve h Planck sabitidir. Bu tür bir soğurma Şekil 3.4 te gösterilmiştir.

$$\alpha n_0 \hbar \nu = \frac{(\hbar \nu - E_0 + \hbar \nu_{ph})^n}{\exp(\hbar \nu_{ph} / kT) - 1} + \frac{(\hbar \nu - E_0 + \hbar \nu_{ph})^n}{1 - \exp(-\hbar \nu_{ph} / kT)} \quad (3.1)$$

Buradaki iki terim, fonon soğurulması ve emisyon geçişlerinin katkısını göstermektedir. İzinli geçişlerde $n=2$ ve yasak geçişlerde $n=3$ 'tür. Her bir durumda birçok fonon geçişi olabilir. Bu da bir çift terimin eklenmesine sebep olur.

Optik geçişlerin bütün yukarıda gösterilen tiplerinde elektron deşik etkileşmesi göz önüne alınmıştır. Karşılıklı çekim , eksiton denilen bağlı elektron – deşik çiftinin serbest çiftlerdekinden daha az bir enerjiyle oluşmalarını sağlar. İzinli geçişler için bu eksiton seviyelerinde soğurulma E_0 'daki devamlılığın altındaki hidrojenik spektrum şeklindedir (Şekil 3.4(c)). Bundan başka devamlılık, şekilde gösterilmiştir. Direk yasak geçişlerde, $n=1$ çizgisi yoktur ve devam eden soğurma, kenarlara yaklaşıldığında artsa da $\alpha = 0$ da başlar.

İzinli ve yasak indirekt geçişlerde elektron – deşik etkileşmesini içeren fazla soğurma çizgisi gözlenemez. Eşitlikte verilen ek terimler eksiton sınır hallerindeki geçişlerle bağlantılı olarak oluşmaktadır. Böyle bir durumda sırasıyla izinli ve yasak geçişler için n 'nin kuvveti $1/2$ ve $3/2$ dir.

Devamlılık içindeki geçişler için uygun kuvvetler $3/2$ ve $5/2$ dir.

Yukarıda anlatılanların çoğu gözlenmiş ve bazı malzemelerle yapılan araştırmalar da bant sınırlarındaki elektronik yapı hakkında da bilgiler sağlamıştır.

Farklı malzemeler için tamamen farklı tipte optik soğurma kenarı gözlemlenmiştir (Başlıca alkali metaller CdS, ve Selenyum). Soğurma katsayısı foton enerjisiyle üstel olarak artmaktadır. Böylece 'direk izinli' kenarların tersine, bu durumda, soğurmada birkaç eV'a kadar kademeli bir artış gözlemlenir. Buna Urbach köşesi denir ve genelde aşağıdaki ampirik bağıntıya uyar.

$$\alpha = \alpha_0 \exp \left\{ \frac{\gamma'(E_0 - h\nu)}{kT} \right\} \quad (3.2)$$

Burada γ' sabit, T ise mutlak sıcaklık; kritik değer T_0 dır. Düşük sıcaklıktada T_0 alınır. böylece sıcaklık T_0 'ın üzerinde bir değer aldığıında kenar genişler (Şekil 3.4 (d)). Kristalin malzemelerdeki bu davranış için basit veya tek bir açıklama kabul edilmez. Ayrıca bu daha çok amorf malzemelerin karakteristik kenar tipidir.

Amorf malzemelerin elektrik alan veya eksiton etkileri gözardı edildiğinde beklenen optik soğurma şekli için Davis – Mott modelinden yararlanmak gerekir. Ekspansiyel kenar özelliği gösteren malzemeler için sonuçlar ekspansiyel kuyruğun üzerindeki foton enerjilerine uygun olmalıdır.

Tauc'a göre , $N(E)$ 'nin bant kenarındaki formunu bilmeden hesaplamayı daha ileriye götürmek anlamsızdır. Parabolik bantlar varsayımı ışığı altında

$$\alpha(\omega) = \frac{\text{sabit}(\hbar\omega - E_0)^2}{\hbar\omega} \quad (3.3)$$

olur.

Bir çok amorf malzemedeki soğurmanın eksponansiyel kuyruğun üzerinde bu kurala uyduğu gözlemlenmiştir. E_0 sabiti optik aralığı tanımlamak için kullanılmıştır.

$\alpha(\omega)$ ($\hbar\omega$) ve $\hbar\omega$ arasında yukarıda verilen bağıntı Davis ve Mott tarafından değişik varsayımlar kullanılarak türetilmiştir. Bant kenarlarında seviyelerin yoğunluklarının enerjinin lineer fonksiyonu olduğu varsayarak,

$$N(E_C) = N(E_v); \quad E_C - E_A = E_B - E_v = \Delta E \text{ dir.}$$

Soğurma katsayısının frekansa bağıllığı ile ilgili olarak istisnalar vardır. Amorf Se'de soğurma katsayısı eksponansiyel kuyruk üzerinde, şu şekilde bir bağıntı gösterir.

$$\alpha(\omega)\hbar\omega = B.(\hbar\omega - E_0) \quad (3.4)$$

Bazı çok bileşenli malzemelerin de soğurma katsayılarının

$$\alpha(\omega)\hbar\omega = B.(\hbar\omega - E_0)^3 \quad (3.5)$$

bağıntısına uyduğu bulunmuştur.

Özetle genel kural olarak amorf fazda bölgesel atomik düzen çok değişmiyorsa amorf ve kristal malzemelerdeki optik band aralıkları çok farklı değildir. Beklendiği gibi bu kural daha çok sıkı bağlı malzemelerde geçerlidir. Birçok malzemenin absorpsiyon kenarı basit bir eşitliğin belli bir kuvvetiyle tanımlanabilir. Valans ve iletkenlik bantları arasındaki elektronik geçişler soğurma kenarında başlar ve bu da iletkenlik bandının minimumu ile valans bandın maksimumu arasındaki E_0 enerjisine karşılık gelir. Eğer bu ekstremumlar k uzayının aynı noktasında bulunuyorsa, geçişlere direk geçişler, eğer değilse indirek geçişler denir. Direk geçiş için optik soğurma $E_0 = E_g$ olarak

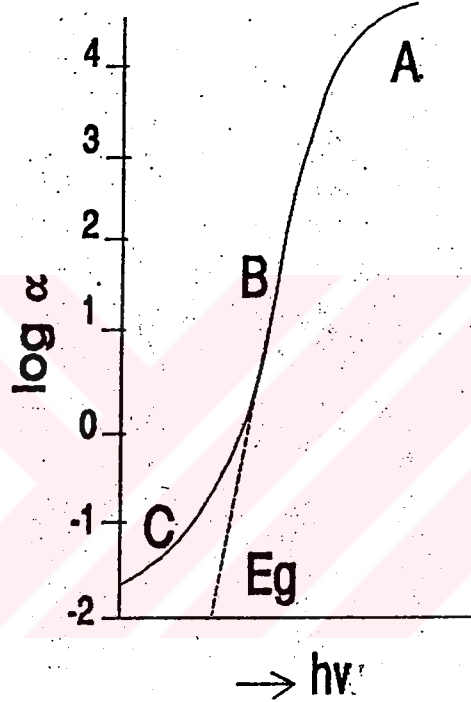
$$\alpha\hbar\omega = B(\hbar\omega - E_g)^{1/2} \quad \text{ya da} \quad \alpha\hbar\omega = B(\hbar\omega - E_g) \quad (3.6)$$

bağıntısı ile verilir.

Bu bağıntı Tauc denkleminin olarak da bilinir. Burada α soğurma katsayısı, B sabit ve E_g de optik bant aralığıdır.

Malzeme amorf olmaya başladığında, soğurma kenarı düşük veya yüksek enerjilere doğru kaymaya başlar. Pek çok amorf malzeme için soğurma kenarı şekil 3.5’de görüldüğü gibidir. Şekilden de anlaşılacağı üzere eğri büyük enerji değerleri için lineerlik gösterirken, düşük enerjilerde lineerlikten sapma izlenir. Ayrıca şekilde de görüldüğü gibi, bu eğride A gibi bir soğurmanın yüksek olduğu bölge ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$), B gibi üstel bir bölge ve C gibi zayıf soğurma bölgesi tanımlanabilir.

Soğurma bölgesinin üstel kısmı, yani şekil 3.5’deki eğrinin B bölgesi soğurma katsayısı α ’nın, $1 < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki değerlerine karşılık gelir (Karabay (Ofłazer), 1993).



Şekil 3.5. Optik absorpsiyon eğrisi (Mott ve Davis, 1979)

Bu durumda soğurma katsayısı

$$\alpha(v) = \exp(hv / E_e)$$

bağıntısı ile verilir. Buradaki E_e enerjisi eğimi ifade eder ve düşük sıcaklıklarda sıcaklıktan bağımsızdır. Pek çok yarıiletken camlar için E_e ’nin değeri 0,05 ile 0,08 eV arasındadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda, eğim sıcaklıkla birlikte azalır; yeteri kadar yüksek sıcaklıklarda $E_e \sim T$ ’dir.

Şekil 3.5’de verilen soğurma eğrisinde üstel bölgenin altındaki kısımda soğurma kuyruğu görülür. Burası malzemenin hazırlanış yöntemine ve saflığına bağlıdır. İnce filmler için bu enerji aralığında çalışmak oldukça zordur. Dalga fonksiyonlarının karakterinin değişmesine bağlı olarak amorf silisyumun kristal hali ile kıyaslandığında aradaki temel fark, amorf

haldeyken direk geçişli yarıiletken olmasına karşılık, kristal haldeyken indirek geçişli yarıiletken olmasıdır.

Diğer taraftan katkılama miktarına göre, E_g değişmektedir. Örneğin amorf silisyum n tipi katkılandığında optik bant aralığı katkı miktarına göre değişmez. Ancak p tipi katkılandığında optik bant aralığı katkılama miktarına göre hızlı bir düşüş gösterir.



4. IŞINIM

Işıma, enerjinin fotonlar ve başka partiküller tarafından soğurulana veya saçılana kadar bir doğru boyunca ışık demeti durumunda yayılması ya da taşınmasıdır (Mc Cluney, 1994; Ranby ve Rabek, 1975).

Verilen dalgaboyunda bir fotonun enerjisi ve momentumu sırasıyla şu şekilde gösterilir;

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (4.1)$$

ve

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad (4.2)$$

Burada ν frekans, λ dalgaboyu, c vakumda ışık hızı, E ve p de sırasıyla parçacığın toplam enerjisi ve momentumudur, h ise Planck sabitidir.

Elektromanyetik spektrum pek çok tipte ışımayı içerir.

Elektromanyetik (EM) ışıma ölçümünde yayılan enerjiden ya da ışıma karakteristiklerinden yararlanılır. UV ve görünür bölgeler EM spektrumunun bir parçasıdır.

Işığın UV bölgesi kendi içinde de yakın UV (400 – 300 nm), uzak UV (300-200 nm) ve ‘Schuman UV’ (200-120 nm) olarak alt gruplara ayrılır. Organik fotokimya için en ilginç bölge 200 nm’un kısa dalgaboyu limiti ile IR bölgesinin başladığı 700 nm arasındaki bölgedir.

Birim zamanda yayılan enerji miktarına akı denir (Φ).

$$\Phi = \frac{E}{t} \text{ (J/s veya W)} \quad (4.3)$$

$$\text{burada } \Phi_0 = \frac{\Phi}{A} = \text{alan}$$

$$\text{Işıma şiddeti } (I_0 = \frac{\Phi_0}{A} \text{ (Js}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{) veya (W/m}^2 \text{)}) \quad (4.4)$$

Işımanın (I_v) hacimsel soğurma oranı şu şekilde verilir;

$$I_v = \frac{\Phi}{V} \text{ (Js}^{-1} \text{ cm}^{-3} \text{) veya (W/m}^3 \text{)} \quad (4.5)$$

Burada V ışıma uğrayan hacimdir (m^3). Bu değer endüstride fotokimyasal reaktörlerin hesaplamalarında çok önemlidir.

Bir ortamdan ışık geçtiğinde titreşen elektrik vektör elektronları aynı fazda titreşmeye zorlar ve aynı frekanslı saçılmış EM radyasyon yayarlar. Homojen malzemede elektronlar düzgün dağılmıştır ve fazda olmadıklarından saçılmalar birbirini yok eder. Geçirgen (transparent) malzemede cisme gelen dalga içeri girer ancak ışık saçılmaz. (Özil, Sokullu, 1983). Eğer elektron yoğunluğu düzgün değilse birbirini yok edici girişim söz konusu değildir ve sonuçtaki demetin gelenlerle açı yaptığı gözlenir. Bu da bize neden çoğu yarıkristal polimerlerinin (PE: PP) şeffaf (translucent) ya da opak olduğunu açıklar.

Kristal ve kristal olmayan bölgeler arası elektron bulut yoğunluğu farklılıklarının sonucu olarak ışık saçılmıştır. Yarıkristal polimer, poly (4—methyl/pentene-1) polystyrene ya da polimetilmetakrilat kadar geçirgendir. Bunun nedeni moleküller kristalde heliks konformasyonda düzenlenmiştir ve özellikle birbirine çok yakın değildir bunun sonucunda kristalin çok düşük yoğunluğu kristal olmayan bölgelerdekine eşdeğerdir.

Küçük açılı ışık saçılması (KAIS) polimerlerin morfolojileri hakkında bilgi edinmede kullanılabilir. Saçılma teorisi oldukça karmaşıktır.

4.1. Işık – Madde Etkileşimi

Dış yüzeyleri hava, su ya da vakumla temasta düzgün izotropik bir dielektrik malzeme eğer çok ince bir tabakaysa, gelen ışının bir bölümü yansır bir bölümü geçer. Absorpsiyonun yokluğunda gelen ışık akışının yansıyana oranı $\bar{\rho}$ yansıtıcılığın geçene oranı da $\bar{\tau}$ geçirgenliğini verir. $\bar{\tau} + \bar{\rho} = 1$ 'dir. Düzgün olmayan malzemede gelen ışın soğurulabilir, dalga boyuna bağlı olarak yansır ya da saçılabilir. Bu durumda $\tau(\lambda)$; $\alpha(\lambda)$; $\rho(\lambda)$ söz konusudur.

Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bir yüzeydeki enerji dengesi şu şekilde yazılabilir.

$$E_{\alpha} + E_{\rho} + E_{\tau} = E_{\text{gelen}}$$

veya

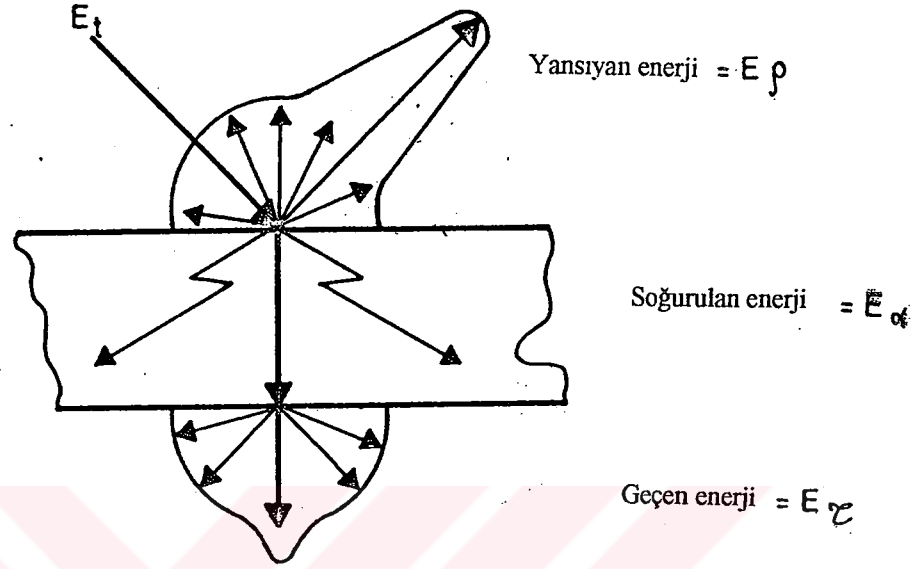
$$\frac{E_{\alpha}}{E_g} + \frac{E_{\rho}}{E_g} + \frac{E_{\tau}}{E_g} = 1$$

ve

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (4.6)$$

Saydamsız malzemelerde $\tau = 0 \Rightarrow \rho + \alpha = 1$

Kirchoff yasasına göre $\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$ o halde $\rho + \varepsilon = 1$



Şekil 4.1. Bir yüzeyden yansıyan, soğurulan, geçen enerji (Mc Cluney, 1994)

Denklem (4.6)'de ρ yansıtıcılık, α soğuruculuk ve τ geçirgenliktir. Tanımdan ve termodinamiğin 1. yasası gereğince toplamaları bire eşittir.

4.2. Işıma Özellikleri

Bir yüzeydeki ışıma şiddeti I şu şekilde ifade edilebilir (Özil, Sokullu, 1983).

$$I(\lambda, P, \tau) = \frac{dQ}{dt d\lambda d\Omega dA \cos \theta} \quad (4.7)$$

Burada dQ P noktasından $\vec{i}$ yönünde birim zamanda (dt), dalgaboyunda ($d\lambda$) ve katı açıda ($d\Omega$) (şekil 4.2) ve $\vec{i}$ ($dA' = \cos \theta dA$)'ya dik olan alanda θ gelme açısında yayınlanan ya da yansıyan ışıma enerjisidir. Denklem (4.7)'de I 'nin, λ , yüzeyin durumu ve gözlemlenen yöne bağlı olduğunu gösterir.

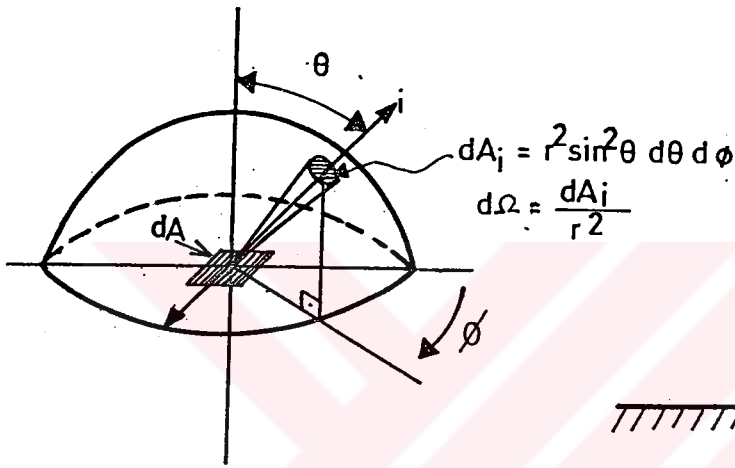
Eğer $d\Omega$ katı açısında olan ve dA gibi bir küçük alandan dağılan ince bir kalem benzeri ışın demetini (Şekil 4.3) göz önüne alırsak, ışık akısı $d\Phi$;

$$d\Phi = \frac{dQ}{dtdA} \quad (4.8)$$

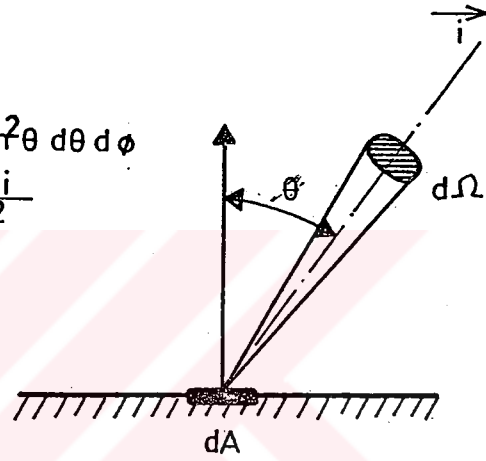
i cinsinden ifade edildiğinde,

$$d\Phi = i(\lambda, P, \vec{i}) d\Omega d\lambda \cos\theta \quad (4.9)$$

haline dönüşür.



Şekil 4.2
Bir noktada $\vec{i}$ yönünde
yayınlanan (yansıyan) ışın
(Mc Cluney, 1994)



Şekil 4.3.
Bir noktada $d\Omega$ katı açısında
 dA gibi küçük bir alanda
dağılan ışın demeti
(Mc Cluney, 1994)

Soğurma, saçılma ve kırınım olmadığında şiddet ışın demeti yönünde sabit kalır.

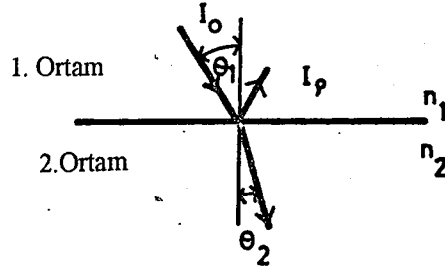
Eğer ışın demeti iki değişik kırılma indisine sahip ortamdan geçerse, ışık şiddeti artık sabit değildir (Şekil 4.4) ve şiddetteki değişim şu şekilde verilir;

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{\sin^2 \theta_1}{\sin^2 \theta_2} \quad (4.10)$$

Toplam şiddet ise,

$$I_t = \int_0^\infty I_\lambda d\lambda \quad (4.11)$$

eşitliği ile verilir.



Şekil 4.4. Işın demetinin belli bir kırılma indisine sahip bir ortamdan başka kırılma indisine sahip bir ortama geçişi (Mc Cluney, 1994)

Eğer yüzey homojense $I \neq I(P)$ ve degen ışına alanı izotropik ise, o zaman $I \neq I(\vec{i})$ ve I_t toplam ışık şiddeti, sabittir.

Toplam küresel ışınma akısı diferansiyel ışınma akısının yüzeyin üzerindeki yarıkürede toplanmasıyla elde edilir.

Eğer I sabit ise o zaman, toplam küresel ışınma akısı,

$$\Phi = \pi I \quad (4.12)$$

olur.

Küresel akı genellikle e ile gösterildiği ve emisyon gücü denildiği için denklemi

$$e = \Phi = \pi I = \pi n^2 I_{\text{vakum}} \quad (4.13)$$

haline gelir.

I 'yi yüzeyi terk eden ışınma şiddeti olarak alıyoruz.

4.3. Bir Yüzeyin Spektral ve Toplam Özellikleri

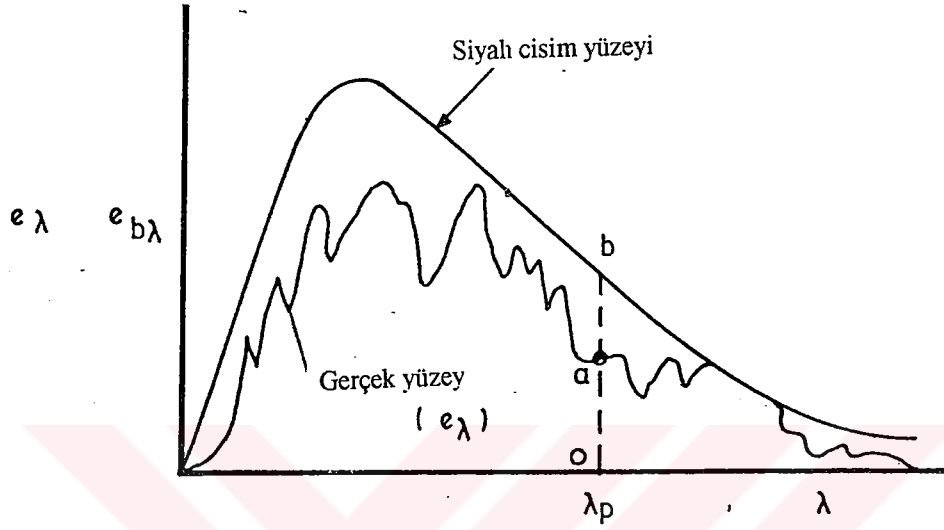
4.3.1. Spektral Özellikler

Soğurucu bir ortam, örneğin katı bir yüzey için ϵ_λ ve α_λ yüzey özellikleridir. Bunlar sadece yüzey koşullarına bağlıdır ve dış parametrelere bağlı değildir. Spektral yayıcılığı ϵ_λ olan ve spektral yayıcılık gücü şekil 4.5'de gösterilen bir yüzey ele alırsak,

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{e_{\lambda}}{e_{b\lambda}} \quad e_{\lambda} = \text{gerek cismin yayma gücü} \quad (4.14)$$

$$e_{b\lambda} = \text{Siyah cismin yayma gücü}$$

Burada e_{λ} gerçek cismin yayma gücü, $e_{b\lambda}$ siyah cismin yayma gücüdür.



Şekil 4.5. Spektral yayıcılık gücü (Ranby ve Rabek, 1975)

Burada $\varepsilon_{\lambda}(T)$, $e_{\lambda}(T)$ her zaman $e_{b\lambda}(T)$ 'ye eşit ya da küçüktür.

Yüzeyin üzerindeki 2π 'lik uzaydan gelen ışıma enerjili bir yüzey elemanı düşünelim. Ayrıca H_{λ} 'yı birim zamanda ve hacimde gelen spektral ışıma enerjisi olarak kabul edelim.

Bir yüzeyin dalgaboyuna bağlı küresel soğuruculuğunu

$$\alpha_{\lambda} = \frac{\text{birim zamanda, hacimde ve dalgaboyunda soğurulan ışıma enerjisi}}{H_{\lambda}} \quad (4.15)$$

olarak gösterebiliriz.

Tüm enerji yüzey tarafından soğurulmaz, bir kısmı yansır. Benzer şekilde spektral küresel yansıtıcılığı

$$\rho_{\lambda} = \frac{\text{Birim zamanda, yüzey ve dalgaboyunda yansıyan ışıma enerjisi}}{H_{\lambda}} \quad (4.16)$$

Genellikle τ_λ çok güçlü şekilde soğurma özelliğine sahip ortamlarda gözardı edilir.

Işık madde etkileşiminde metaller ve dielektrikler farklı davranışlar sergilerler.

Metaller

- Serbest elektronlara sahiptir.
- Isı ve elektrik iletkenlikleri yüksektir.
- Spektrumun kırmızı bölgesinde düşü yayıcı ve çok iyi yansıtıcıdır.
- Gelen ışığı hemen soğururlar, yüksek sönüm katsayısına sahiptirler.

Dielektrikler

- Serbest elektronları yoktur, hepsi bağlıdır.
- Düşük elektrik ileticilikleri ve yüksek dirençleri vardır.
- Genelde, dielektrikler yüksek yayıcı ve düşük yansıtıcıdır.
- Dielektriklerin yansıma bantları vardır.

Bunların yanı sıra ϵ_λ dalga boyu arttıkça artar.

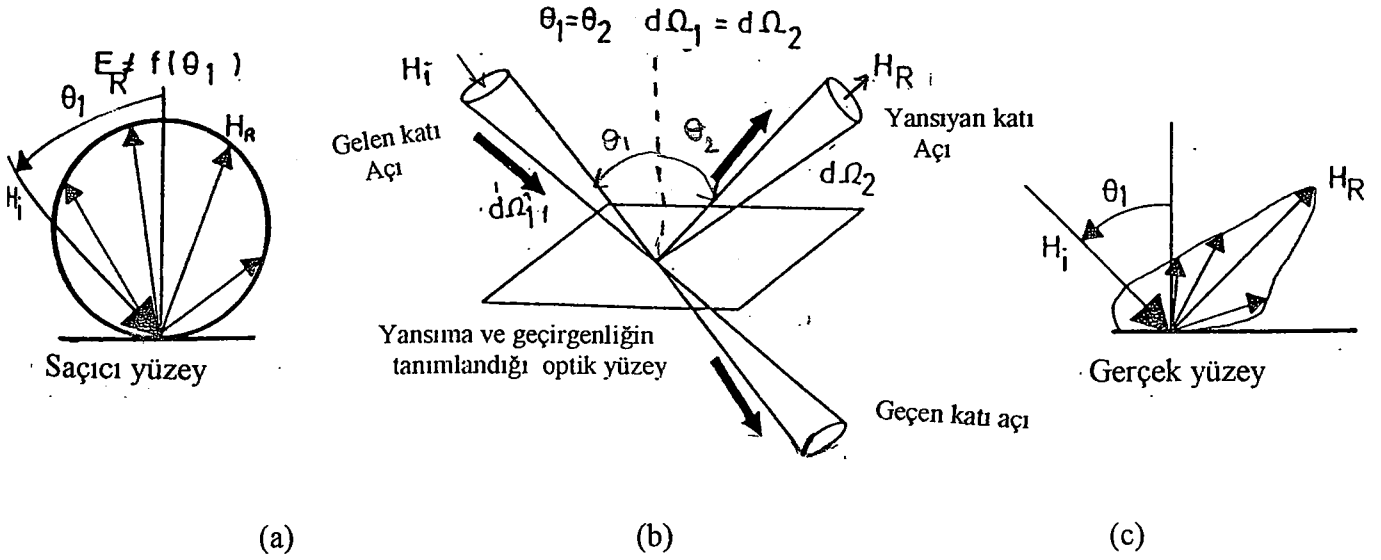
4.3.2. Yöne Bağlı Işıma Özellikleri

4.3.2.1. Yansıma ve Geçirgenlik

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi temelde üç değişik yüzey yansıması ve geçirgenliği vardır;

- Saçılma
- Düzenli ya da ayna benzeri
- Gerçek yüzey

Çok mükemmel şekilde dağıtan yansıtıcı yüzey ışını saçılmaya uğratar şekil 4.6.a böylece geçmişteki konumu tamamen kaybolur ($I(\theta, \phi) = \text{sabit}$). Düzenli yansıtıcı yüzey. Şekil 4.6.b. gelen ışının katı açısının aynı kalmasını sağlar ve gelme ve yansıma açıları eşittir.



Şekil 4.6. Işığın yüzeyle etkileşimi (Ranby ve Rabek, 1975)

Yansıtıcılık ve geçirgenlik ölçümlerinde örnek belli bir açı altında gelen ışıkla test edilir. Üç tür katı açıdan yararlanılır; belli doğrultuda, konik ve küresel (2π steradianlık katı açı göz önüne alınır).

Yansıtıcılık denklemlerini yazarken gelen ışını saçılmaya uğratan yüzey ile düzenli yansıtan yüzeyi ayırt etmeye dikkat edilmelidir.

Saçılmaya uğratan yüzey için yansımanın derecesi gelen ışının şiddetinin derecesinden daha küçük olacaktır.

Bununla beraber, tam olarak yansıtan yüzey için yansıma şiddeti 1. dereceden bir niceliktir. Böylece,

$$I_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{de_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)}{d\Omega_r \cos\theta} \quad (4.17)$$

Parantezdeki açılar geliş ışınması (i) ve yansıma yönünü (r) gösterir.

Burada,

$$\theta_i = \theta_r$$

$$\phi_i = \phi_r + 180^\circ$$

$d\Omega_i = d\Omega_r$ dir.

Hem saçıcı yüzeyler hem de düzenli yansıtan yüzeyler için yansıma şiddeti, birçok çeşit yansımaya ait denklemleri yazmada kullanılır.

Saçıcı yüzeyler için düzenli yansıma

$$\rho_{sd}(\theta) = \frac{d i_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)}{i_i(\theta, \phi)_i} \quad (4.18)$$

Burada ρ_{sd} saçıcı yüzeyler için yansıtıcılık, i_r yansıyan ışın şiddeti ve i_i de gelen ışın şiddetidir.

Düzenli yansıtan yüzeyler için,

$$\rho_{ss}(\theta) = \frac{I_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)}{i_i(\theta, \phi)_i} \quad (4.19)$$

Burada ρ_{ss} düzenli yansıtan yüzeyler için yansıtıcılıktır.

yazılabilir.

Diğer yandan küresel yöne bağlı yansıma verilen yöndeki yansıyan ışınının gelme enerjisine oranıdır;

$$\rho_{hd} = \frac{I_r(\theta, \phi)}{\left(\frac{e_i h}{\pi} \right) r} \quad (4.20)$$

Burada ρ_{hd} küresel yöne bağlı yansıtıcılıktır.

Çift yönlü yansıma, en temel yansıma, şu şekilde verilir;

$$\rho_{dd} = \frac{\frac{d i_r(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r)}{d e_i(\theta_i, \phi_i)}}{\pi} \quad (4.21)$$

Burada ρ_{dd} çift yönlü yansıtıcılıktır.

Helmholtz'un teoremini kullanarak şunları yazabiliriz;

$d\Omega_i = d\Omega$ olduğunda

$\rho_{dh}(\theta, \phi)_r = \rho_{hd}(\theta, \phi)_i$ olur ve,

e_{in}/π saçılmadır.

$$\rho_{dd}(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \rho_{dd}(\theta_r, \phi_r; \theta_i, \phi_i) \quad (4.22)$$

4.3.2.2. Yayılım ve Soğurma

Yöne bağlı yayılım şu şekilde yazılabilir;

$$\varepsilon_\lambda(\theta, \phi) = \frac{i(\theta, \phi)}{i_{b\lambda}} \quad (4.23)$$

Yukarıdaki denklemde, $i_{b\lambda}$ karacisim şiddetidir. Eğer yüzey saçıcı yansımaya uygunsa denklem (4.23) denklem (4.14) haline gelir,

$$\varepsilon_\lambda = \frac{e_\lambda}{e_{b\lambda}}$$

Küresel yayıcılık yöne bağlı yayıcılıktan kolayca hesaplanabilir;

$$\varepsilon_{h\lambda}(\lambda, T) = \frac{1}{\pi} \int \varepsilon_\lambda(\theta, \phi) \cos \theta d\Omega \quad (4.24)$$

Burada $\varepsilon_{h\lambda}$ küresel yayıcılıktır.

4.4. Lambert-Beer Yasası

Moleküller tarafından ışığın soğurulması sadece eğer ilk enerji seviyesinin farkı tam olarak fotonun (kuantın) enerjisine eşit olduğunda gerçekleşir (Ranby, Rabek, 1975).

$$E = h\nu = E_2 - E_1 \quad (4.25)$$

Burada E_2 ve E_1 sırasıyla, tek bir molekülün son (yüksek seviyede) ve ilk (alçak seviyede) enerjisidir.

Reaksiyon ortamının (örneğin bir foto-reaktörün yüzeyi I_0 şiddetli gelen ışıma maruz kaldığında, bu ışımanın bir kısmı yansır (I_p), bir kısmı soğurulur (I_α) ve kalan kısmı da ortamdan geçer (I_τ)

$$I_0 = I_p + I_\alpha + I_\tau \quad (4.26)$$

veya

$$\frac{I_p}{I_0} + \frac{I_a}{I_0} + \frac{I_t}{I_0} = 1 \quad (4.27)$$

‘Geçirgenlik oranı’ veya geçirgenlik ise şu şekilde ifade edilir;

$$\frac{I_t}{I_0} = \tau \quad (4.28)$$

Bu oran genelde yüzde olarak verilir.

Bir çözelti tabakasından geçen ışımının şiddeti Lambert-Beer yasası ile verilir;

$$\ln (I_t/I_0) = - \alpha l c' \quad (4.29)$$

veya

$$\log (I_t/I_0) = - \epsilon_s l c \quad (4.30)$$

Burada α (cm^2/g , litre $\text{g}^{-1} \text{cm}^{-1}$) ışımaya maruz kalan maddenin molekül ağırlığı bilinmediğinde kullanılan soğurma katsayısıdır, ϵ_{ms} ($\text{cm}^2 \text{mol}$, litre $\text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$) molar soğurma katsayısıdır, l (cm) ışımaya uğrayan tabakanın kalınlığıdır ve c' (g/cm^3 , g/litre) veya c (mol/cm^3 , mol/litre) konsantrasyondur.

Lambert-Beer yasasından anlaşıldığı üzere (α , ϵ_{ms}) soğurma katsayıları konsantrasyon, tabaka kalınlığı ve ışıma şiddetinden bağımsızdırlar fakat ışımının dalgaboyu ile değişirler.

Pratikteki uygulamalarda Lambert-Beer kuralını şu değerleri ve denklemi kullanarak ifade etmek daha çok uygundur; sönüm katsayısı ϵ_s soğurma α veya optik yoğunluk D ,

$$\epsilon_s = \alpha = D = \log (I_0/I) = \epsilon/c \quad (4.31)$$

Burada I_0 gelen ışın şiddeti, l kalınlık, c konsantrasyondur.

Sönüm iki veya daha fazla bileşen için şu şekilde verilir;

$$\epsilon_s = l (\epsilon_1 c_1 + \epsilon_2 c_2 + \dots + \epsilon_n c_n) \quad (4.32)$$

Sönüm katsayısının dört değeri bilindiğinde ve iki dalgaboyu için ölçümler yapıldığında iki bileşenin konsantrasyonu belirlenebilir;

$$\epsilon_s' = l (\epsilon_1' c_1 + \epsilon_2' c_2) \lambda' \text{ için} \quad (4.33)$$

$$\epsilon_s'' = l (\epsilon_1'' c_1 + \epsilon_2'' c_2) \lambda \text{ için} \quad (4.34)$$

λ' ve λ'' dalgalıyları öyle seçilmiştir ki, bir bileşen bu dalgalıylarını kuvvetli bir şekilde soğururken diğeri çok daha az soğurur.

ε sönüm ve $\tau(\%)$ geçirgenlik arasında aşağıdaki bağıntı tanımlanmıştır.

$$\varepsilon_s = \log (100/\tau) \quad (4.35)$$

Çözelti tabakası tarafından soğurulan ışının şiddeti aşağıdaki denklemlerden belirlenir:

$$I_\alpha = I_0 - I_\tau = I_0 (1 - \tau) = I_0 (1 - e^{-\alpha l c'}) \quad (4.36)$$

$$I_\alpha = I_0 - I_\tau = I_0 (1 - \tau) = I_0 (1 - 10^{-\varepsilon l c}) \approx 2,303$$

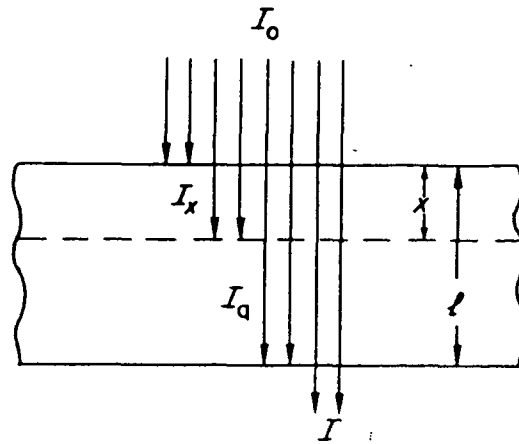
Aktif yüzey alanı A olan (ışınımına maruz kalan yüzey) bir çözelti I_0 şiddetindeki ışıkla ışınımına uğradığında, soğurulan enerji miktarı şu şekilde gösterilir;

$$I_\alpha A = I_0 A (1 - \tau) \approx 2,303 I_0 A E = 2,303 \varepsilon I_0 A/c = 2,303 \varepsilon_s I_0 V c \quad (4.37)$$

Burada V çözeltinin hacmidir (cm^3 veya litre)

Filmlerle polimerlerin fotokimyası alanında bir takım deneyler yapılmıştır. Şekil 4.7 film tabakasını geçen ışığın şemasını gösterir. Filmin l tabakasında soğurulan ışın, I_α , aşağıdaki gibi verilir;

$$I_\alpha = I_0 - I_\tau = \int_0^l I_0 \alpha e^{-\alpha x} dx = I_0 (1 - e^{-\alpha l}) \quad (4.38)$$



Şekil 4.7. Işıma maruz kalan filmin şeması (Ranby ve Rabek, 1975)

dx kalınlığındaki tabakada birim alan başına soğurulan kuant sayısı aşağıdaki gibi yazılır.

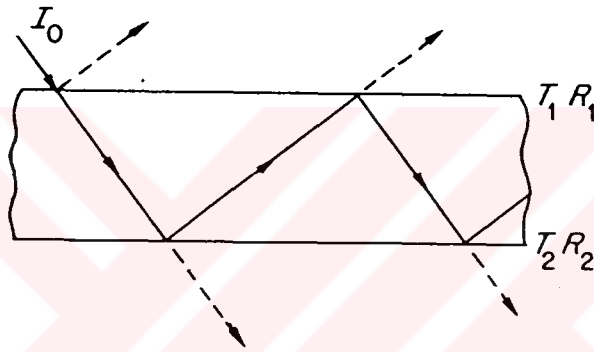
$$\frac{d(I_0 - I_t)}{dx} = -\frac{dI}{dx} = I_0^{-\alpha x} \quad (4.39)$$

x derinliğindeki film örneğinin gramı başına soğurulan enerji aşağıdaki denklemle verilir;

$$E_{\alpha(x)} = tV I_0 \alpha e^{-\alpha x} \quad (4.40)$$

Burada, t(s) ışına maruz kalma süresi, V (cm³/g) filmin spesifik hacmidir.

Gelen ışık (I₀) yüzeye bir açıyla çarptığında veya polimer filmi pigmentlendiğinde, çoklu iç yansıma gözlemlenir. (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Filmde çoklu iç yansımalar (Ranby, Rabek, 1975)

İç akı (I_p)'nun gelen ışına (I₀) oranı şu şekilde hesaplanır,

$$I_p / I_0 = \tau_1 + \tau_1 \rho_2 + \tau_1 (\rho_1 \rho_2) + \tau_1 \rho_2 (\rho_1 \rho_2) + \dots = \frac{\tau_1 (1 + \rho_2)}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (4.41)$$

Burada τ ve ρ sırasıyla geçirgenlik ve yansıtıcılıktır ve 1 ve 2 indisleri filme ve eklenen katkıyı (örneğin pigment) gösterir. Böylece bağlı iç ışık akısı, I_p / I_0 , film geçirgenliğinin $(1 + \rho_2) / (1 - \rho_1 \rho_2)$ katıdır.

4.5. Optik Özellikler

Bilindiği gibi, düzenli ve kübik olmayan, başka bir ifade ile yöne göre optik yoğunluğu değişen kristal yapılardan ışık geçerken çift kırılmaya uğrar, polarize olur (Meeten, 1989). Kristal katılarda polarizasyon gözlenir, sıvılarda ise gözlenmez. Buna paralel olarak kristalin

polimerlerde çift kırılma gözlenirken, amorf yapılarda polarizasyon olmaz. Bu farklılık, polimerik yapılarda kristalliliğin göstergesi olarak da kullanılır.

4.5.1. Optik Kararlılık

Optik kararlılık polimerik malzemelerin kullanım süresince optik özelliklerindeki değişimleri ifade eder. Mekanik ve kimyasal özelliklerindeki değişimler, optik özelliklerde de değişimlere yol açar. Örneğin çeşitli etkilerle polimerlerin kimyasal yapılarındaki bozunmalar ve transformasyonlar, şeffaflığa veya renk değişikliklerine, çatlamalara, yüzeyde çizilmelere, vb. matlık veya ışık geçirgenliğinin değişmesine neden olur.

Düşük yoğunlukları, yüksek şok dirençleri, yüksek ışık geçirgenlikleri (özellikle ultraviole), görünüşü bozmamaları, vb. gibi birçok önemli avantajlarına karşın, polimerik malzemelerin optik yaşlanmaları pratik uygulamalarda (pencere camı, vb. gibi) önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

4.5.2. Şeffaflık ve Renklenme

Elektriksel ve ısı özellikleri gibi polimerlerin optik özellikleri de moleküllerin, atomik, iyonik ve elektronik yapıları ile yakından ilgilidir. Polimerik malzemelerin görünür ışık bölgesindeki özelliklerini belirleyen yapı içindeki elektronların konsantrasyonu ve hareketliliğidir.

Şeffaf olup olmamanın iki kriteri vardır. Birincisi bakılan cismin kontrastının bozulması, buna matlık ya da dumanlı ya da basitçe kontrast kaybı denir. Dumanlı, sisli (Haze) teriminin farklı ve özel bir anlamı vardır.

Şeffaflığın ikinci ölçüsü bakılan cismin ince detayının ne derece görülebildiği; buna berraklık denir.

Demek ki şeffaflık tanımında her iki kavram da göz önüne alınmalıdır. Bu iki parametre birbirinden bağımsızdır ve birçok örnekte matlık artarken berraklık iyileşebilir.

Işık bir malzemenin üzerine geldiği zaman, ışığın bir bölümü yüzeyden yansır, bir bölümü yapı içine girer ve genellikle ısı enerjisi şekline dönüşerek absorplanır, kalan bölümü ise malzemeden geçer, Metal kristalin malzemelerde yüksek elektron yoğunluğu, gelen ışığın büyük bir bölümünün yansımaya yol açar. Örneğin, parlatılmış gümüş yüzeylerde yansıma %90'a kadar çıkar. Yine metallerdeki elektron yoğunluğu ve hareketliliği nedeniyle, yapıya

giren ışık, elektronlar tarafından absorplanır ve bu da elektron akışına (yer değiştirmesine) yol açar. Bu akış sonucu metalik kristalin malzemelerde yüksek opasite gözlenir.

Polimerlerde ise durum tamamen farklıdır. Bu yapılarda elektron hareketliliği çok düşüktür ve dolayısıyla görünür ışık absorpsiyonu elektronların ancak titreşimine neden olacak kadardır. Elektron akımı oluşmaz ve bu nedenle çoğu polimerler düşük opasite gösterirler, başka bir ifade ile şeffaftırlar.

Metaller ile polimerler karşılaştırıldığında elektriksel, ısı ve optik özelliklerinde bir paralellik olduğu kolaylıkla görülebilir. Yukarıda söz edilen yapılarından dolayı polimerler, metallerin tersine yüksek şeffaflık, dielektrik özellik ve ısı yalıtkanlık gösterirler.

Polimerlerin şeffaf olmaları, görünür bölgede ışık absorpsiyonlarının düşük olduğunu ifade eder. Şüphesiz diğer metaller gibi polimerler de bir absorpsiyon spektrumuna sahiptirler. Ultraviole ve infrared bölgelerde yüksek absorpsiyon gösterebilirler de, görünür bölgede ışık absorpsiyonu düşük olduğundan, görünür optik özellik olarak şeffaftırlar.

Polimerler ışığı, az da olsa absorpluyorsa ve bu absorpsiyon seçimli ise yapıda renklenme gözlenir. Doymuş alifatik yapılarda elektronlar kuvvetlice bağlıdır ve bu yapılarda molekülleri uyarmak için yüksek miktarda enerji gerekir. Dolayısıyla bu maddeler ancak UV bölgede absorpsiyon yaparlar, şeffaf ve renksizdirler. Eğer yapıda fazla miktarda $C=C$, $C=O$, $N=N$, $N=O$, vb. gibi elektronları daha az enerji ile hareketlendirebilen, doymamış gruplar varsa ve özellikle bunlar bitişik durumda iseler, görünür spektrumda seçimli absorpsiyon, bunun sonucunda renklenme gösterirler.

4.5.3. Matlık ve Parlaklık

Matlık ve parlaklık malzeme yüzey koşulları ile ilgili optik özelliklerdir. Yüzeyi çok düzgün ve homojen olan yapılar mat gözüktür. Burada yüzeyden yansıma “speküler” yansımadır. Yansıyan ışık yüzeyden değil de, adeta malzemenin içinden geliyor gibidir. Bu nedenle yüzey görünmez ve mat görüntü elde edilir. Bunun tersine, malzeme yüzeyi pürüzlü ve heterojen ise, yansıma “difüz” türdür. Yansıma ışık saçılma şeklinde kendisini gösterir, dolayısıyla yüzey görünür ve parlaktır.

5. GEÇİRGENLİK TAYİNİ

Kullandığımız uluslararası standart, parlaklığa sahip geçirgen malzemelerde ışık ve enerji iletimini saptamamızı sağlayan yöntemleri verir ve değişik tip parlaklıklar arasında bir karşılaştırma yapmayı sağlar (International Organization for standardization, 1987).

Bu uluslararası standart hem geleneksel malzemelere hem de soğuruculuğa yansıtıcılığa sahip parlak ve geçirgen malzemelere uygulanabilir.

5.1. Karakteristik Parametrelerin Tayini

Genel bilgi

Karakteristik parametreler, hemen hemen normale yakın gelen ışınım için D65 kaynağının radyasyon eğrisini, Tablo 5.1.'i kullanarak güneş ışınımı için Tablo 5.2 ve UV ışınımı için Tablo 5.3'ü kullanarak belirlenir.

Karakteristik parametreler aşağıdaki gibidir:

- Spektral geçirgenlik katsayısı $\tau(\lambda)$ ve spektral yansıtıcılık katsayısı $\rho(\lambda)$ (280 nm - 2500 nm arasındaki dalga boylarında),
- D65 kaynağı için geçirgenlik katsayısı τ_v ve yansıtıcılık ρ_v ,
- Direkt güneş geçirgenlik katsayısı τ_e ve direkt güneş yansıtıcılık katsayısı ρ_e ,
- Toplam güneş enerji geçirgenlik katsayısı (solar faktör) g ,
- UV-geçirgenlik katsayısı τ_{UV} ,

Parlaklığı belirlemek için temel parametreler τ_v ve g 'dir. Diğer parametreler isteğe bağlı olarak ek bilgi sağlarlar.

5.2. Işık Geçirgenlik Katsayısı

Cisimlerin ışık geçirgenlik katsayısı τ_v aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\tau_v = \frac{\int_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda} \quad (5.1.)$$

Burada;

D_λ = kaynağın radyasyon fonksiyonu

T_λ = sınır spektral geçirgenlik katsayısı

V_λ = fotometri için standart gözlemciyi tanımlayan fotopik aydınlatıcılık etkinliği fonksiyonu

Tablo 1, 10nm aralıklarla $D_\lambda V(\lambda)\Delta\lambda$ değerlerini belirtir. Tablo $\sum D_\lambda V(\lambda)\Delta\lambda = 100$ olacak şekilde hazırlanmıştır.

5.3. Yansıma Katsayısı

Malzemenin yansıtıcılık katsayısı ρ_v aşağıdaki “formülden” hesaplanır:

$$\rho_v = \frac{\int_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda V(\lambda) d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (5.2)$$

Burada;

D_λ ve V_λ 5.2'de tarif edildiği gibidir;

$\rho(\lambda)$ = malzemenin spektral yansıma katsayısı.

Çok tabakalı geçirgen malzeme olması durumunda, spektral yansıma katsayısı $\rho(\lambda)$ spektral geçirgenlik katsayılarından ve her bir tabakanın kendi yansıma katsayılarından hesaplanabilir.

5.4 Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenlik Katsayısı (Solar Faktör)

Tanımlar

Toplam güneş enerjisi geçirgenlik katsayısı g , geçirgen malzemenin direkt güneş geçirgenlik katsayısı τ_e ve ikincil ısı transfer katsayısı (q_i)'nin toplamıdır.

$$g = \tau_e + q_i \quad (5.3)$$

5.4.1. Geliş Güneş Işını Bölümleri

Geliş güneş ışını Φ_e aşağıdaki üç kısma ayrılmıştır:

- Geçen kısım, $\tau_e \Phi_e$

- Yansıyan kısım, $\rho_e \Phi_e$
- Soğurulan kısım, $\alpha_e \Phi_e$

Burada;

τ_e = direkt güneş ışınlamı geçirgenlik katsayısı.

ρ_e = direkt güneş yansıma katsayısı.

α_e = direkt güneş soğurma katsayısı.

Bu üç katsayı arasındaki bağıntı şudur;

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1 \quad (5.4)$$

Soğurulan kısım $\alpha_e \Phi_e$, $q_i \Phi_e$ ve $q_o \Phi_e$ gibi iki kısma ayrılır. Bunlar sırası ile içeriye ve dışarıya transfer edilen enerjilerdir.

$$\alpha_e = q_i + q_o \quad (5.5)$$

Burada;

q_i = malzemenin içeriye doğru olan ikincil ısı transfer katsayısı.

q_o = malzemenin dışarıya doğru olan ikincil ısı transfer katsayısı.

5.4.2. Direkt Güneş Geçirgenlik Katsayısı

Geçirgen malzemenin direkt güneş geçirgenlik katsayısı τ_e , aşağıdaki formülü kullanarak şu şekilde hesaplanabilir;

$$\tau_e = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (5.6)$$

Burada;

S_{λ} = güneş ışınının spektral dağılımı (Tablo 5.2'ye bak)

τ_{λ} = malzemenin spektral geçirgenlik katsayısı.

Çok tabakalı malzeme durumunda, spektral geçirgenlik katsayısı τ_λ , Bölüm 5.2’de anlatıldığı gibi hesaplanabilir.

Direkt güneş geçirgenlik katsayısını hesaplamak için S_λ ’nın spektral dağılımı kullanır. $S_\lambda \Delta\lambda$ ’nın değerleri Tablo da verilmiştir. Tablo, $\sum S_\lambda \Delta\lambda = 1$ olacak şekilde düzenlenmiştir.

NOTLAR:

1. Gerçekte olduğunun aksine durumu basitleştirmek için normale yakın gelen güneş ışınının spektral dağılımının atmosferik şartlara (örneğin; toz, buhu, nem, hacim) bağlı olmadığı farz edilir. Sonuçtaki hata çok küçüktür.
2. Işın eğik geldiğinde maddenin hem direkt güneş geçirgenliği hem de güneş enerjisi geçirgenliği azalır.

5.4.3. Direkt Güneş Yansıma Katsayısı

Malzemenin direkt solar yansıma katsayısı ρ_e aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$\rho_e = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_\lambda \rho(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_\lambda d\lambda} \approx \frac{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_\lambda \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=0}^{\infty} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (5.7)$$

Burada;

S_λ = güneş ışınının spektral dağılımı (Tablo 5.2’ye bak);

ρ_λ =parlak malzemenin spektral yansıma katsayısı.

Çok tabakalı malzeme için spektral yansıma katsayısı ρ_λ Bölüm 5.3’te anlatıldığı gibi hesaplanabilir.

5.4.4. Direkt Güneş Soğurma Katsayısı

Direkt solar soğurma katsayısı α_e 5.5. nolu denklemi kullanarak hesaplanabilir.

5.4.5. İç Bölgeye Doğru Olan İkincil Isı Transfer Katsayısı

5.4.5.1. Sınır Koşulları

İç Bölgeye doğru olan ikincil ısı transfer katsayısı q_i 'yi hesaplamak için malzemenin dışarı doğru olan ısı transfer katsayısı α_a ve içeri doğru olan ısı transfer katsayısı α_i gereklidir. Bu değerler temel olarak malzemenin konumuna (pozisyonuna), rüzgar hızına, iç ve dış sıcaklıklar ve bunlardan başka malzemenin iki dış yüzeyinin sıcaklığına bağlıdır.

Bu uluslararası standardın amacı malzemenin performansı hakkında temel bilgiler vermektir ve kolaylık için aşağıdaki koşullar sağlanır.

- Malzemenin konumu: dikey,
- Dış yüzey: Rüzgar hızı (yaklaşık 4m/s), küresel yayıcılık = 0.84;
- İç yüzey: Doğal ısı yayım, yayıcılık tercihe bağlı.

Bu koşullar altında, α_a ve α_i için standart değerler elde edilir:

$$\alpha_a = 23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\alpha_i = 3,5 + 5,4 \text{ } \epsilon_i \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Burada ϵ_i küresel yayıcılık (normal cam için $\epsilon_i = 0,84$ ve $\alpha_i = 8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)

NOT: ϵ_i için 0,84'den daha küçük değerler (uzak infrared bölgesinde yüksek yansımaya sahip yüzey kaplamasına bağlı olarak) ancak kaplanmış yüzeyde su yoğunlaşması yok varsayıldığında hesaba katılır.

5.4.5.2. Tek Tabakalı Malzeme

Tek tabakalı geçirgen malzemelerin içeriye doğru ikincil transfer katsayısı q_i aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$q_i = \alpha_e \frac{\alpha_i}{\alpha_e + \alpha_i} \quad (5.8)$$

Burada;

α_e direkt güneş soğurma katsayısıdır.

α_i ve α_a sırasıyla içeri ve dışarı transfer katsayılarıdır.

5.4.5.3. Çift Tabakalı Malzeme

Çift tabakalı malzemelerin içeri doğru ikincil ısı transfer katsayısı q_i aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$q_i = \left(\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{\alpha_a} + \frac{\alpha_{e2}}{\Lambda} \right) / \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} \right) \quad (5.9)$$

Burada;

α_{e1} = dış tabakanın güneş soğurma katsayısı

α_{e2} = iç tabakanın güneş soğurma katsayısı

Λ = iç ve dış tabakanın arasındaki ısı iletimi

α_{e1} ve α_{e2} katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\alpha_{e1} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left\{ \alpha_1(\lambda) + \frac{\alpha'_1 \tau_1(\lambda) \rho_2(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad (5.10)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left\{ \frac{\alpha_2(\lambda) \tau_1(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \right\} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad (5.11)$$

Burada;

$\alpha_1(\lambda)$ = dış tabakanın geliş ışını yönünde ölçülmüş spektral soğurma katsayısıdır. Aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\alpha_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho_1(\lambda) \quad (5.12)$$

α'_1 = dış tabakanın geliş ışınına ters yönde ölçülmüş spektral soğurma katsayısı.

$$\alpha'_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho'_1(\lambda) \quad (5.13)$$

$\alpha_2(\lambda)$ = ikinci tabakanın geliş ışını yönünde ölçülmüş spektral soğurma katsayısıdır.

$$\alpha_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho_2(\lambda) \quad (5.14)$$

NOT: Isı iletimi, korumalı kızgın levha metodu ile belirlenir. Ölçümler dik olan örnek ile yapılmalıdır. Örnek içindeki sıcaklık farklılığı yaklaşık 10°C olmalı. Değer yaklaşık 10°C'lik bir ortalama sıcaklık değeri için verilmelidir. Bu sıcaklıkların değişikliklerinin pratikte q_i 'ye hiç etkisi yoktur.

5.4.5.4. Üç Tabakalı Malzeme

Üç tabakalı parlak malzemenin içeri doğru ikincil ısı transfer katsayısı q_i aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$q_i = \left(\frac{\alpha_{e3}}{\Lambda_{23}} + \frac{\alpha_{e3} + \alpha_{e2}}{\Lambda_{12}} + \frac{\alpha_{e3} + \alpha_{e2} + \alpha_{e1}}{\alpha_a} \right) / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda_{12}} + \frac{1}{\Lambda_{23}} \right) \quad (5.15)$$

Burada;

α_{e1} = Üç tabakalı parlak malzemenin dış tabakasının soğurma katsayısı

α_{e2} = İkinci tabakanın soğurma katsayısı

α_{e3} = Üçüncü tabakanın soğurma katsayısı

Λ_{12} = Dış ve ikinci tabaka arasındaki ısı iletimi

Λ_{23} = İkinci ve üçüncü tabaka arasındaki ısı iletimi

α_{e1} , α_{e2} ve α_{e3} katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\alpha_{e1} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \left[\frac{\alpha_1(\lambda) + \tau_1(\lambda)\alpha_1'(\lambda) < 1 - \rho_2'(\lambda)\rho_3(\lambda) > + \tau_1(\lambda)\tau_2^2(\lambda)\alpha_1'(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1 - \rho_1'(\lambda)\rho_2(\lambda)]^k [1 - \rho_2'(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho_3(\lambda)} \right] d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad (5.16)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \frac{\tau_1(\lambda) + \alpha_1(\lambda)[1 - \rho_2'(\lambda)\rho_3(\lambda)] + \tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\alpha_1'(\lambda)\rho_3(\lambda)}{[1 - \rho_1'(\lambda)\rho_2(\lambda)]^k [1 - \rho_2'(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho_3(\lambda)} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad (5.17)$$

$$\alpha_{e3} = \frac{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\alpha'_3(\lambda)}{[1-\rho_1(\lambda)\rho_2(\lambda)][1-\rho_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho_3(\lambda)} d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} S_{\lambda} d\lambda} \quad (5.18)$$

Buradaki, $\alpha_1(\lambda)$, $\alpha'_1(\lambda)$ ve $\alpha_2(\lambda)$ 5.4.5.3'te tanımlanmıştır;

$\alpha'_2(\lambda)$ ikinci tabakanın geliş ışınına ters yönde ölçülen spektral soğurma katsayısıdır, şu bağıntı ile verilir;

$$\alpha'_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho_2(\lambda) \quad (5.19)$$

$\alpha_3(\lambda)$ üçüncü tabakanın geliş ışını yönünde ölçülen spektral soğurma katsayısıdır ve şu bağıntı ile verilir;

$$\alpha_3(\lambda) = 1 - \tau_3(\lambda) - \rho_3(\lambda) \quad (5.20)$$

Isı iletimleri Λ_{12} ve Λ_{23} korumalı sıcak levha metodu ile belirlenir (5.4.5.3.'teki nota bakınız).

5.4.6. Geçen Toplam Güneş Enerjisi

Malzemenin birim alanından içeriye iletilen toplam güneş enerjisi aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\Phi_{ei} = \Phi_e g \quad (5.21)$$

Burada;

Φ_e = Gelen güneş ışınının şiddeti.

Φ_e değerleri meteoroloji ile ilgili kaynaklardan elde edilebilir.

5.4.7. Ek Isı Transferi

Eğer oda sıcaklığı T_i dış sıcaklık T_o 'dan farklı ise, Φ_e 'ye ek olarak başka bir ısı transferi meydana gelir.

Bu ek ısı akışı q_a güneş ışınından bağımsızdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$q_a = k (T_o - T_i) \quad (4.22)$$

Buradaki k malzemenin bütününe ait ısı iletim katsayısıdır.

5.5. UV Geçirgenlik Katsayısı

UV bölgesinden güneşin toplam ışıınımı sadece UVA-bölgesi (280-315 nm) ve UVB (315-380 nm)'de bileşenleri içerir. Global ışıınınımın UV kısmı için standart bir dağılım bulunmuştur. Tablo 5.3 UVA ve UVB bölgesinde 5 nm aralıklarla $U_{\lambda}\Delta\lambda$ değerlerini verir. Tablo toplam UV bölgesi için $\sum U_{\lambda}\Delta\lambda = 1$ olacak şekilde düzenlenmiştir.

UV geçirgenlik katsayısı τ_{uv} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\rho_v = \frac{\int_{\lambda=280nm}^{380nm} U_{\lambda} \tau(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=280nm}^{380nm} U_{\lambda} d\lambda} = \frac{\sum_{\lambda=280nm}^{380nm} U_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280nm}^{380nm} U_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (5.23)$$

Buradaki, $\tau(\lambda)$ malzemenin spektral geçirgenlik katsayısıdır.

NOT: Eğer cisimlerin UV geçirgenliği için hesaplar yapılırsa, bu genellikle τ_{uv} 'yi elde etmemiz için yeterlidir. Toplam UV ışıınımı için geçirgenlik katsayısı toplam ışıınınımın içindedir. Sadece bazı özel durumlarda alt bölge olan UVA ve UVB ile ilgilenilebilir.

Tablo 5.1. İnsan gözünün spektral duyarlılığı ile çarpılmış D_{65} kaynağının spektral dağılımı
(International Organization for Standardization, 1987)

λ nm	$D_{\lambda}V(\lambda)\Delta\lambda$	λ nm	$D_{\lambda}V(\lambda)\Delta\lambda$
380	0,000 0	580	7,899 4
390	0,000 5	590	6,330 6
400	0,003 0	600	5,354 2
410	0,010 3	610	4,249 1
420	0,035 2	620	3,150 2
430	0,094 8	630	2,081 2
440	0,227 4	640	1,381 0
450	0,419 2	650	0,807 0
460	0,666 3	660	0,461 2
470	0,985 0	670	0,248 5
480	1,518 9	680	0,125 5
490	2,133 6	690	0,053 6
500	3,349 1	700	0,027 6
510	6,139 3	710	0,014 6
520	7,052 3	720	0,005 7
530	8,799 0	730	0,003 5
540	9,442 7	740	0,002 1
550	9,807 7	750	0,000 8
560	9,430 6	760	0,000 1
570	8,689 1	770	0,000 0
		780	0,000 0

Tablo 5.2. Hava kütlesi 2 için P.Moon'na göre solar ışıma spektral dağılımı (International Organization for Standardization, 1987)

λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$	λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$
350	0,012 8	1 250	0,024 7
400	0,035 3	1 300	0,018 5
450	0,066 5	1 350	0,002 6
500	0,081 3	1 400	0,000 1
550	0,080 2	1 450	0,001 6
600	0,078 8	1 500	0,010 3
650	0,079 1	1 550	0,014 8
700	0,069 4	1 600	0,013 6
750	0,059 5	1 650	0,011 8
800	0,056 6	1 700	0,008 9
850	0,056 4	1 750	0,005 1
900	0,030 3	1 800	0,000 3
950	0,029 1	1 850	0,000 0
1 000	0,042 6	1 900	0,000 0
1 050	0,037 7	1 950	0,001 3
1 100	0,019 9	2 000	0,001 3
1 150	0,014 5	2 050	0,003 8
1 200	0,025 6	2 100	0,005 8

Tablo 5.3. Global ışımanın UV kısmının spektral dağılımı (International Organization for Standardization, 1987)

λ nm	$U_{\lambda}\Delta\lambda$
297,5	0,000 82
302,5	0,004 61
307,5	0,013 73
312,5	0,027 46
317,5	0,041 20
322,5	0,055 91
327,5	0,065 72
332,5	0,070 62
337,5	0,072 58
342,5	0,074 54
347,5	0,076 01
352,5	0,077 00
357,5	0,078 96
362,5	0,080 43
367,5	0,083 37
372,5	0,086 31
377,5	0,090 73

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Örnekler on dakika 423 K sıcaklıkta ve 15 M Pa basınçta tutularak sıcak pres yöntemiyle hazırlanmıştır. Daha sonra oda sıcaklığındaki suya daldırılarak soğutulmuştur (Boydağ, Mamedov, 1998). Örneklerin Tablo 7.1’de de görüldüğü gibi değişik kalınlıklarda (32-270 μ m) saf AYPE, 28-318 μ m kalınlıklı PP, değişik yüzdelerde (%10-%50) PP elyaf katkılı AYPE, değişik kalınlıklarda (135-150 μ m) ve yüzdelerde (%0,3- %1,5) elmas katkılı düşük yoğunluklu polietilen ve değişik kalınlıklarda (30-225 μ m) PP +%20 AYPE örneklerinin 200-2100 nm arasındaki dalga boylarında geçirgenlikleri (% τ) software kontrollü Perkin Elmer lambda 900 UV/VIS/NIR spektrofotometresi ve Perkin Elmer lambda 9 UV/VIS/NIR spektrofotometresi kullanılarak belirlendi. Software kontrollü Perkin Elmer lambda 9 UV/VIS/NIR spektrofotometresi ile UV geçirgenlik katsayısı τ_{uv} ’yi hesaplayabilmemiz için 282,5 nm ‘den başlayarak 377,5 nm’ye kadar 5 nm aralıklarla, ışık geçirgenlik katsayısı τ_v ’yi hesaplamak için 380 nm’den başlayarak 780 nm’ye kadar 10 nm aralıklarla, direkt güneş geçirgenlik katsayısı τ_e ‘yi hesaplamak için 350 nm’den başlayarak 2100 nm’ye kadar 50 nm aralıklarla % τ geçirgenlikleri ölçüldü. Ayrıca bu ölçümlerden yararlanarak yukarıda söz edilen örneklerin, α soğurma değerleri optik geçirgenlik ve kalınlıkları hesaplandı.

Tauc denklemini kullanarak, yaklaşık optik soğurma kenarları ve optik aktivasyon enerjileri hesaplanabilir.

$$\alpha h\nu = B (E - E_g)^n$$

Burada, E_g optik bant aralığı; n optik geçişin türüne bağlı bir sabit ve α lineer soğurma katsayısı, özellikle, $n=1/2, 3/2, 2$ ve 3 sırasıyla direk izinli direk izinsiz indirekt izinli ve indirekt izinsiz için kullanılır. h Planck sabitidir.

Tauc grafikleri Tablo 7.1’deki tüm filmler için $((\alpha h\nu)^{1/n}$ ve $(\alpha h\nu)^n - h\nu$ ’ye karşı) çizildi (Kittel, 1986; Mott, Davis, 1979). Grafikler ekstrapole edilerek yaklaşık bir E_g^{opt} elde edildi. Çizilen $E - \alpha(E)^n$ eğrilerinin lineer kısımları belirlenerek bu bölgeye teğet olan en olası doğrunun eğimi ve $E = h\nu$ eksenini kestiği değerler bulundu. Tauc denklemindeki B ile E_g değerleri bu şekilde elde edilen en olası doğruların eğimleri ile $h\nu$ eksenini kestiği değerlere karşılık gelmektedir (Mott, Davis, 1979).

E_g metal filmler için 0–3 eV’den başlar, PP / PE ve kompozitler için 3-10 eV’a kadar değer alır.

Optik soğurma spektroskopisi maddelerin enerji aralığı, optik olarak meydana gelen geçişleri ve bant yapıları ile ilgili bilgi edinmemizi sağlar. Yakın UV ve görünür bölgede pek çok organik kompositin soğurma spektrumu elektron geçişlerine bağlı olarak bir ya da daha çok maksimum içeren geniş bir banttır. Farklı bant içi soğurma olaylarına uygun olarak iki değişik lineer bağıntı bulunduğu gözlemlenir. Dolaylı izinli geçiş için $n=2$ enerji seviyesi tipik bir örnektir. Optik bant aralığı E_i^{opt} , $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ grafiğinden elde edilir. Direk enerji aralığı E_d^{opt} , $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiğinden elde edilir. Bunların yanısıra bant kuyruğu genişliği şu denklemden bulunabilir;

$$\ell n \alpha = \ell n \alpha_1 - h\nu / \Delta E$$

Buradan da anlaşılacağı ΔE değerinin bulunmasında $\ell n \alpha - h\nu$ grafiğinden yararlanılır. Bulunan tüm değerler Tablo 7.1’de verilmiştir.

7. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Optik absorpsiyonun incelenmesi, malzemelerin enerji aralıkları, band yapıları ve optik etkilenme sonucu geçişler hakkında fikir verir. Birçok organik ve inorganik kompozit elektron geçişlerine bağlı olarak yakın UV ve görünür bölgede bir ya da birkaç maksimum içeren geniş bandlı absorpsiyon spektrumuna sahiptir (Boydağ, Mamedov, 1998). Bu spektrumlar moleküllerin temel enerji seviyelerinin yanısıra titreşim ve dönme hareketlerine ait seviyeleri de içerirler. Bunun sonucu olarak spektrumda maksimumları izleyen küçük maksimumlar gözlenir. Spektrumlar karşılaştırıldığında bileşenler arası kimyasal etkileşimi gösterecek olan yeni pikler gözlenmemektedir. İR Spektrumların değişmesi nötral saçılmanın, amorf ve kristalin bölgelerdeki grupların titreşimlerine ait piklerin oksitlenme süreciyle ilgili piklerin, hidroksil gruplarına ait piklerin ve dalga boyuna bağlı olan Rayleigh – Jeans saçılmasının değişmesi ile bağlantılıdır (Mamedov, Alekperov, 1999). Rayleigh – Jeans saçılması dalgaboyu küçüldükçe artmaya başlar, nötral saçılma kısa dalgaboylarına doğru azalır. Şekil 7.1a, 7.2a, 7.3a, 7.4a ve 7.5a’da sırasıyla AYPE/PP elyaf, AYPE/elmas, AYPE, PP/AYPE ve PP bileşenleri optik soğurma spektrumları verilmiştir.

a) UV soğurulma spektrumlarında 200-400 nm bölgesinde tüm örneklerde kesin pikler gözlenmektedir. Bu şiddetli absorpsiyon bandları 180-200 nm deki C=O karbonil gruplarına aittir. Çapraz bağların varlığı kaymalara neden olduğundan 200-400 nm arasında gözlenen pikler karbonil ve fenil – keton gruplarına aittir (Boydağ, Mamedov, 1998).

b) Krasovitski, et al göre (Boydağ, Mamedov, 1998) 400-700 nm arası pikler pigmentlere aittir. Daha önceki çalışmalara paralel olarak bu gruba PP/PE kompozitlerde rastlanmamakta ancak AYPE (Şekil 7.3(a)) ve AYPE/PP (Şekil 7.1(a)) elyaf örnekleri birçoğunda gözlenmektedir. Bunun yanısıra AYPE örneklerin absorpsiyon grafiklerinde dalgalanmalar titreşime bağlı geçişlere atfedilebilir.

İyi optik özellikli kompozit malzeme elde etmede en önemli problem, kompoziti oluşturan malzemelerin örgü yapısı ve kırılma indislerinin uyum sağlayıp sağlamadığıdır. İki farklı malzeme söz konusu olduğunda görünür bölgedeki matlık kaçınılmazdır (Dunalp, 1991).

c) Kompozitlerin yüzey oluşumları ve kalınlıkları iç ve dış saçılmalara neden olur. Tüm iç yansımalar soğurma özellikleri ve film kalınlığına bağlı olarak azalır (Wen – Dar ho and Chen – chie, 1998). Tablo 7.1’de görüldüğü gibi ultraviyole (τ_{uv}) ve toplam geçirgenlik (τ_v , τ_e) değerleri arasında çok büyük farklılıklar vardır. Kompozitlerdeki amorf ve kristal bölgede aşırı molekül oluşumlarının fazlalığı ışık saçılmalarına neden olacaktır PP deki PE katkısı

amorf kısımları doldurarak PP de ikinci bir faz gibi davranır. Saf PP ile karşılaştırdığımızda PP/PE kompozitte yapı nedeniyle ek bir ışık saçılması söz konusudur. Enerji azalacaktır. Kottler'e göre iç yüzeye gelme açılarının geniş bir aralıkta değişmesi çoklu saçılmalara neden olmaktadır.

d) Optik absorpsiyon spektroskopisi polimerlerin enerji bantları hakkında fikir verebilir. Absorpsiyona bağlı olarak iki farklı enerji söz konusudur (Shahada, Kassem, 1996).

Şekil (7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5)b direk, (7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5)c indirek optik enerji aralığı bulmamıza yarayan grafiklerdir. Değerler Tablo 6.1 de gösterilmiştir. Bazı örneklerin kalınlıkları nedeniyle enerji aralıklarının uygun değerleri elde edilememiştir.

Bu kalınlıklar, (% 20 % 50) PP katkılı AYPE için 52-60 μm . aralığında PP grubu için 28-318 μm aralığında, AYPE için 32-270 μm aralığında (% 0,3-% 1,5) elmas katkılı AYPE için 135-150 μm aralığında % 20 AYPE katkılı PP için 30-225 μm aralığındadır. Şekil (7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5)d ΔE , bant kuyruğu genişliğini bulmamıza yarayan grafiklerdir. 5.kısımda anlatıldığı gibi bu grafiklerden elde edilen değerler Tablo 7.1'de gösterilmiştir.

AYPE / PP elyafta % 20 PP elyaf katkılı olan örneklerin en düşük E_i değerine sahip olduğu ve AYPE/elmas polimer kompozitlerde τ_{uv} değerlerinin katkının artış yüzdesiyle azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak hem direk hem indirek geçiş mekanizmasının varlığı meydana çıkmıştır. Polimer – Polimer kompozitleri oluşturan katkılar bazen kompozit gibi bazen doldurucu gibi rol oynar; inorganik katkılar ise aşırı molekül oluşumlarında hem önemli değişiklikleri meydana getirebilir hem de bu oluşumların sınırlarındaki yüzeylerde kimyasal karşılıklı etki sonucunda onların boyutlarını değiştirir.

Tablo 7.1

Grup	Kalınlık (μm)	E_d^{opt}	$E_i^{\text{opt}}(\text{eV})$	$\Delta E(\text{eV})$	$\tau_{\text{av}}(\%)$	$\tau_e(\%)$	$\tau_v(\%)$
AYPE+%10PP elyaf	52	3,72	4,125	0,35	97,6	91,56	94,16
AYPE+%20PP elyaf	53	3,43	1,22	1,27	90,67	90,65	93,12
AYPE+%30PP elyaf	55	3,96	4,72	0,45	97,17	91,02	93,60
AYPE+%50PP elyaf	60	-	-		87,58	87,90	87,25
Saf AYPE elyaf	60	-	-		98,01	91,31	93,89

AYPE+%0,3 elmas	135	3,66	1,68	1,37	80,34	87,57	88,83
AYPE+%0,5 elmas	150	3,38	1,56	2,39	71,28	82,74	82,33
AYPE+%0,7 elmas	150	3,46	1,13	1,5	50,36	75,17	71,31
AYPE+%1 elmas	135	3,44	1,17	1,85	53,72	75,77	72,61
AYPE+%1,5 elmas	135	3,35	1,34	2,125	57,39	75,20	72,53

AYPE	32	3	0,87	1,15	94,41	91,38	93,81
AYPE	75	3,5	2,4	1,37	91,76	90,49	92,66
AYPE	115	3,39	2,6	0,41	92,17	90,84	93,20
AYPE	180	3	2,83	0,8	88,71	89,76	91,84
AYPE	227,5	3,7	2,88	1,34	86,53	88,08	89,89
AYPE	270	3,815	2,47	0,95	85,84	88,59	90,41

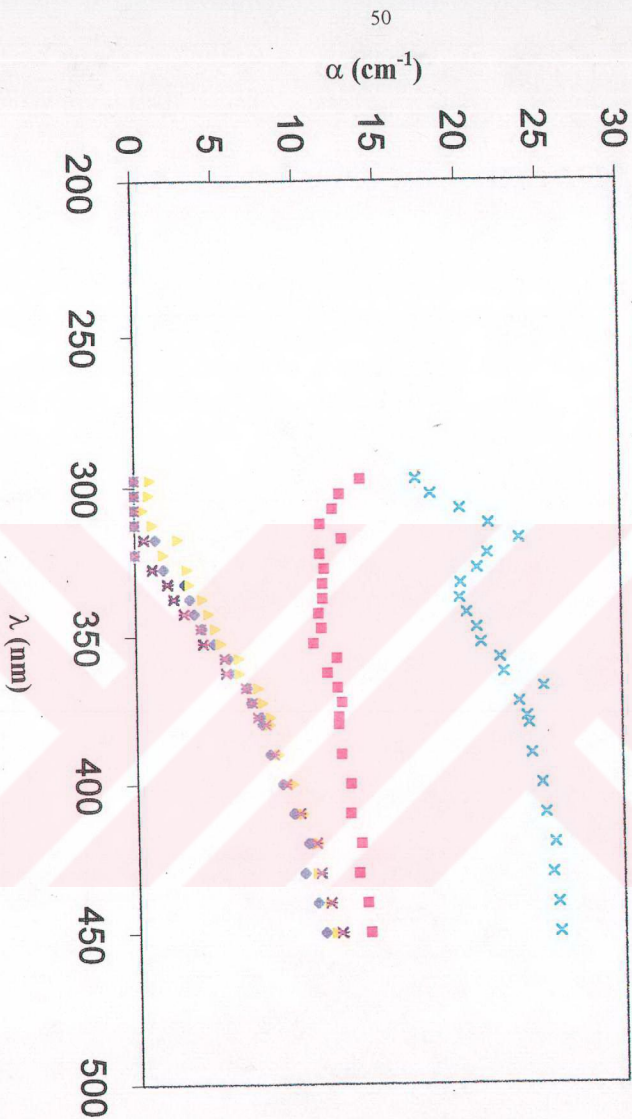
PP+%20 AYPE	30	3,16	2,87	0,16	61,4	90,85	93,28
PP+%20 AYPE	65	3,15	2,95	0,18	36,6	90,29	92,74
PP+%20 AYPE	112	3,14	2,96	0,09	15,4	90,15	92,86
PP+%20 AYPE	155	3,15	2,94	0,18	73	87,62	91,64
PP+%20 AYPE	195	3,15	2,96	0,12	73	88,96	91,64
PP+%20 AYPE	225	3,17	2,98	0,11	15	87,86	90,64

PP	28	3,19	2,96	0,11	46,4	91,21	93,99
PP	90	3,17	2,98	0,1	15,1	89,35	91,77
PP	150	3,14	2,96	0,11	04,8	88,01	90,54
PP	160	3,16	3	0,08	04,6	93,96	98,58
PP	280	3,19	2,97	0,076	04,64	93,80	98,75
PP	318	3,18	3	0,056	00,22	84,35	86,51

Şekil 7.1(a)

UV Bölgesinde

AYPE+(%10-%50)PP elyaf



- ◆ AYPE+%10PP 52μm
- AYPE+%20PP 53μm
- ▲ AYPE+%30PP 55μm
- × AYPE+%50PP 60μm
- * AYPE 60μm

AYPE + (% 10-%50) PP elyaf örnekleri için optik soğurma spektrumları

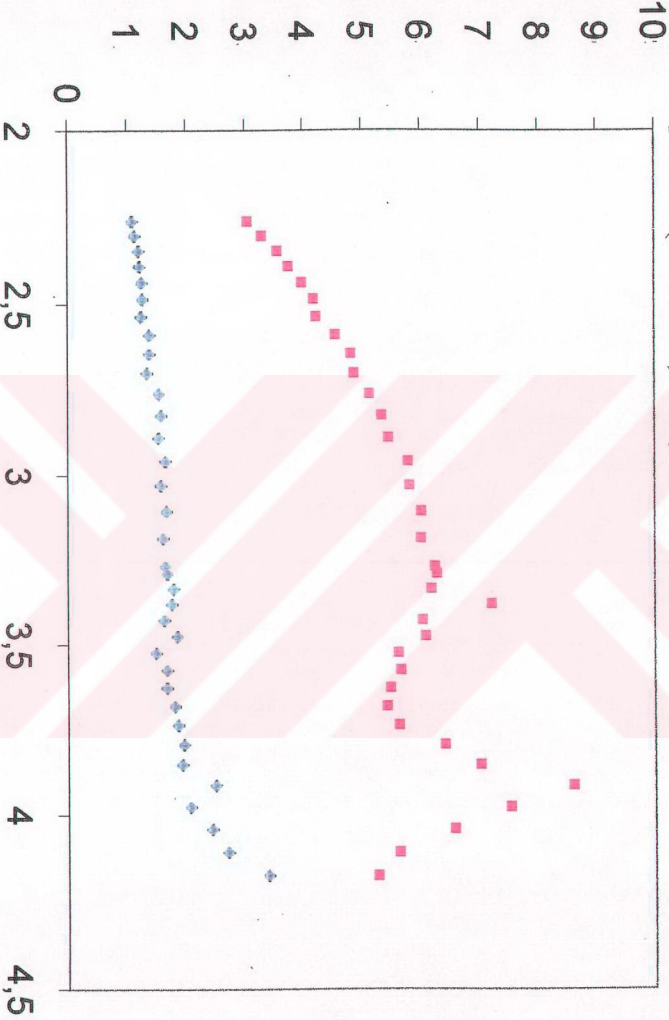
$$(\alpha h\nu)^2 \times 10^3 \text{ cm}^{-2} (\text{eV})^2$$

AYPE+(%20-%50)PP elyaf

(i)Şekil 7.1(b)

AYPE + (% 20-%50) PP elyaf örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği

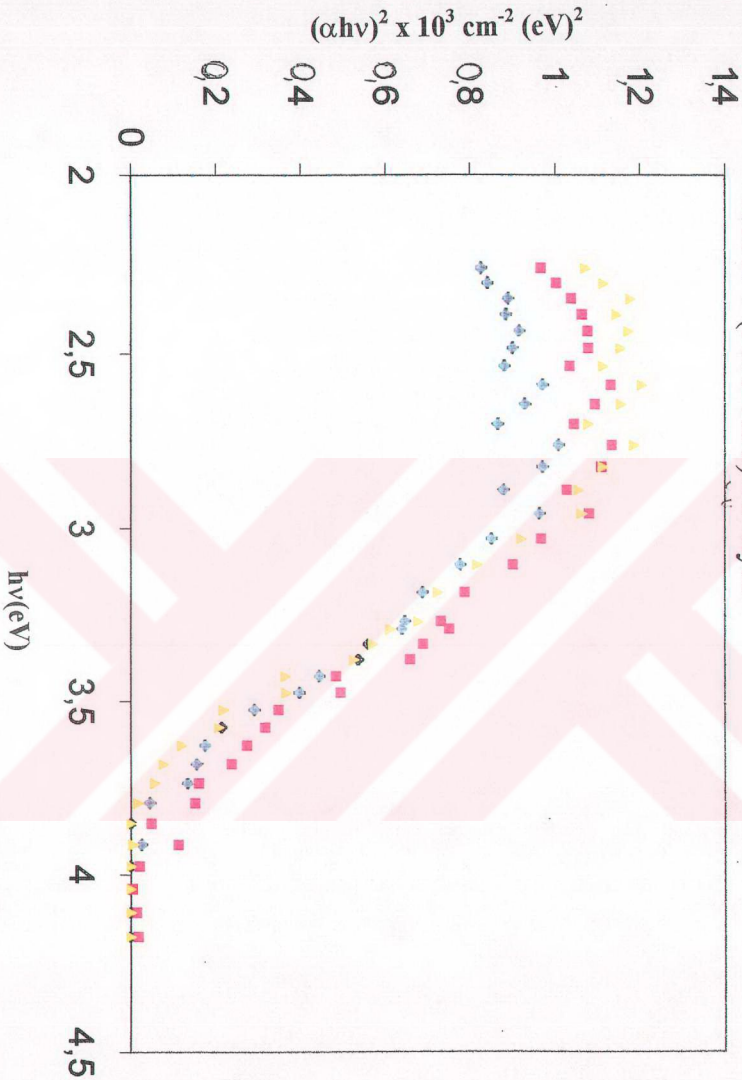
$h\nu(\text{eV})$



◆ AYPE+%20PP 53μm
 ■ AYPE+%50PP 60μm

AYPE + (%10-%30) PP elyaf

(ii) Şekil 7.1(b)

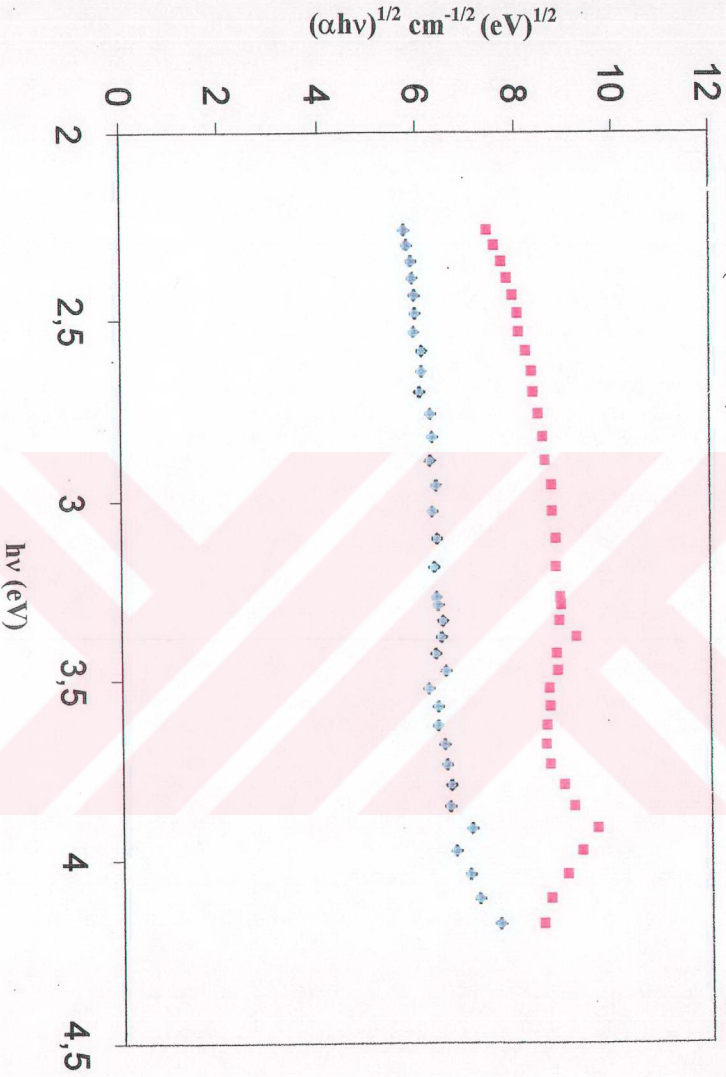


AYPE + (%10-%30) PP elyaf örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği

◆ AYPE + %10 PP 52µm
 ■ AYPE + %30 PP 55µm
 ▲ AYPE 60µm

AYPE+(%20-%50)PP elyaf

(i)Şekil 7.1(c)

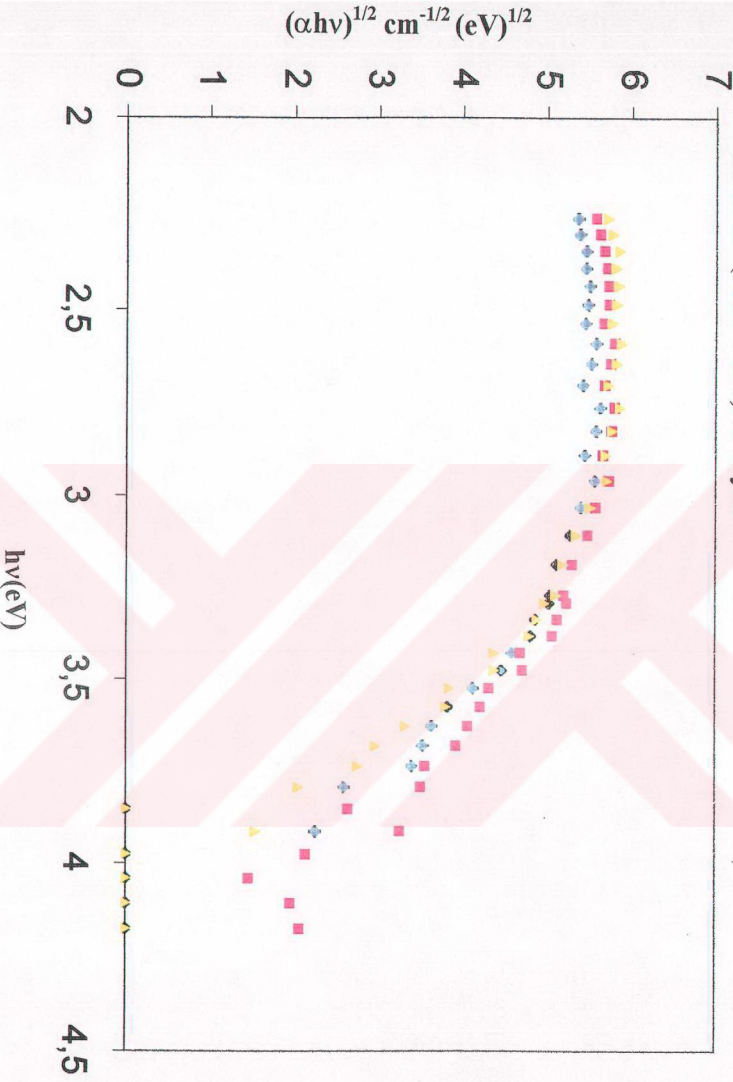


◆ AYPE+(%20-%50)PP 53µm
 ■ AYPE+(%20-%50)PP 60µm

AYPE + (% 20-%50) PP elyaf örnekleri için $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ grafiği

AYPE+(%10-%30)PP elyaf

(ii)Şekil 7.1(c)

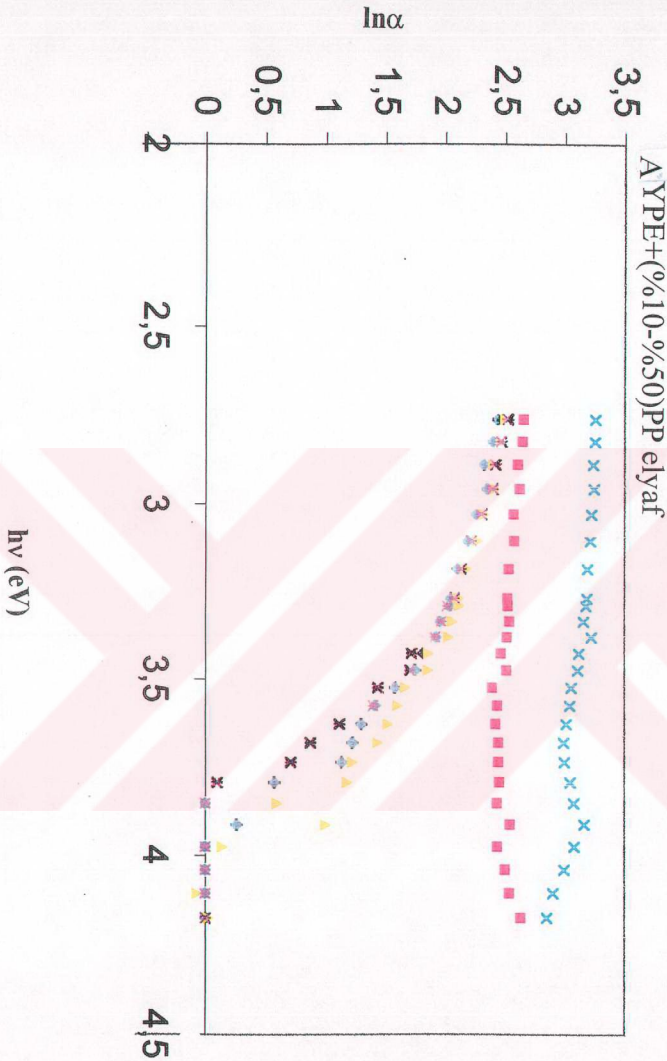


AYPE + (%10-%30) PP elyaf örnekleri için $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ grafiği

◆ AYPE+%10PP 52 μm
 ■ AYPE+%30PP 55 μm
 ▲ AYPE 60 μm

UV Bölgesinde

Şekil 7.1(d)

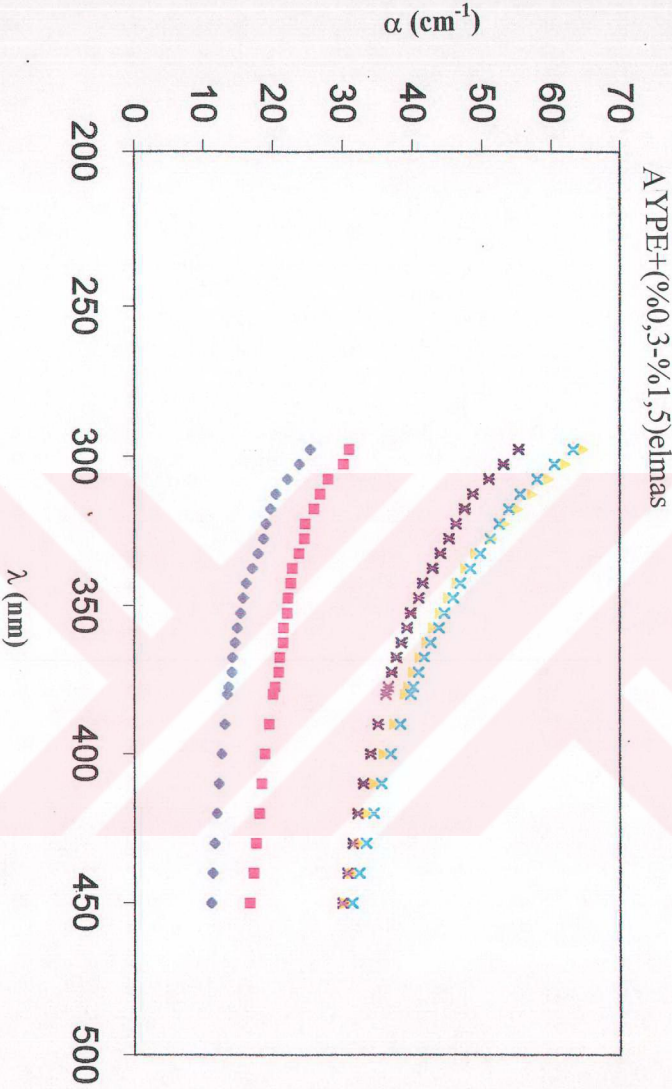


- ◆ AYPE+%10PP 52μm
- AYPE+%20PP 53μm
- ▲ AYPE+%30PP 55μm
- × AYPE+%50PP 60μm
- * AYPE 60μm

AYPE + (% 10-%50) PP elyaf örnekleri için $\ln \alpha$ - $h\nu$ grafiği

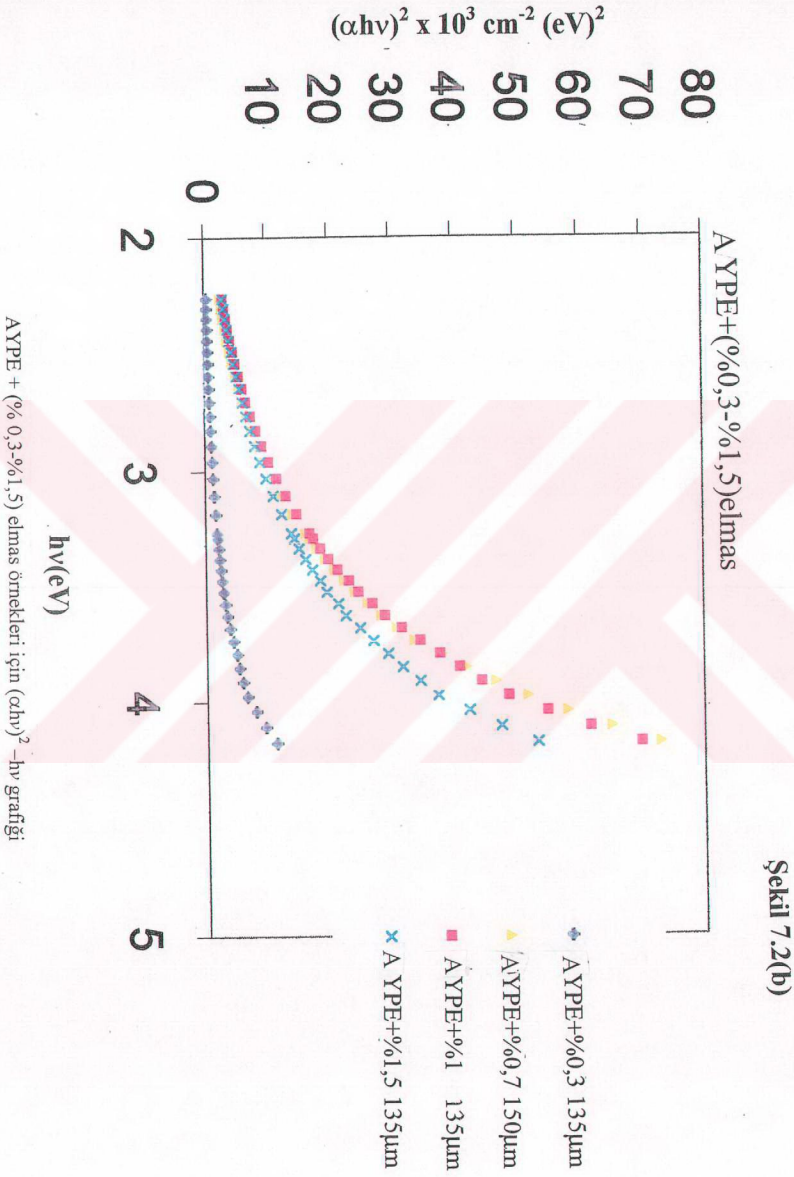
UV Bölgesinde

Şekil 7.2(a)



- ◆ AYPE+%0,3 135 μm
- AYPE+%0,5 150 μm
- ▲ AYPE+%0,7 150 μm
- × AYPE+%1 135 μm
- × AYPE+%1,5 135 μm

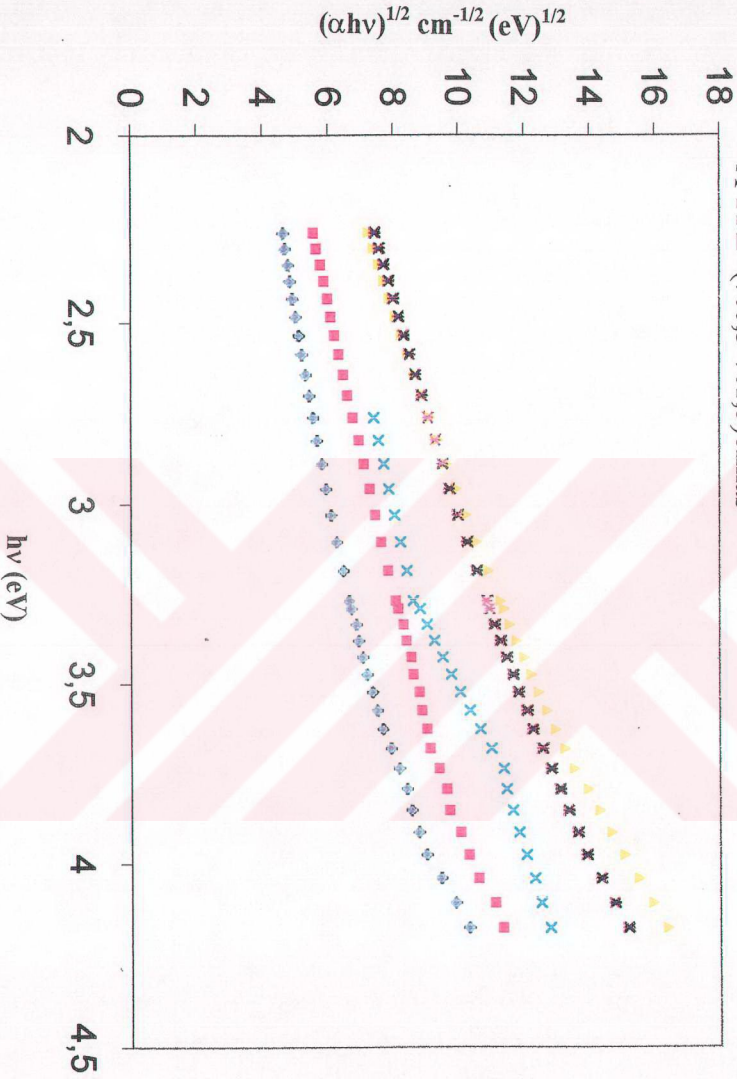
AYPE + (% 0,3-%1,5) elmas örnekleri için optik soğurma spektrumları



AYPE + (% 0,3-%1,5) elmas örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği

AYPE+(%0,3-%1,5)elmas

Şekil 7.2(c)



- ◆ AYPE+%0,3 135µm
- AYPE+%0,5 150µm
- ▲ AYPE+%0,7 150µm
- × AYPE+%1 135µm
- × AYPE+%1,5 135µm

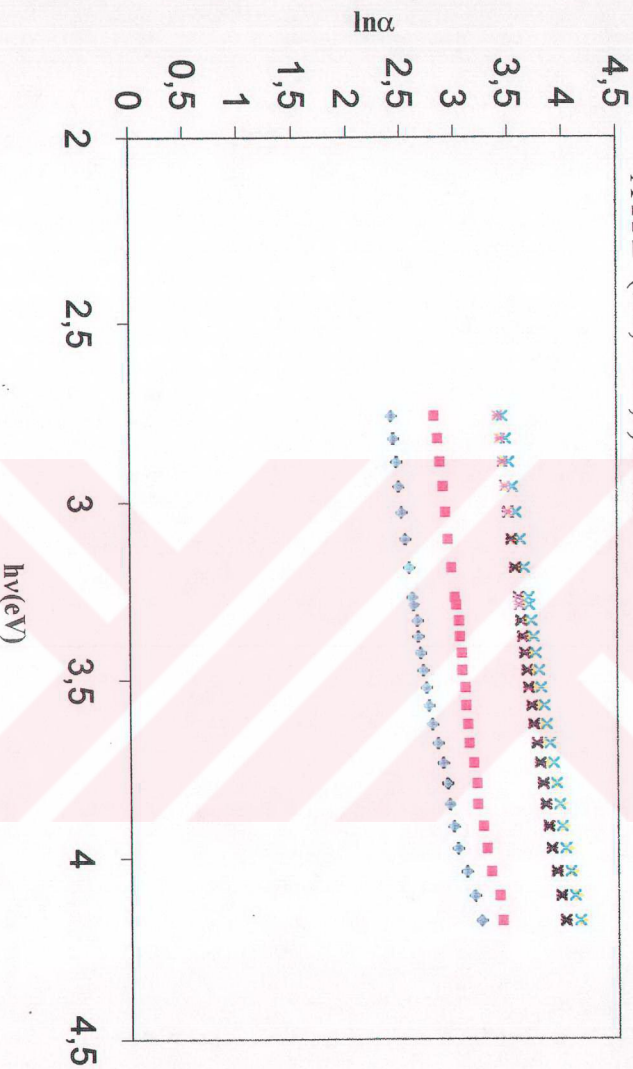
$h\nu$ (eV)

AYPE + (% 0,3-%1,5) elmas örnekleri için $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ grafiği

Şekil 7.2.(d)

UV Bölgesinde

AYPE+(%0,3-%1,5)elmas

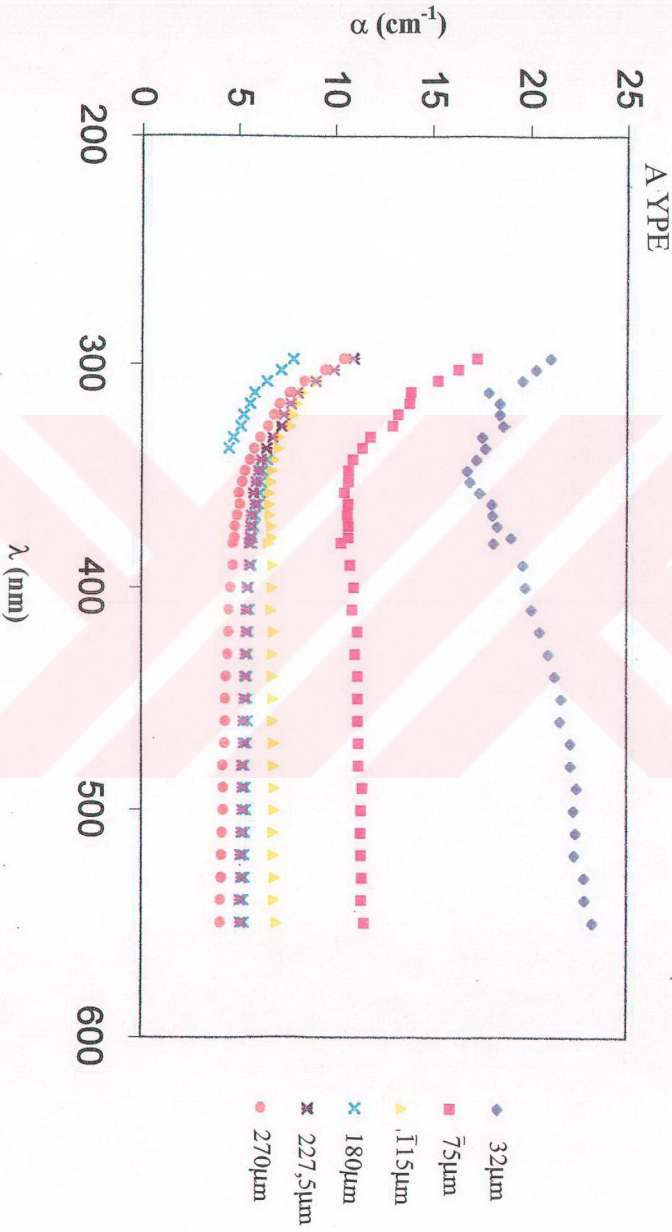


- ◆ AYPE+%0,3 135µm
- AYPE+%0,5 150µm
- ▲ AYPE+%0,7 150µm
- × AYPE+%1 135µm

AYPE + (% 0,3-%1,5) elmas örnekleri için ℓ no. - $h\nu$ grafiği

UV Bölgesinde

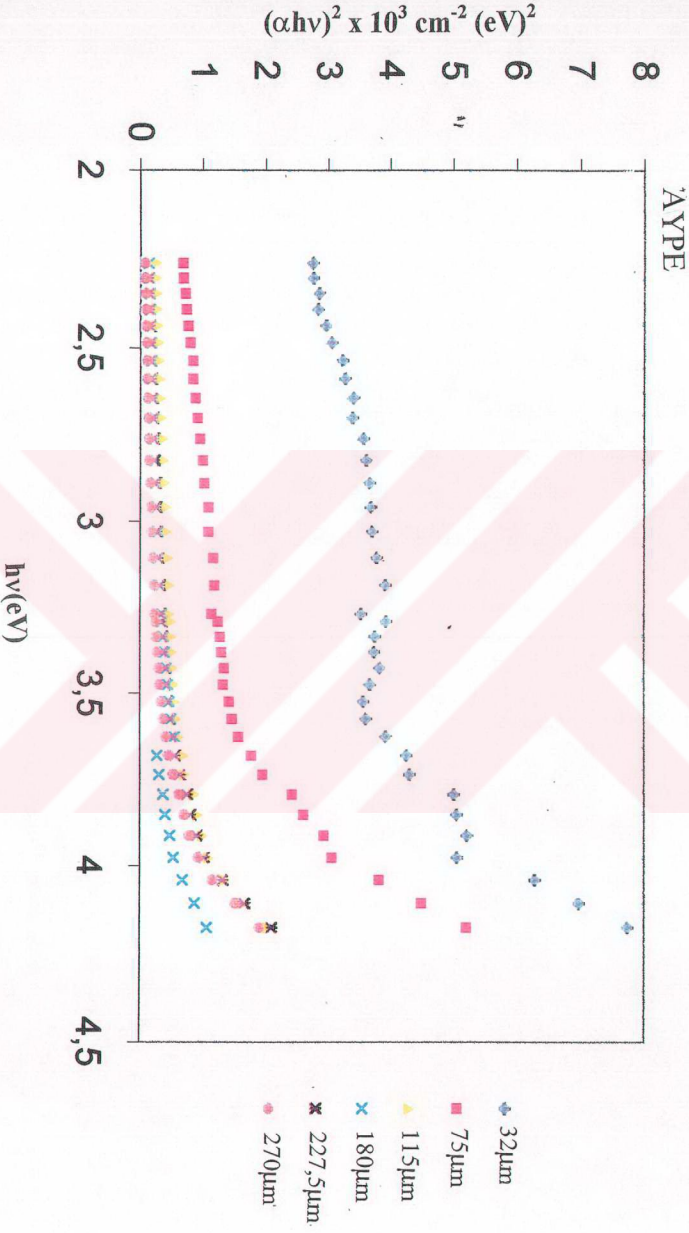
Şekil 7.3(a)



Farklı kalınlıklarda (32-270 μm) AYPE örnekleri için optik soğurma spektrumları

UV Bölgesinde

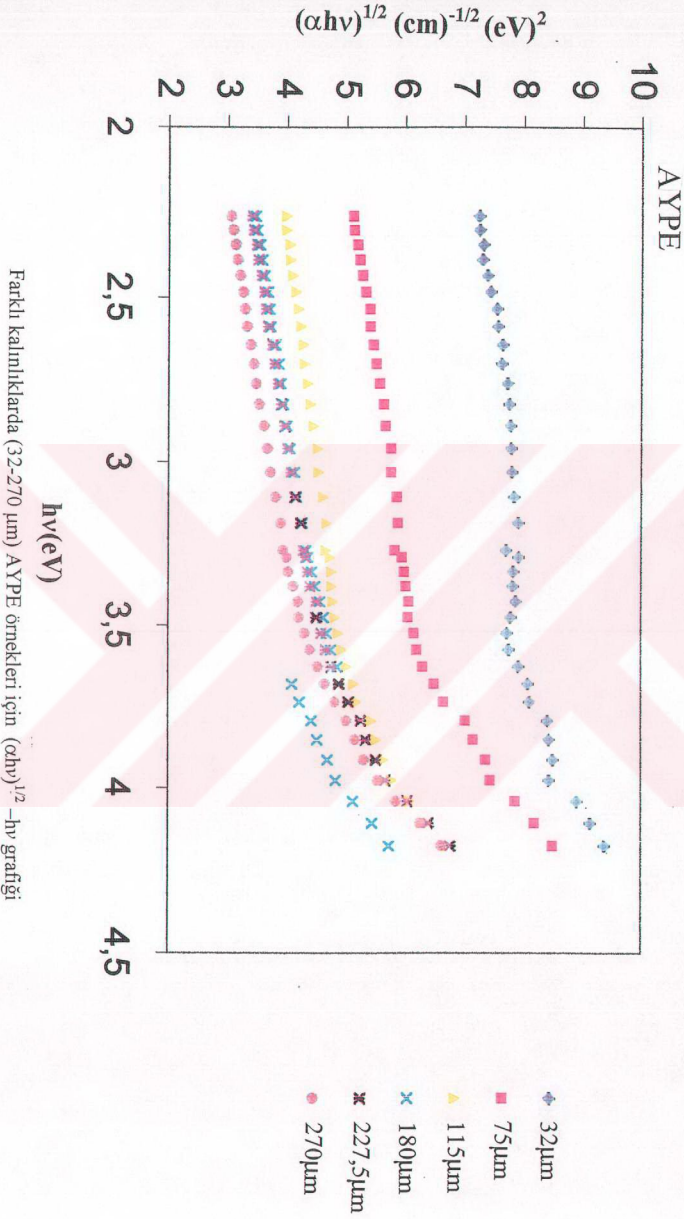
Şekil 7.3(b)



Farklı kalınlıklarda (32-270 μm) AYPE örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği.

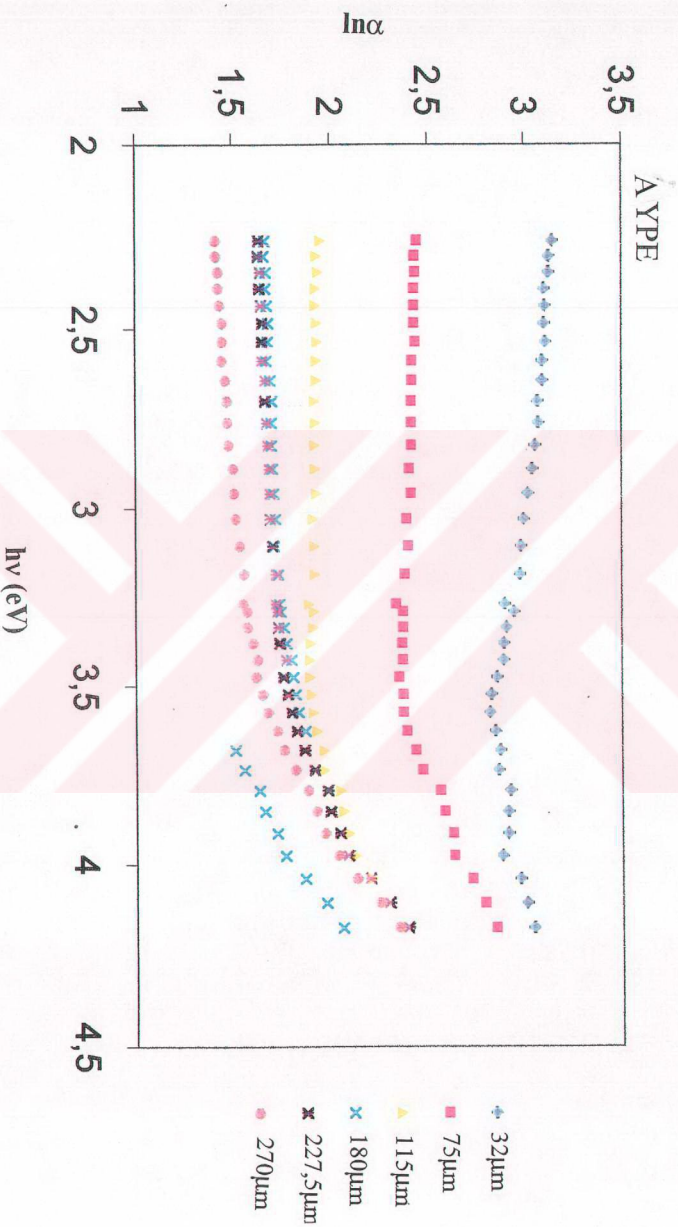
UV Bölgesinde

Şekil 7.3(c)



Şekil 7.3.(d)

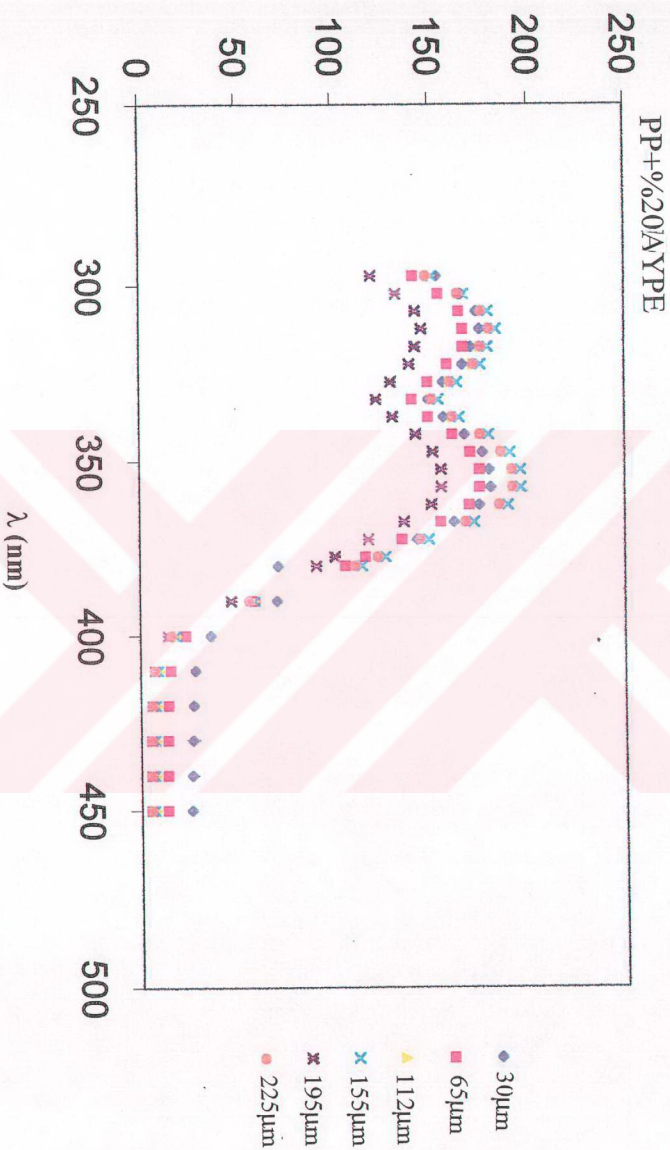
UV Bölgesinde



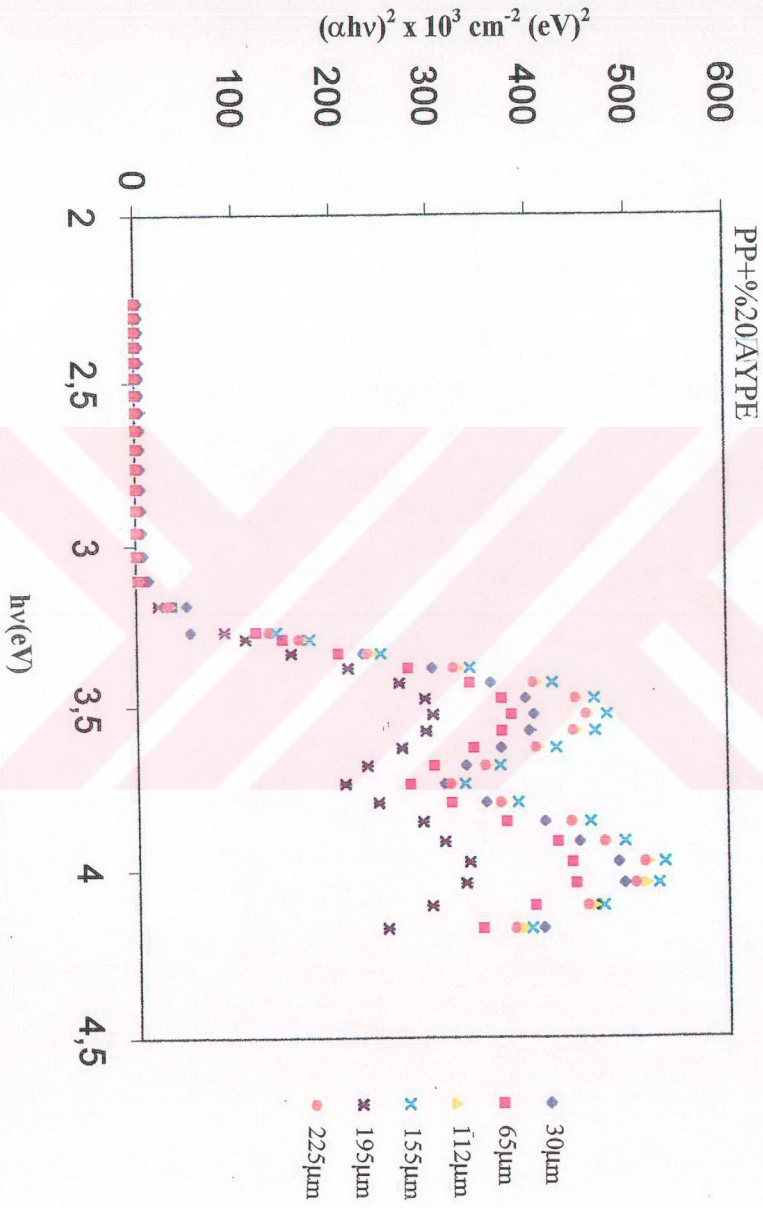
Farklı kalınlıklarda (32-270 µm) AYPE örnekleri için $\ln\alpha$ - $h\nu$ grafiği

UV Bölgesinde

Şekil 7.4(a)



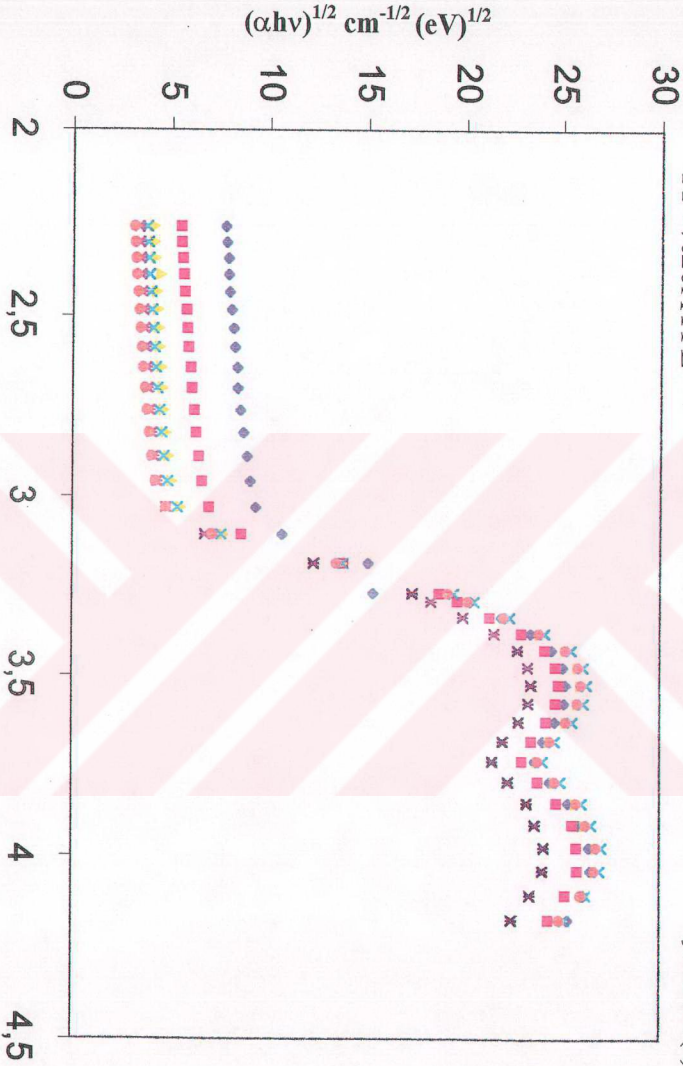
Farklı kalınlıklarda (30-225 μm) PP + % 20 AYPE örnekleri için optik soğurma spektrumları



Farklı kalınlıklarda (30-225 µm) PP + %20 AYPE örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği

PP+%20ATYPE

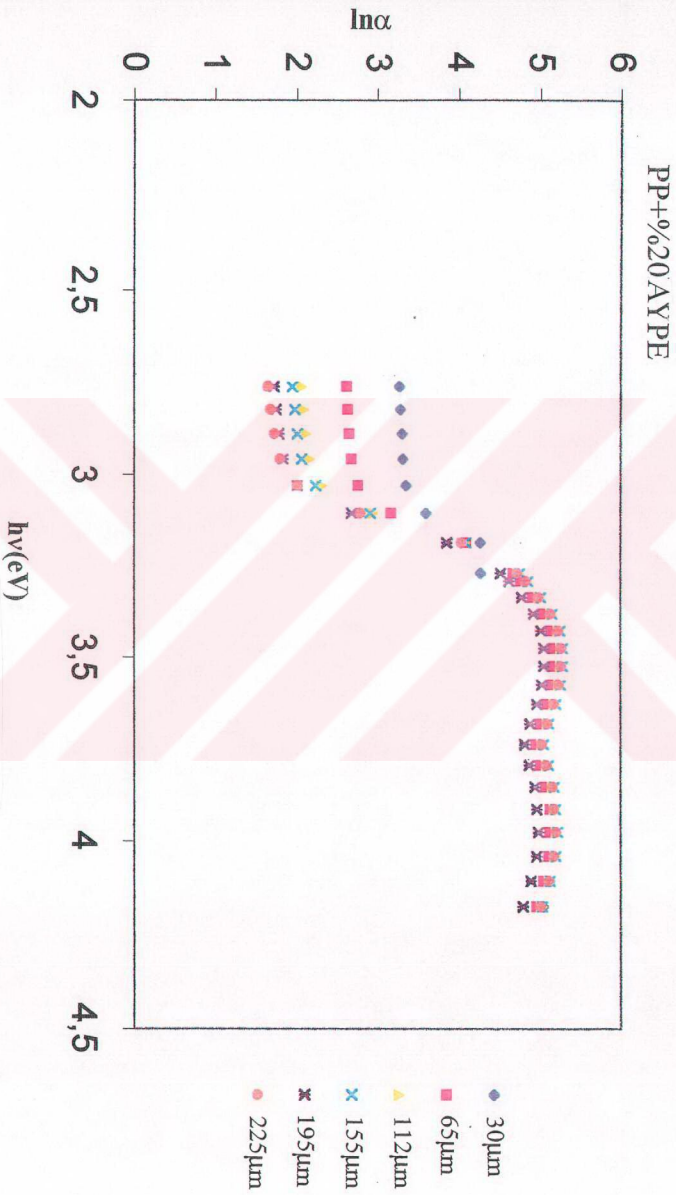
Şekil 7.4(c)



- ◆ 30 μm
- 65 μm
- ▲ 112 μm
- ×
- ×
- 225 μm

Farklı kalınlıklarda (30-225 μm) PP + % 20 AYPE örnekleri için $(\alpha h\nu)^{1/2} - h\nu$ grafiği

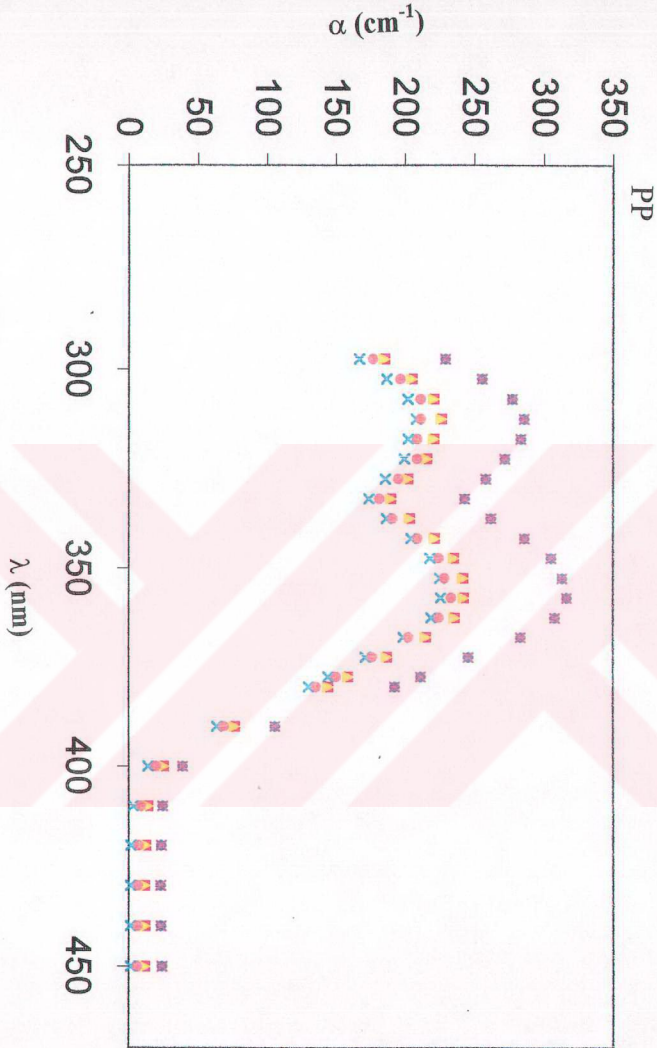
Şekil 7.4(d)



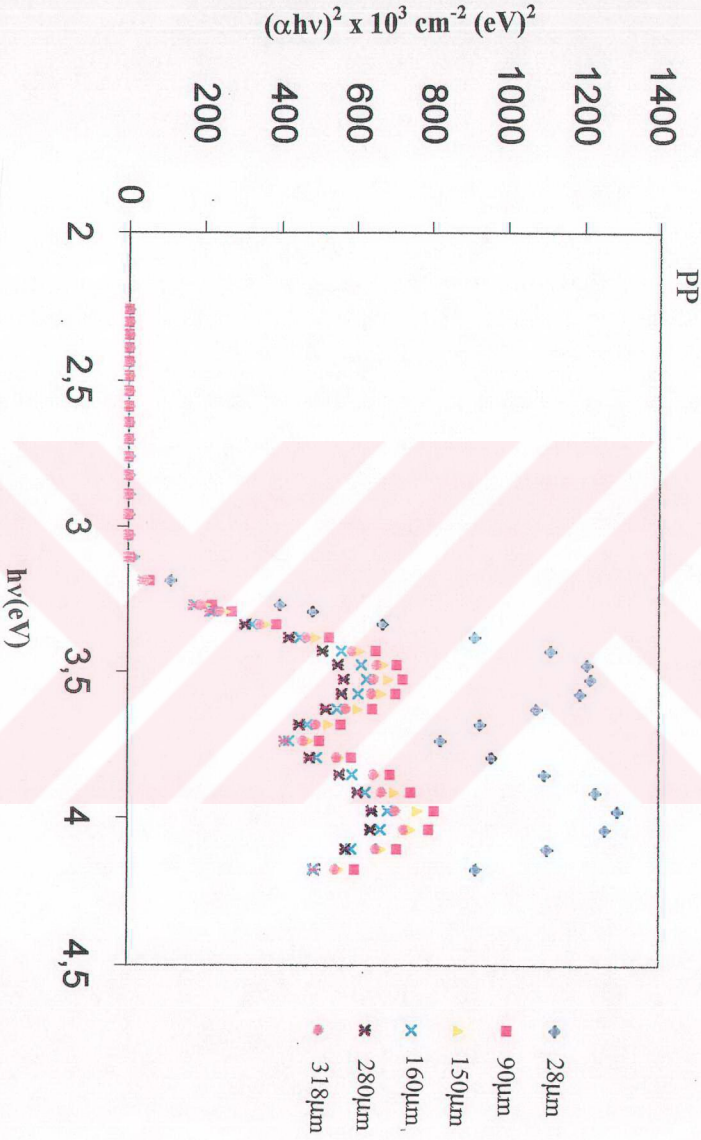
Farklı kalınlıklarda (30-225 µm) PP + %20 AYPE örnekleri için $\ell \propto \alpha$ - $h\nu$ grafiği

UV Bölgesinde

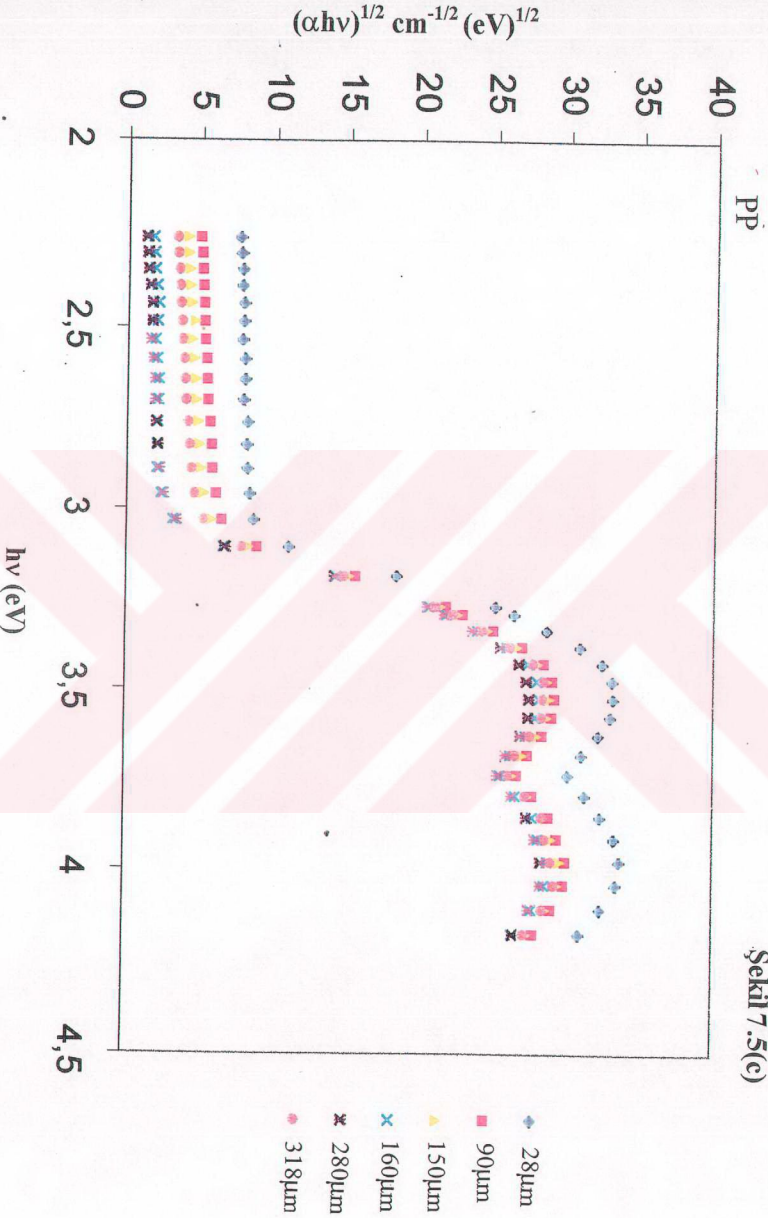
Şekil 7.5(a)



Farklı kalınlıklarda (28-318 μm) PP örnekleri için optik soğurma spektrumları

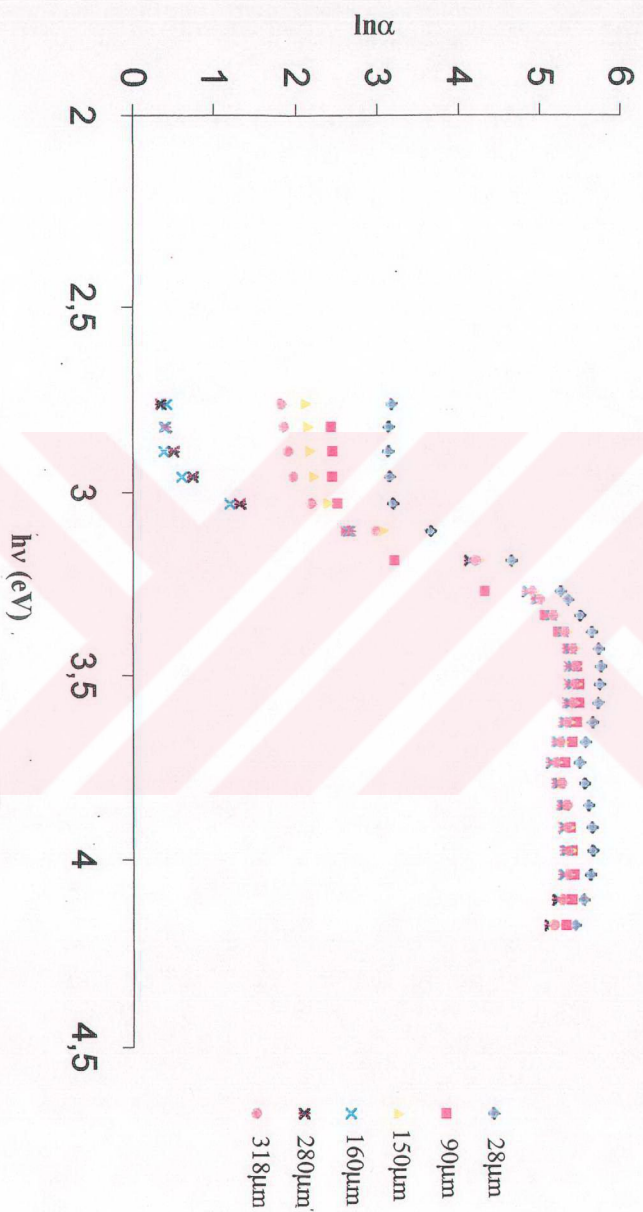


Farklı kalınlıklarda (28-318 µm) PP örnekleri için $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ grafiği



Şekil 7.5(d)

UV Bölgesinde



Farklı kalınlıklarda (28-318 μm) PP örnekleri için $\ell \alpha$ - $h\nu$ grafiği

KAYNAKLAR

Ashcroft, Neil W., (1976), "Solid State Physics", Saunders Publisling International Edition

Boydağ, F.Ş., Mamedov, Sh.V., Alekperov, V.A., Kandemir, G., (1999), "Astudy of the optical properties of polypropylene based polymer composite films", macromolecule symp. 146. 187-192, 1999.

Boydağ, F.Ş., Mamedov, Sh.V., Alekperov, V.A., Lenger, Y., (1998), "Optical Chacterization of Weakly Absorbing PP, PE and PP Based Polymer Composite Films", Turkish Physical Society, 17th Physics Conference, Alanya- Türkiye p.412.

Caferov T., (1998), "Yarıiletken Fiziği -I", Y.T.Ü. Fen – Edibiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Dunalp, P.N., (1991), "Applied Optics", Vol.30 No.13.

Hazer, B., (1993), "Polimer Teknolojisi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi

Hecht, E., (1999), "Hecht & Optik", Çeviri Editörleri; Armağan N., Can. N., Akademi Yayınları.

International Organization for standardization, (1987), "Glass in building – Determination of light Transmittance, direct solar transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance and related glazing factors", Draft International Standard ISO/DIS 9050.

Karabay (Ofłazer), I., (1993), Doktora Tezi, Y.T.Ü. F.B.E, yayınlanmamış.

Kittel, C., (1986), "Introduction to Solid State Physics", John Wiley & Sons.

Lenger (Özcanlı), Y., (2000), Doktora Tezi, Y.T.Ü. F.B.E, yayınlanmamış.

Mamedov, Sh.V, Polimer Fiziği Ders Notları, yayınlanmamış.

Mamedov, Sh.V, Alekperov, V.A., Lenger, Y., Ören, D., Abasov, S.A., Subaşı, M., Bayramova, R.L., (1999), "Comparison of Spectroscopic and Dynamical – Mechanical Characteristic of Some Polymer Composites on PP Base", Polymer Composites, 20,2 : 216-224.

Mamedov, Sh.V, Kovun, A., Varol, S., Alekperov, V., Lenger, Y., Öksüz, S. (1999), "The Effect of Polyolefins Molecule and Supermolecule Structures on Some Industrial Processes", Macromal Symp. 146, 163-169.

Mc Cluney, W.R., (1994), "Introduction to Radiometry and Photometry", Artech House Inc.

Meeten, G.H., (1989), "Optical Properties of Polymers", Elsevier Science Publishers Ltd.

Mott, N. F. Davis, E.A., (1979), "Electronic Processes In Non Crystalline Materials" Clarendon Press

Özil E., Sokullu Y., Tuğral V., (1983), "Introduction to Selective Surfaces and Radiative Property measurement Techniques", Tübitak Marmara Research Institute.

Pişkin, E., (1987), "Polimer Teknolojisine "Giriş", İnkılap Kitabevi

Ranby, B., Rabek, J.F., (1975), "Photodegradation, Photooxidation and Photostabilization of Polymers", A. Wiley – Interscience Publication

Schultz, J., (1974), "Polymer Materials Science", Prentice – Hall, Inc.

Shahada, L., Kassem, M. E., Abdelkader, H.L., Hassan, H.M. (1996), "Optical and Electrical Properties of a New Polymer, Properties of a New Polymer, J. Applied Polym, Sci 65: 1652-1657.

Solymar, L., Walsh, D., (1970), "Lectures on the electrical properties of materials", Clarendon Press. Oxford.

Tager, A., (1978), "Physical Chemistry of Polymers", English Translation, Mir Publishers,

Tobolsky, A.V. Mark, H.F., (1971), "Polymer Science and Materials, John Wiley & Sons.

Wen – Dar Ho and Chen – Chi M. Ma., (1998), "Diffuse Reflectance and Transmittance of IR Absorbing Polymer Films" Polymer Engineering and Science, Vol. 38. No.10 pp.1666-1674.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.05.1975	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Özel Tarhan Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen – Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Program
Çalıştığı kurum	2000 -	YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi