

55752

55752

SODALI CAMLARIN

ELEKTROMANYETİK RADYASYON KARSISINDAKİ DAVRANISI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fiz.Lis. Nilgün DOĞAN

Anabilim Dalı : NÜKLEER UYGULAMALAR

Programı : NÜKLEER ENERJİ

HAZİRAN 1996

SODALI CAMLARIN

ELEKTROMANYETİK RADYASYON KARSISINDAKİ DAVRANISI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fiz.Lis. Nilgün DOĞAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Mayıs 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 1996

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Ali Nezihi BİLGE

Prof.Dr. Hasbi YAVUZ

Beril 05.07.1996
Ali 5.07.96
Hasbi 05.07.1996

HAZİRAN 1996

ÖNSÖZ

Günümüzde en yaygın kullanımı olan cam çeşidi olan camların elektromagnetik radyasyon karşısındaki davranışına ilişkin toplu bir çalışmaya ve ayrıca yüksek dozda gama ışınlaması durumundaki soda camı renklenmesine ilişkin dökümanlara rastlanmamaktadır. Bu çalışmayla deneysel olarak konu incelenmeye çalışılmış ve sonuçları rasyonel olarak ortaya konması amaçlanmıştır.

I.T.U. Nükleer Enerji Enstitüsünde, bu tez çalışması sırasında her türlü maddi ve manevi yardımı esirgemeyen, Danışmanım, çok saygı değer Hocam, Sayın Prof.Dr. A. Beril Tugrul'a en derin saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, çalışmalarım sırasında, I.T.U. Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'nın çeşitli laboratuvarlarında yardımcı olan Araştırma Görevlileri Birsen Ayaz, Nesrin Altınsoy, Hakan ÖNAL ve Bilgisayardaki yardımlarında dolayı Özkan Feza Bicer 'e de teşekkürler ederim.

Topkapı Şişe Cam Fabrikaları Araştırma Merkezi'ndeki çalışmalarına büyük destek veren Cam Teknolojisi Bölüm Şefi Gülçin Albayrak'a, Prof.Dr. Hülya Demiryont'a ve Cam Teknolojisi Grubu'ndan Dr. Ömer Karabulut'a bu tez çalışmasında yapmış oldukları bütün maddi ve manevi yardımlardan dolayı teşekkürü büyük bir borç bilirim. Ayrıca, Topkapı Şişe Cam Fabrikaları Araştırma Merkezi Renk ve Spektrometri Laboratuvarlarında görevli olarak bulunan Araştırma Mühendislerinden Esra Akmoran, Fehiman Akmaz , Dadal Arıburnu , teknisyen Oktay Aydın ve kütüphane sorumlusu Semih İsevi'ye ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Cekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi (CNAEM) Sağlık Fizigi Bölümünde görevli olarak bulunan ve bana X-ışını ölçümlerinde yardım eden Doğan Yaşar ve Hasan Erez'e teşekkürler ederim.

Mayıs 1996

Nilgün DOĞAN

I C İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa No</u>
NOTASYON LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON	5
2.1. Radyasyonun Sınıflandırılması	5
2.1.1. Partiküller Radyasyon	6
2.1.2. Elektromanyetik Radyasyonlar	8
2.1.2.1. Radyo ve Radar Dalgaları	9
2.1.2.2. Kızılötesi (Infrared veya Enfrarouge) Işınlar	9
2.1.2.3. Görünür Işık	11
2.1.2.4. Morötesi (Ultraviyole) Işınlar	12
2.1.2.5. X-Işınları	14
2.1.2.6. Gama Işınları	14
2.2. Radyasyonun Madde İle Etkileşmesi	15
2.2.1. Alfa Partiküllerinin Madde İle Etkileşimi ..	15
2.2.2. Beta Partiküllerinin Madde İle Etkileşimi ..	17
2.2.3. Elektronların Madde İle Etkileşimi	18
2.2.4. Nötronların Madde İle Etkileşimi	18
2.2.5. Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi	19
2.2.5.1. Fotoelektrik Olay	20
2.2.5.2. Compton Saçılması	22
2.2.5.3. Çift Oluşumu	23
2.3. İyonizan ve İyonizan Olmayan Radyasyonlar ...	25
2.3.1. İyonizan Radyasyonlar	25
2.3.2. İyonizan Olmayan Radyasyonlar	26

BÖLÜM 3. CAM VE TANITIMI	27
3.1. Camların Teknolojideki Kullanımı ve Tarihçesi	27
3.2. Camın Eldesi	31
3.3. Camın Yapısı	37
3.4. Camı Oluşturan Bileşenler	38
3.4.1. Alkali Oksitler	42
3.4.2. Toprak Alkali Oksitler	45
3.4.3. Alüminyum ve Bor	46
3.4.4. Geçiş Elementleri	47
3.4.5. Nadir Toprak Elementleri	48
3.5. Cam Tipleri	49
3.5.1. Sodaalı Camlar	49
3.5.2. Borosilikat Camı	50
3.5.3. Kurşunlu Cam (Kristal Camı)	51
3.5.4. Silis Camı	51
3.5.5. Özel Camlar	51
BÖLÜM 4. CAMLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ÇEŞİTLİ ETKİLER ALTINDA DAVRANIŞLARI	53
4.1. Camın Fiziksel Özellikleri	53
4.1.1. Viskozite	53
4.1.2. Camın Isıl Özellikleri	55
4.1.2.1. Camda Isı Transferi	55
4.1.2.2. Camın Isıl Genleşmesi	55
4.1.3. Camın Yoğunluğu	56
4.1.4. Camın Homojenliği	58
4.2. Elektromanyetik Radyasyonun Cam Üzerine Etkisi	59
4.2.1. Camın Optik Özellikleri	60
4.2.1.1. Kırılma İndisi	60
4.2.1.2. Işığın Dispersiyonu	61

4.2.1.3. Işığın Söğurulması	63
4.2.1.4. Işığın Yansıtılması	64
4.2.1.5. Işığın Geçirgenliği	66
4.2.1.6. Işığın Saçılması	67
4.3. Camlarda Renk Özellikleri ve Renklenme Mekanizmaları	68
4.3.1. Camlarda Renklenme Mekanizmaları	69
4.3.1.1. Renk Odakları	69
4.3.1.2. Geçiş Elementleri	69
4.3.1.3. Nadir Toprak Elementleri	70
4.3.2. Metal Parçacıkları ve Plasma Rezonans Söğurması	71
4.3.3. Işığın ve Rengin Ölçülmesi	72
4.3.4. Renksizleştirme	74
4.4. Camlar İçin Geçirgenlik Yansıtma ve Söğurma Hesaplaması	76
4.4.1. Işık Geçirgenliği	76
4.4.2. Işık Yansıtması	78
4.4.3. Toplam söğurma Enerji Geçirgenliği (Solar Faktör yada Katsayısı)	79
4.4.3.1. Direkt Solar Geçirgenlik	79
4.4.3.2. Doğrudan Solar (Güneş Işını) Yansıtması ..	81
4.4.3.3. Doğrudan Solar (Güneş Işını) Söğurması ...	82
4.4.4. Ultraviyole Geçirgenliği	84
4.4.5. Spektral Geçirgenliğin (Transmisyonun) Ölçülmesi	85
BÖLÜM 5. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	87
5.1. Deney İçin Hazırlanan Camlar	88
5.2. Renksiz Sodali Camlar İle Yapılan Deneysel Çalışmalar	89

5.2.1. Spektrofotometreyle Yapılan Deneysel Çalışmalar	89
5.2.2. Ultraviyole (Morötesi) Işınlarla Yapılan Deneysel Çalışmalar	95
5.2.3. X-Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar ..	100
5.2.4. Gama Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar	103
5.3. Sodalı Camların Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Yüksek Dozda Işınlanması Halindeki Davranışları	106
5.3.1. Renk Haritaları	108
5.3.2. Spektrofotometreyle Yapılan Deneysel Çalışmalar	114
5.3.3. Ultraviyole (Morötesi) Işınlarla Yapılan Deneysel Çalışmalar	137
5.3.4. X-Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar ..	141
5.3.5. Gama Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar	143
5.4. Yüksek Dozda Işınlanan Sodalı Camların Renklenmesinin Açıklanması	148

BÖLÜM 6. SONUÇ VE YORUM	162
KAYNAKLAR.....	165
ÖZGEÇMİŞ.....	169

NOTASYON LİSTESİ

A_e	: Direkt solar absorbsiyon
BE	: Atılan elektronun bağlanma enerjisi
c	: Renk verici konsantrasyonu
D_{65}	: CEN tanımına göre standart aydınlatma
D_λ	: D_{65} aydınlatmasına göre spektral dağılım
E	: Gelen fotonun enerjisi
E'	: Saçılan fotonun enerjisi
E_e	: Fotoelektronun enerjisi
E_γ	: Sogurulan gama ışınının enerjisi
g	: Toplam solar geçirgenlik
h_e	: Dış yüzey için camın ısı transfer katsayısı
h_i	: İç yüzey için camın ısı transfer katsayısı
I	: Geçen ışın şiddeti
I'	: Gelen ışığın geçirilme oranı
I_o	: Gelen ışın şiddeti
$I_\gamma(\lambda)$	: Gelen spektral gama ışını şiddeti
q_i	: İkincil ısı transfer katsayısı
R	: Gelen ışığın yansıtılma oranı
R_e	: Camın direkt solar yansıtması
$R(\lambda)$	: Camın spektral yansıtması
R_v	: Camın ışık yansıtması
S	: Saçılma oranı
$S(\lambda)$	: Solar radyasyonun göreceli spektral dağılımı
T	: Geçirgenlik
$T(\lambda)$	: Camın spektral geçirgenliği
T_e	: Direkt solar geçirgenlik
T_i	: İzafi geçirgenlik
T_v	: Işık geçirgenliği
T_{uv}	: UV geçirgenliği

- U_{λ} : Solar radyasyon içinde UV'nin göreceli spektral dağılımı
 V_{λ} : Fotometride tanımlanan gözlemcinin görünür fotokopik için spektral lüminesans verimi
 $\Delta\lambda$: Dalgaboyu aralığı
 ϵ_1 : Cam için düzeltilmiş emissivite
 η : Kırılma indisi
 λ : Dalgaboyu
 μ : Soğurma katsayısı
 $\mu(\lambda)$: Spektral soğurma katsayısı
 θ : Sapma açısı
 τ : Gelen ışığın soğurulma oranı

SEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Sekil: 2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ailesi	8
Sekil: 2.2. Görünür Işık Tayfı	11
Sekil: 2.3. Alfa Parçacıkları İçin Bragg Eğrisi	16
Sekil: 2.4. Elektromanyetik Radyasyonun Madde İçinde Sogurulması	19
Sekil: 2.5. Fotoelektrik Olay	21
Sekil: 2.6. Compton Saçılması	22
Sekil: 2.7. Çift Oluşumu	24
Sekil: 3.1. Kristal Yapı (a) ve Düzensiz Yapı (d)	31
Sekil: 3.2. Zachariasen'in Camlaşma Kurallarının Şematik Gösterilişi	35
Sekil: 3.3. Periyodik Sistem	43
Sekil: 4.1. Işığın Dispersiyonu	62
Sekil: 4.2. Işığın Madde Tarafından Sogurulması Mekanizmaları	63
Sekil: 4.3. Işığın Saydam Bir Yüzeyden Yansıması	65
Sekil: 4.4. Işığın Saçılması	67
Sekil: 5.1. Çalışılan Sodali Camlar	89
Sekil: 5.2. Çalışılan Spektrofotometre	90
Sekil: 5.3. Renksiz 3 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	92
Sekil: 5.4. Renksiz 10 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	93
Sekil: 5.5. Renksiz 3 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	94

Sekil: 5.6. Renksiz 10 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	95
Sekil: 5.7. Siyah Lamba UV Radyasyon Sıddetinin Uzaklıkla Değişimi	98
Sekil: 5.8. Güneş Lambası (Sun Lamp) İle UV Radyasyon Sıddetinin Uzaklıkla Değişimi	99
Sekil: 5.9. Renksiz 3 mm'lik camın X-ışını Sogurması .	101
Sekil: 5.10. Renksiz 10 mm'lik camın X-ışını Sogurması .	102
Sekil: 5.11. Gama Ölçüm Sistemi	103
Sekil: 5.12. Farklı Gama Kaynakları İçin Sodalı Camların Cam Kalınlığına Bağlı Olarak Geçirgenlikleri	105
Sekil: 5.13. Işınlama Geometrisi	107
Sekil: 5.14. Renklenen Soda Camları	107
Sekil: 5.15. Genel Renk Diyagramı	110
Sekil: 5.16. Renklenmiş Soda Camlarının Renk Haritasındaki Yerleri	111
Sekil: 5.17. Renklenmiş Soda Camlarının Renk Haritasındaki Yerleri	112
Sekil: 5.18. 3 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	115
Sekil: 5.19. 3 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	116
Sekil: 5.20. 3 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	117
Sekil: 5.21. 3 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	118
Sekil: 5.22. 10 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	119
Sekil: 5.23. 10 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 Rad Doz Almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	120

Sekil: 5.24.	10 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	121
Sekil: 5.25.	10 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği	122
Sekil: 5.26.	3 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	123
Sekil: 5.27.	3 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	124
Sekil: 5.28.	3 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	125
Sekil: 5.29.	3 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	126
Sekil: 5.30.	10 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	127
Sekil: 5.31.	10 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	128
Sekil: 5.32.	10 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	129
Sekil: 5.33.	10 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 Rad Doz Almış Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı	130
Sekil: 5.34.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Görünür Işık Geçirgenliği	131
Sekil: 5.35.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Geçirgenlik	132
Sekil: 5.36.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak UV Geçirgenliği	133

Sekil: 5.37.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Grtnr Işığ Yansıtıcılığı	134
Sekil: 5.38.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Yansıtıcılığı	135
Sekil: 5.39.	Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Soğurma	136
Sekil: 5.40.	Işınlanmış Camlar İçin Siyah Lamba UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği ...	139
Sekil: 5.41.	Işınlanmış Camlar İçin Güneş Lambası (Sun Lamp) UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği	140
Sekil: 5.42.	Alınan Doza Bağlı Olarak X-ışını Soğurması	142
Sekil: 5.43.	0.998×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği	144
Sekil: 5.44.	1.437×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği	145
Sekil: 5.45.	2.246×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği	146
Sekil: 5.46.	6.568×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği	147
Sekil: 5.47.	3 mm Kalınlılığındaki Doz Almamış Camın, Demir Soğurma Grafiği	150
Sekil: 5.48.	3 mm Kalınlılığındaki, 0.998×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği	151
Sekil: 5.49.	3 mm Kalınlılığındaki, 1.437×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği	152
Sekil: 5.50.	3 mm Kalınlılığındaki, 2.246×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği	153
Sekil: 5.51.	3 mm Kalınlılığındaki, 4.568×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği	154
Sekil: 5.52.	3 mm Kalınlılığında Doz Almış ve Almamış Camıların Soğurma Grafiğikleri	155
Sekil: 5.53.	10 mm Kalınlılığındaki Doz Almamış Camın, Demir Soğurma Grafiği	156

Sekil: 5.54: 10 mm Kalınlığındaki, 0.998×10^5 rad Doz Almış	
Camın Demir Sogurma Grafiği	157
Sekil: 5.55: 10 mm Kalınlığındaki, 1.437×10^5 rad Doz Almış	
Camın Demir Sogurma Grafiği	158
Sekil: 5.56: 10 mm Kalınlığındaki, 2.246×10^5 rad Doz Almış	
Camın Demir Sogurma Grafiği	159
Sekil: 5.57: 10 mm Kalınlığındaki, 4.568×10^5 rad Doz Almış	
Camın Demir Sogurma Grafiği	160
Sekil: 5.58. 10 mm Kalınlığında Doz Almış ve Almamış	
Camların Sogurma Grafikleri	161



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo: 3.1. En Çok Kullanılan Sodalı Camların Kimyasal Bileşimi	50
Tablo: 4.1. 10 nm'lik Dalgaboyu Aralıkları İçin $D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda$ Değerleri	77
Tablo: 4.2. Doğrudan Solar Geçirgenliğin Hesaplanmasında Kullanılan $S_{\lambda} \Delta\lambda$ Değerleri	80
Tablo: 4.3. UV Geçirgenliğinin Hesaplanmasında Kullanılan $U_{\lambda} \Delta\lambda$ Değerleri	84
Tablo: 5.1. Çalışılan Camların Kimyasal Bileşimleri	88
Tablo: 5.2. Renksiz Camlar İçin Spektrofotometre Elde Edilen Sonuçlar	91
Tablo: 5.3. Renksiz Camların UV Geçirgenlikleri	97
Tablo: 5.4. Sodalı Camlarının 20-70 kV'lık Enerjiler Arasındaki X-ışını Yutma Oranları	100
Tablo: 5.5. Sodalı Camların Co-60 Gama Işınlarına İlişkin Geçirgenlikleri	104
Tablo: 5.6. Farklı Gama Aktif Radyoizotop Kaynaklarla Elde Edilen Sonuçlar	104
Tablo: 5.7. Sodalı Camların Co-60 Radyoizotopu İle Işınlama Dozları	108
Tablo: 5.8. Işınlanmış 3 mm Kalınlığındaki Camların Parlaklık (%Y), Saflık (%P), Başat Dalgaboyu (λ_d -nm) ve Gölgeleme Katsayıları	113

Tablo: 5.9.	Işınlanmış 10 mm Kalınlığındaki Camların Parlaklık (%Y), Saflık (%P), Basat Dalgaboyu (λ_d -nm) ve Gölgeleme Katsayıları	113
Tablo: 5.10.	Renklenmiş 3 mm'lik Camlar İçin Spektrofotometreyle Elde Edilen Sonuçlar	114
Tablo: 5.11.	Renklenmiş 10 mm'lik Camlar İçin Spektrofotometreyle Elde Edilen Sonuçlar	137
Tablo: 5.12.	Işınlanmış Camlar İçin Siyah Lamba UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği ...	138
Tablo: 5.13.	Işınlanmış Camlar İçin Güneş Lambası (Sun Lamp) UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği	138
Tablo: 5.14.	Renklendirilmiş Camların 30 kV X-ışınını Yutma Oranı	141
Tablo: 5.15.	Işınlanmış Camların Çeşitli Gama Radyoizotopları İçin Geçirgenlikleri	143
Tablo: 5.16.	Alınan Doza Bağlı Olarak Belirlenen Renk Verici Konsantrasyon	149

ÖZET

Yaygın kullanımı olan cam türlerinden biri olan soda camlarının elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışı bu çalışmayla incelenmeye çalışılmıştır. Burada soda camı olarak nitelenen ve üzerinde çalışılan camların kimyasal bileşimi esas itibarıyla SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O ve SO_3 içermektedir. Bu camlar Topkapı Şişe Cam Fabrikası'ndan kimyasal analizleri yapılmış, birbirinin aynı ve fakat farklı kalınlıklarda $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 'lik camlar olarak özel şekilde temin edilmişlerdir.

Elektromanyetik radyasyon karşısında soda camlarının davranışları, elektromanyetik radyasyonun tipine bağlı olarak farklı olabilmektedir. Burada elektromanyetik radyasyon olarak kızılötesi, görünür ışık, morötesi, X-ışınları, gama ışınları ile çalışılmıştır. Bir başka deyişle, radyo dalgaları dışında tüm elektromanyetik radyasyon ailesine mensup ışınlar karşı soda camlarının bu ışınları geçirgenlikleri ve yansıtımları ayrı ayrı tesbit edilmiş ve absorbsiyon oranları tayin edilmiştir.

Ayrıca, yüksek dozda radyasyonun camlarda meydana getirdiği değişimler tesbit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, sodalı camlar, Co-60 radyoizotop kaynağı kullanılarak farklı dozlarda ışınlanmışlar ve görsel olarak da rahatlıkla gözlenebilen renklenme meydana geldiği tesbit edilmiştir. Söz konusu bu renklemdirilmiş camlar spektrofotometre yardımı ile incelenerek, farklılıklarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Böylelikle, pencere camından, ayna ve şişe camına kadar farklı amaçlarla, yaygın kullanımı olan ve ülkemiz mamulü soda camlarının elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışı rasyonel şekilde ve mukayeseli olarak incelenmiştir.

BEHAVIOUR OF SODA GLASSES AGAINST THE ELECTROMAGNETIC RADIATION

SUMMARY

Glass is one of man's most valuable and versatile materials. Glass technology has advanced a great deal in the last fifty years. One of the earliest developments was air tempering to improve strength. Some standard tempered products are strong enough to withstand severe abuse.

Glass formers are those elements such as silicon, boron, phosphorus, and arsenic that can be converted into glass when combined with oxygen, sulfur, tellurium or selenium. In the liquid state, the silicon-oxygen bond is very strong so that a high activation energy is necessary to break the bond.

The molecular arrangement is conducive to formation of an intricate three-dimensional network of oxygen tetrahedra with a silicon atom in the middle bonded to each oxygen atom. Common glasses contain about 70 % SiO_2 .

About 700 different glass compositions are in commercial use, but they can be classified in six main groups;

- Soda glasses
- Borosilicate glasses
- Lead glasses
- Wire glasses
- Special glasses

Most wide versetile glass is soda glasses that are used in different areas widespread. Sodium carbonate, or soda ash, decomposes to sodium oxide as the batch of raw material melts. Consequently, it acts as a flux. The carbon dioxide given off helps to stir the batch.

The oxide lowers the melting point and the viscosity of the formed glass at any given temperature. This occurs as a result of the substitution of nondirectional silicon-oxygen bond in the molecular network.

Limestone and dolomite act similar to soda ash, but are used to make the glass more inert to water and to add other desirable properties. Other oxides, chiefly aluminium, lead and cadmium, act as stabilizers. They are used for increasing the strength of the glass and increasing resistance to chemical attack.

Sodium or barium sulfate may be added to enhance the removal of fine particles of uncombined silica which may form a scum. Various iron compounds, chromium compounds, carbon and/or sulfur are used as coloring agents.

Soda-lime-silica glass of ordinary composition containing a small concentration of reducing ions at least in surface layers thereof and having no visible coloration are given a yellow coloration by diffusing a substance into such surface layers from contacting medium. That are composed of a mixture of metal salts containing between 0.01 and 3 % by weight of a silver salt furnishing reducible silver metal ions capable of being reduced by the reducing ions in the glass in such a manner as to give the glass a yellow coloration.

The process can be employed not only for coloring initially colorless glass but also for modifying the color of a glass body which has already been given some coloration. The modification of the coloration can result in a modification in the existing color, or tint, or can simply reinforce the existing color, or render the existing color, or tint, more intense, or darker.

Glass containing more than 0.05 % of nickel oxide, cobalt oxide, copper oxide, silver oxide or the like as a principal colorant is formed into flat glass by cooling it from a molten state while supporting it on molten metal in enclosed chamber containing sufficient oxygen to substantially prevent the formation of a visually observable metal-containing material on the surfaces of the glass being formed.

The metal oxides employed as principle colorants are sufficiently reducible to form free metal. The metal oxides are primarily those which have favored monoxide forms.

The colors range from light yellow through brownish green to chocolate and reddish brown. All these colors, in addition to being distinct, are ultraviolet absorbing colors. Glass melts were made where the hexavalent chrome levels ranged from 0.055 to 0.10 wt % and the manganese oxide levels extended from 0.10 to 0.15 wt %. The colors produced ranged from greenish brown to reddish brown.

The fact that the specific volume of glass is approximately an additive property of its constituent oxides has long been recognized within a narrow composition range. Calculation of density by means of additive factors often gave a fair approximation to the correct value.

Today, there are different types of glass but in this study, investigation have been done on a common type soda glass that consists of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O and SO_3 . Glasses have been supplied from Topkapi Şişe Cam Factory in different thickness but in the same chemical compound and they are cutting as square shape in $5 \times 5 \text{ cm}^2$ dimensions.

In the other hand, electromagnetic radiation, of the same physical nature as visible light, radiowaves, etc., but which have a wavelength which allows them to penetrate all materials with partial absorption during transmission. They travel in straight lines outwards from a source.

Energetic gamma rays can be effected on glass and caused changing the colors of it. In this study Co-60 radioisotope which has 1.17 MeV and 1.33 MeV gamma energy peaks, have been used for experiments as a exposing source.

After the exposure with the different dose levels, the color of the glasses turn to brown according to doses. For all the glasses, transmission and reflection rates for visual and solar light have been measured by using spectrophotometer between 185 nm - 2500 nm and absorption rates can be determined.

Some different measurements have been also done related to determination of transmission for ultraviolet rays, X-rays and gamma rays. In here, three different ultraviolet sources as black lamp, sun lamp and far lamp, and a spesial UV sensor are used for measurement of transmission.

An X-ray tube is used as a source, and transmission is measured according to energy ranges between 18-70 KeV. After that absobant ratio is calculated for the soda glasses.

Seven different gamma radioisotopes that are Co-57, Co-60, Cs-137, Ba-133, Na-22, Cd-109 and Mn-54 are used as a source, and a scintillation detector with multichannel analyzer counting system used for measurements.

In the result of the study; after high level gamma ray exposing which caused the change in the color of the glasses, are observed and differences according to each other are determined by measurements of transmission rate of electromagnetic radiation.



BÖLÜM: 1

GİRİS

Enerji uzayda veya maddesel bir ortam içinde emisyonla uğrayarak yayılabilir. Dalga tabiatına uygun olarak veya partikül akımı ile bir ortama veya maddeye enerji transmisyonuna ise "radyasyon" adı verilir Tugrul, (1992).

Burada enerji, elektromanyetik dalgalar yada elastik dalgalar şeklindedir. Ancak, radyasyon, ya da radiant enerji terimi açıklanmamış ise bu, genellikle elektromanyetik radyasyonu ifade eder. Elektromanyetik radyasyonlar ise frekanslarına göre radyo dalgaları, kızılötesi (infrared), görünür ışık, morötesi (ultraviolet), X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar şeklinde sınıflandırılırlar.

Elektromanyetik dalgalar boşlukta 300000 km/sn'lik bir hızla yayılmakta olup, bir elektromanyetik dalga, titreşim yapan bir elektrik alan ile, aynı şekilde fakat buna dik olarak titreşen bir manyetik alandan ibarettir. Bunlardan birinin var olması diğerinin varlığına bağlıdır. Her iki bileşen boşlukta eşit frekans ve eşit fazda titreşirler. Bir başka deyişle, elektromanyetik radyasyonun iki bileşeni olan elektrik ve manyetik alan aynı hıza sahip olmakla beraber, bunların titreşim doğrultuları birbirine diktir.

Elektromanyetik radyasyonun malzemeye etkileşmesi, frekansına bağlı olarak farklı şekillerde olabilmektedir. Esas itibariyle, elektromanyetik radyasyonun kendi içinde sınıflandırılması, madde ile etkileşimine göre yapılmaktadır McMaster, (1963).

İnsanoğlunun beş duyusundan biri olan gözü ile algılayabildiği elektromanyetik radyasyon aralığı olan görünür ışık ise, günlük yaşantımız açısından büyük önem arz etmektedir. Görünür ışık, birçok malzemeden yansımakta ve onlara nüfuz edememektedir. Bu tip malzemeler "opak malzeme" olarak nitelenmektedir. Görünür ışığın "bir miktar" geçebildiği malzemeler veya cisimler "yarı opak" veya "yarı saydam", nüfuz edip, geçebildikleri ise "saydam" olarak nitelenmektedir.

Malzemeleri önemli bir kısmı opakdır. Bir başka deyişle, saydam cisimler, opak cisimlere göre hayli azınlıktadır. Bununla beraber, teknolojiye ve günlük hayatımızda saydam malzemelerin kullanılması gerekli olduğu veya tercih edildiği durumlar söz konusudur. İşte bu durumlarda çoğu kez kullanılan ve tercih edilen saydam bir malzeme "cam"dır.

Öte yandan, cam; hakkında hayli az bilgiye sahip olduğumuz malzemelerden biridir. Cam, kronolojik olarak, birçok metal ve polimerden çok önce kullanılmaya başlanmış olmasına karşın, yapısı ve özellikleri yeni anlaşılmaya başlanmış bir malzemedir. Yapılan araştırmalardan öyle anlaşılmaktadır ki; gelişen teknolojiyle bu bilgilerin daha da arttırılması veya pekiştirilmesi mümkündür.

İlk obsidyen (doğal cam) nesneler, doğa şartlarında M.Ö. 75.000'lerde oluşmuş, insan yapısı cam ise ilk olarak yaklaşık onbin yıl kadar önce Mezapotamya'da yapılmıştır. M.Ö.II. Yüzyılda ise bugünkü Suriye'de cam üfleme tekniği keşfedilerek geliştirilmiş ve cam günlük yaşantımıza böylece girmiştir

Cam tekniği ile ilgili kronolojik gelişmeler çerçevesinde kapalı kaplara ilişkin olarak şekil vermede iç kalıp tekniği geliştirilmiştir Atik, (1988). Daha sonra cam applike sanatında da gelişmeler olmuştur Tuğrul ve Atik (1989).

Bu tarihten sonra, cam insanlık medeniyet tarihinde önemli yerin almış ve uygarlıkların tercih ederek kullandıkları bir malzeme haline gelmiştir. Romalılar ve Bizanslılar döneminde de cam, kullanımda yerini önemle almış ve korumuştur Lightfoot, (1988); Eyice, (1988).

Bununla beraber, cam üzerinde yapılan bilimsel ve deneysel çalışmalara önem verilmeye başlanması sadece yarım yüzyıl öncesine rastlamaktadır. Söz konusu bu deneysel araştırmalar sayesinde cam teknolojisinde hızlı gelişmeler meydana gelmiştir. Cam üzerinde çok farklı tekniklerle çalışılmıştır Tuğrul, (1988).

Görüntür ışık ve bunun uzantısında elektromanyetik radyasyonun cam ile etkileşimi kimi şartlarda benzer olabilmekle beraber, farklı sonuçlar ve durumlar da meydana gelebilmektedir. Bu husus; günlük yaşantımızda, pencere camından, mutfak eşyası ve süs eşyasına kadar farklı kullanımı olan cam için de önem taşımaktadır.

Yaygın kullanılan cam tiplerinde biri "soda camları"dır Doğan ve Tuğrul (1995). Bu tip camlar, penecere camından, monitör camına kadar çok farklı amaçlarla kullanılabilirler.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, günlük yaşamımızda çok kullandığımız ve "soda camı" olarak nitelenen camların farklı elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışları ve bu davranışların değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, iki farklı kalınlıktaki sodalı camlar 5 cm x 5 cm boyutlarda temin edilmiş ve deneysel olarak elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışlarının tesbiti hedeflenmiştir. Farklı deneysel şartlarda ve farklı sayım sistemleri ile sonuçların alınması çok sayıda deneyin yapılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan çok sayıdaki deneyle, kızılötesi, görünür ışık, morötesi, X-ışınları ve gama ışınları karşısında soda camlarının davranışları rasyonel şekilde incelenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM: 2

RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON

Radyoaktivite; bazı malzemelerin, kendiliğinden veya bazı etkiler altında ya da bu etkileri aldıktan sonra foton veya bazı partikülleri atmasıdır. Bu tip maddelere "radyoaktif madde" adı verilmektedir ASME (1963).

Doğada bulunan radyoaktif maddeler "doğal radyoaktif maddeler", olarak anılmaktadırlar. Doğada bulunmayan, ancak farklı şartlar altında, örneğin; nükleer reaktörlerde radyoaktif hale getirilen maddelere ise "yapay radyoaktif maddeler" denmektedir. Tüm radyoaktif maddeler radyasyon yayarlar, ancak bu radyasyonlar farklı tipte olabilmektedirler.

2.1. RADYASYONUN SINIFLANDIRILMASI

Radyasyon, başlıca iki gruba ayırılmalarıyla incelenebilir. Bunlar; partiküller radyasyon ve elektromanyetik radyasyondur.

2.1.1. Partiküler Radyasyonlar

Beta partikülleri, protonlar, nötronlar, alfa partikülleri, dötronlar, ağır yüklü parçacıklar ve mesonlar gibi radyasyon tipleri "partiküler radyasyon" adını alır.

Alfa Partikülleri

İki proton ve iki nötrondan oluşan partiküllerdir. Alfa partikülleri, bir helyum atomunun çekirdeğinin yapısındadır. Bunlar, yapılarında bulunan protonlar nedeniyle (+) yüklü olup, ağır partiküllerdir. Doğal radyoaktif elemanlar arasında, alfa ışını yayınlayan birçok element bulunmaktadır.

Beta Partikülleri

Beta partikülleri yapı ve özellik olarak elektrtonlara benzerler. Ancak bunlar, atom çekirdeğinde oluşan partiküllerdir. Çekirdekte normal koşullarda elektron bulunmaz. Radyoaktif bir çekirdeğin kararlı hale geçmesi sırasında çekirdek içinde bir elektron oluşabilir ve bu elektron çekirdekten bir β partikülü olarak dışarı atılır. Bir başka deyişle, çekirdekteki bir nötron bir protona dönüşürse bu reaksiyon sonucunda (-) yüklü bir β partikülü oluşur. Oluşan bu β^- partikülü, hızla hareket eden serbest bir elektron gibi düşünülebilir. β partikülü denilince (-) yüklü ve elektron tabiatında bir partikül akla gelir.

Bazen de çekirdekte bu olayın tersi meydana gelir. Bu durumda bir proton bir nötrona dönüşür. Böylece bir β partikülü oluşur. Ancak bunun elektriksel yükü ise (+)'dır ve β^+ partikülü ya da pozitron adı verilir.

Dötoronlar

Dötoronlar hidrojenin iki numaralı izotopu olan döterium çekirdeğinden ibarettir.

Protonlar

Atom çekirdeğinin yapısında bulunan (+) yüklü partiküllerdir ve kütleleri elektronların kütlelerinin yaklaşık 2000 katı kadardır.

Nötronlar

Atom çekirdeğinin yapısında bulunan yüksüz partiküllerdir. Kütleleri, yaklaşık olarak protonların kütleleri kadardır.

Ağır Yüklü Parçacıklar

Elektronlarını kaybetmiş azot, karbon, bor, neon ya da argon gibi elementlerin atom çekirdekleridir. Hepsi de elektronlarını kaybetmiş olduklarından (+) yüklüdürler.

Mesonlar

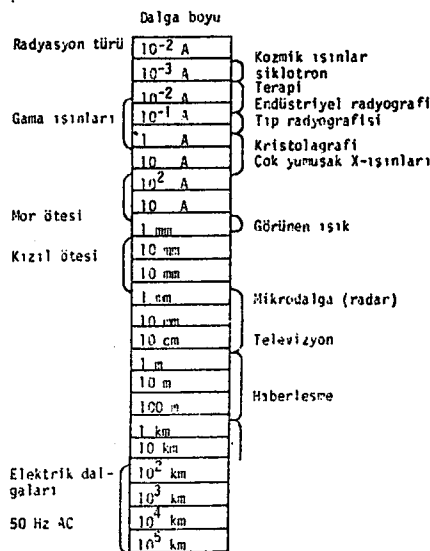
Kütlesi elektronun kütlesinin bir kaç yüz misli olan negatif, pozitif ya da yüksüz, ve genellikle kısa yarı-ömürlü partiküllerdir.

2.1.2. ELEKTROMANYETİK RADYASYONLAR

Elektromanyetik radyasyon ışık hızı ile hareket eden ve dalga mekaniğine uyan enerji paketçiklerdir. Elektromanyetik dalgalar, taneciklermiş gibi davranırlar. Burada enerjinin süreksiz yani kesikli ve ancak ϵ gibi çok küçük bir değerin (bir enerji kuantumunun) tam katları şeklinde soğurulup yayınlanabildiği kabul edilir.

Einstein, ν frekansına sahip monokromatik bir ışık hüzmesinin, (h :Planck sabiti olmak üzere) $h\nu$ enerjili ışık kuantumlarından oluştuğunu belirtmiştir. Başka bir deyimle, ışık; taneciksiz yapıdaki fotonlardan oluşmuş olup, bu fotonlar ışık hızıyla hareket etmektedirler Özemre, (1983).

Radyo dalgaları, radar, kızılötesi (infrared) , görüntür ışık ve morötesi (ultraviyole), X-ışınları ve gama ışınları, elektromanyetik radyasyon tipleridir. Bunların aralarındaki fark ise dalga boylarının ve frekanslarının birbirinden farklı olmasıdır. Şekil: 2.1'de elektromanyetik radyasyon ailesi görülmektedir.



Şekil: 2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ailesi

2.1.2.1. Radyo ve Radar Dalgaları

Dalga boyları büyük olan elektromanyetik radyasyon grubudurlar ve radar dalgalarının dalga boyları 12-69 cm arasındadır. Ultrakurtz Welle grubuna giren dalgalardır. Bunlar; çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların bir çeşididir.

Radar dalgaları, hava ile soğutulan ve sönümsüz titreşim veren Magnetron tüplerinden elde edilir. Radar dalgaları daha çok havacılık ve askerlik sahasında kullanılmakla beraber, biyolojik çalışmalarda da önem kazanmıştır. En fazla absorblandığı doku, sıvı fazı olan bölgelerdir. Bu nedenle, gözde katarakt yapabilmektedir. Radar uygulanan dokularda 2-3°C kadar ısı artışı olmaktadır. Böylece o bölgede dolaşım hızı artmaktadır. Önemli dokulara, ascites ve transudat gibi su toplamış bölgelere ıslak kompres veya alçılı kısımlar ile göze radar dalgaları uygulanmamalıdır.

2.1.2.2. Kızılötesi (Infrared veya Enfrarouge) Işınlr

Dalga boyları 7600 - 150.000 Å arasında olan elektromanyetik ışınlardır. Isınan her cisimden kızılötesi ışınları yayınlanır. Cismin ısınma derecesine göre, saçılan Kızılötesi ışın çeşidi değişiktir. Örneğin; bir demir parçasının henüz ısındığı fakat kızarmamış olduğu zamanda yayınladığı ışınlara "uzak infrared" denir ve bunlar gözle görülmezler. Uzaktan sıcaklık hissi ile fark edilebilirler. Dalga boyları 150.000 Å civarındadır.

Saçdan yapılmış odun sobalarında ya da fazlaca ısıtılan demir parçalarında görüldüğü gibi demir kızarır ve daha sonra akkor haline gelir. Kızarma'nın artış oranına göre ve sırası ile yayınlanan ışınlar isimlerine göre önce dalga boyu 7600 Å° olan "yakın infrared" ve zamanla başta kırmızı turuncu-sarı renkteki ışıklar olmak üzere demirin akkor haline gelişini takiben görülen ışınların tamamı ve dolayısıyla mor renk görünür ışık bölgesinden ve hatta bir miktar UV dahi yayınlanabilir. Bundan çıkarılan sonuç şudur. Bir cisim ne kadar fazla ısınır o kadar bol kısa dalgalı ışınlar yayınlamaktadır.

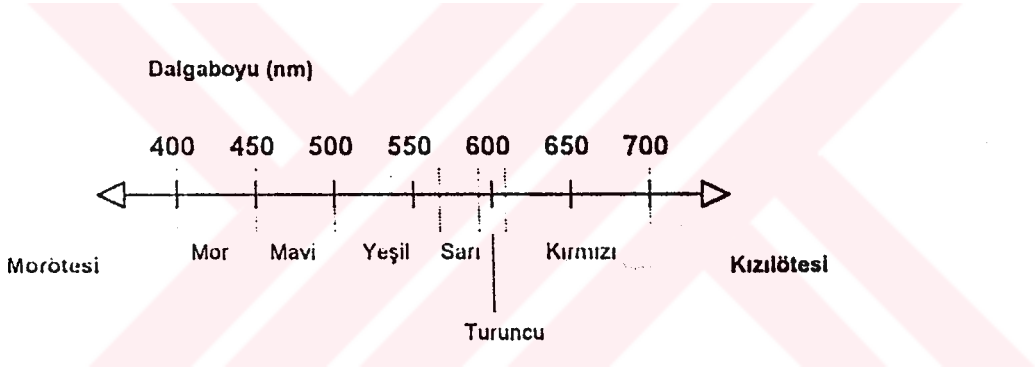
Kızılötesi ışınları elde edebilmek için genel prensip, metallerin elektrik ile ısıtılmasıdır. Bu amaçla infrared lambaları veya rezistanslı infrared üreteçleri kullanılır. Örneğin; LED (Light Emitting Diodes) bir infrared ışın sistemidir.

Kızılötesi ışınları, doğada yüzey tedavi uygulamalarında kullanılır. Normal tedavi dozunun en üst derecesinde bile infraruj ışınları birkaç milimetreden daha derine inmeden absorblanır.

Uzun dalgalı infrared ışınları sadece cildin yüzeyini ısıtabilirler. Kısa dalgalı Infrared ile görünen ışınlar ise ciltaltı yağ dokusuna ve ince yapılı derilerde adale tabakasına kadar ilerleyebilirler. Tıpta, tedavideki kullanım amacı, uygulanan sahada ve hatta bütün vücutta ısınmayı sağlamaktır.

2.1.2.3. Görünür Işık

Görünür ışık, elektromanyetik radyasyon grubu içinde en kısa aralıklı olan gruptur. Dalga boyları, 3900-7200 Å⁰ arasında değişmektedir McMaster, (1963). Kırmızı-turuncu-sarı-yeşil-mavi-lacivert-mor olmak üzere farklı renk tayfı meydana getirecek şekilde uzun dalga boyundan kısa dalga boyuna doğru bir sıralanımı vardır. Şekil: 2.2'de görünür ışık tayfı görülmektedir.



Şekil: 2.2. Görünür Işık Tayfı

Gözümüzle algılayabildiğimiz bu grup elektromanyetik radyasyon, beş duyumuzdan biri için uyarıcı durumundadır. Bir başka deyişle, insanoglu için en eski bildiği elektromanyetik radyasyon grubunu oluşturur. Tüm optik bilimi, esas itibariyle görünür ışık için geliştirilmiştir.

2.1.2.4. Morötesi (Ultraviyole) Işınlari

Elektromanyetik radyasyon tiplerinden birisi de ultraviyole radyasyonudur. Bu radyasyonun kendine özgü bazı özellikleri vardır. Ultraviyolenin bazı dalga boylarında kısmi bir radyasyon etkisi vardır. Bu yüzden kesin bir sınır çizmek mümkün değildir. Yegin, (1985).

Ultraviyole fotonunun enerjisi bir iyonlaşma olayı için genel olarak yetersizdir. Ancak, atomda bir elektronun yörünge değiştirmesi için enerjisi yeterli düzeydedir. Bu yüzden ultraviyole radyasyonu daha çok uyarılmaya yol açan bir radyasyon olarak kabul edilir. Ultraviyolenin biyolojik etkileri de bu şekilde ortaya çıkmaktadır. Özalpan, (1980).

Ultraviyole dalga boyları $136-3900 \text{ Å}$ arasındadır. Biyoloji ve tıpta ultraviyole ışınları daha çok "yakın ultraviyole" ve "uzak ultraviyole" adıyla iki grupta incelenebilir. Dalga boyu $100-1000 \text{ Å}$ arasındaki ışınlara ekstrem ultraviyole (EUV) denir Alper (1970).

Yakın Ultraviyole Işınlari

Yakın ultraviyole ışınları $2800-3900 \text{ Å}$ dalga boyları arasındadır. Güneş ışığında var olduğu gibi özel cihazlarla da elde edilebilirler. Bunlarda kendi aralarında yine iki gruba ayrılırlar. Bunlardan biri "uzun dalgalı ultraviyole ışınlar"dır ve güneş ışınlarından başka karbon arkları ve akkor lambalarından elde edilebilirler. Diğer ise, orta dalgalı ultraviyole ışınlar olup, dalga boyları $3150-2800 \text{ Å}$ arasındadır. Ciltte eritem meydana getirmek için kullanılırlar ve civa buharlı lambalarla metal elektrotlu ark lambalarından elde edilmektedirler.

Uzak Ultraviyole Işınlari

Genellikle dalga boyları $2800 \text{ \AA}$ civarında veya daha aşağıdadır. Güneş ışığında ise, bu kısa dalgalı uzak ultraviyole ışınları yoktur. Uzak ultraviyole ışınları, içinde demir, alüminyum ve nikel bulunan karbon elektrotlu arklar ile dalga boyu $3100-200 \text{ \AA}$ olan ışınlar ve içinde stronsyum bulunan karbon elektrotlu arklarla da $1000-700 \text{ \AA}$ dalga boyundan uzak ultraviyole ışınları elde edilebilir.

Ultraviyole ışınları yüzeysel etkiler için kullanılır. Çünkü, bu ışınlar ince bir kağıt veya ince bir giyim eşyasından geçemezler. Adı pencere camından $3200 \text{ \AA}$ ve daha yukarı dalga boylu ultraviyole ışınları geçebilir. Ancak, adı cam daha küçük dalga boylarını geçirmez.

Hava ile kuartz'dan $1800 \text{ \AA}$ A ve daha yukarı dalga boylu ışınlar geçmektedir. Bu yüzden ultraviyole (UV) lambalarda kuartz kullanılmaktadır. İnsan derisi UV ışınların tamamını tutabilir. Derinin 2 mm altına $4500 \text{ \AA}$ 'den yukarı dalga boyundaki ışınlar nüfuz edebilirler.

$3800-3300 \text{ \AA}$ 'luk ultraviyole ışınları floresans meydana getirirler. Sodyum salisilat, porfirin ve antipirin gibi bazı maddeler insan derisinin kornifiye bölgelerinde UV ile floresans verirler. $3000 \text{ \AA}$ altındaki dalga boyuna sahip UV uygulamasıyla derideki 7-Dehidrokolesterol'un Vitamin-D3'e çevrilme oluğu, bu ışınların tıptaki değerini arttırmıştır. UV ışınlarının vücuttaki oksidasyon ve redüksiyon olaylarını artırdığı ve hava içinde ise ozon meydana getirmeleri önemli etkilere sahiptir.

2.1.2.5. X-Işınları

X-ışınları maddeye nüfuz edebilen bir elektromanyetik radyasyon tipidir. X-ışınları frenleme ışıını (Bremsstrahlung) veya karakteristik X-ışınları (ağır atomların çok sıkı bağlı elektronlarının uyarılması) şeklindedir. Bir başka deyişle, X-ışınları iki farklı şekilde elde edilebilirler.

Bremsstrahlung olayı hızlandırılmış elektronlardan meydana gelmiştir. Elektronları hızlandıran voltaj çok yüksek ise, bu olayda sert X-ışınları meydana gelir, voltaj düşük ise yumuşak X-ışınları oluşur. Böylece 0.3-0.9 Å dalga boylarında çeşitli şiddette frenleme X-ışınları mevcuttur.

X-ışınları genellikle 500-0.05 Å arasındadır. Hızlandırılmış elektronların, atomun iç tabakalarındaki en sıkı bağlı elektronlardan birini koparıp yerinden fırlatması veya en dış yörünge bulutlarına itmesi sonucu, üst yörünge bulutundaki elektronların boşalan bu yeri doldurmaları halinde ise "karakteristik X-ışınları" meydana gelir. Bilge ve Tuğrul (1990).

2.1.2.6. Gama Işınları

Gama ışınları da X-ışınları gibi maddeye nüfuz edebilen elektromanyetik radyasyonlardır. X-ışınlarından farkları, atom çekirdeğinden yayınlanıyor olmalarıdır. Bir başka deyişle, gama ışınları kaynağı radyoizotoplardır. Doğal gama kaynağı olan radyoizotoplar mevcuttur. Ancak, nükleer reaktörlerin gelişmesiyle, yapay olarak elde edilen pekçok gama yayınlayan radyoizotop elde edilebilmiştir. Günümüzde daha çok, bu tip, yapay radyoizotoplar gama kaynağı olarak kullanılmaktadır.

2.2 RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEŞMESİ

Nükleer teknikler ve nükleer uygulamalar açısından önemli bir konu radyasyonun madde ile etkileşimidir. Radyasyonun madde ile etkileşimi farklı olaylar çerçevesinde meydana gelebilmektedir. Burada, radyasyonun tipi önemlidir. Özellikle radyasyonun elektrik yüküne sahip olup olmaması önemli bir husustur.

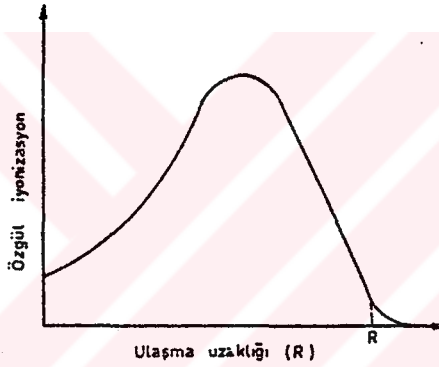
Radyasyonların tanımlanması, ölçülmesi ve bunlardan korunma için radyasyonun madde ile olan etkileşimlerinin bilinmesi gerekir. Eğer radyasyonun madde ile olan etkileşimi "hayli" zayıf ise, örneğin; nötrino için olduğu gibi, radyasyon tanımlanamaz. Nükleer radyasyonların belirlenmesi ve ölçülmesi bakımından kullanılan araç ve gereçlerin dayandıkları metodları anlayabilmek için bu radyasyonların madde ile olan etkileşimlerini bilmek gerekir Kaplan (1965)

Radyasyonlar, maddeden geçerken enerji kaybına uğrarlar veya absorblanırlar. Radyasyonun madde içinde aldığı yola "erişme uzaklığı" veya "menzil" denir Yaramış, (1965).

2.2.1. Alfa Partiküllerinin Madde İle Etkileşimi

Alfa parçacıkları (+ 2) yüke sahip olmaları nedeni ile coulomb kuvvetleri çerçevesinde, madde ile kuvvetle etkileşirler ve madde içinde önemli ölçüde iyonizasyona sebep olurlar.

Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan alfa parçacıklarının havada neden oldukları özgül iyonizasyon değişik uzaklıklara göre ölçülerek, ikisi arasında bir grafik çizilirse, "karakteristik bir Bragg eğrisi" elde edilir (Şekil: 2.3). Özgül iyonizasyon radyoaktif kaynaktan uzaklaştıkça ilk önce yavaş yavaş sonra hızlı bir şekilde artarak bir maksimumdan geçer ve sonra hemen sıfıra indirgenir Bilge, (1991).



Şekil: 2.3. Alfa Parçacıkları İçin Bragg Eğrisi

Alfa parçacıkları madde içinde ilerlerken iyon çiftleri oluştururlar ve bu sırada hızları azalır. Bir başka deyişle, alfa parçacıkları malzeme içinde iyonlaşmaya neden olarak ilerlerken enerjilerinde bir azalma meydana gelir ve nihayet iyonizasyon meydana getiremez hale gelerek nötr helyum atomuna döndürülür.

2.2.2. Beta Partiküllerinin Madde İle Etkileşimi

Beta partiküllerinin malzeme içindeki davranışları ve iyon çiftleri meydana getirisi alfa parçacıklarına benzer. Beta partiküllerinin kütleleri alfa parçacıklarının kütlelerinden küçük olduğundan aynı enerjide oluşturdıkları özgül iyonizasyon daha küçüktür.

Radyoaktif bir kaynaktan yayınlanan alfa parçacıkları genellikle aynı enerjide nadiren de iki veya üç farklı enerjide yayınlanırlar. Beta partikülleri ise sürekli bir enerji dağılımına sahiptir. Bir başka deyişle, hemen her dalga boyunda spektruma sahiptirler. Beta parçacıklarının ortalama enerjisi maksimum enerji değerinin üçte birine eşittir.

Beta parçacıkları madde içinden geçerken atom çekirdekleri ve elektronlara çarparlar. Böylece yönlerinde de bir değişiklik olur. Oysa, alfa parçacıklarının kütleleri daha ağır olduğundan onların yönlerinde kolay kolay bir değişme olmaz.

Beta parçacıkları alfa parçacıkları gibi sabit bir ulaşma uzaklığına sahip değildir. Ancak, beta parçacıklarının belirli bir enerjide meydana getirdikleri iyonizasyonu sıfıra indirgeyen belirli kalınlıklar vardır Bilge, (1991).

Pozitif beta parçacıklarına pozitron, negatif beta parçacıklarına ise negatron denir. Oluşumundan kısa bir süre sonra pozitron elektronla birleşme eğilimindedir. Pozitron ve elektron birbirlerini nötralize eder ve oluşan enerji radyasyon olarak açığa çıkar. Buna yok olma (anihilasyon) radyasyonu denir. Pozitron ve elektronun toplam kütlesi 0.0011 akb olup annihilasyon radyasyonu 0.511 Mev enerjiye sahiptir Bilge, (1991) .

2.2.3. Elektronların Madde İle Etkileşimi

Elektronların madde ile etkileşmesi ise dört ana grupta toplanarak incelenebilir. Bunlar;

- 1) Atom elektronlarıyla, esnek olmayan çarpışma
- 2) Atom çekirdekleriyle, esnek olmayan çarpışma
- 3) Atom çekirdekleriyle esnek çarpışma
- 4) Atom elektronlarıyla esnek çarpışma

Burada esnek olmayan çarpışmalar kinetik enerjinin iyonizasyon, uyarma veya elektromanyetik radyasyon gibi diğer bir enerji şekline dönüşüm olayıdır. Esnek çarpışmalarda ise enerji diğer bir elemana aktarılabilir.

2.2.4. Nötronların Madde İle Etkileşimi

Nötronlar madde ile saçılma ve soğurulma olmak üzere başlıca iki şekilde etkileşirler. Her halde, nötron atom çekirdeği ile etkileşir.

Saçılma olayı da "esnek" ve "esnek olmayan" saçılma olarak iki şekilde meydana gelir. Her iki saçılmada da nötron enerji kaybeder.

Nötronların madde ile etkileşimler sonucunda soğurulması olayı ise farklı şekillerde meydana gelebilir. Nötronun atom çekirdeği tarafından soğurulmasını takiben; bir gama fotonu veya bir alfa parçacığı, veya bir proton atılabilir. Bunların dışında, atom çekirdeği kararsız ve büyük bir çekirdek ise, bölünerek "fisyon" olayı meydana gelebilir.

2.2.5. Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

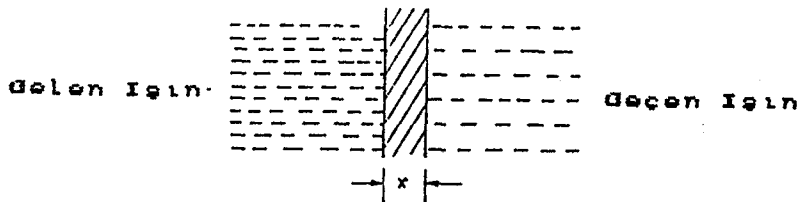
X veya gama radyasyonu madde üzerine düştüğü zaman bir kısmı o maddeden geçer. Bir kısmı da çeşitli yönlerle saçılır Tuğrul, (1990).

Sogurma olayında, X veya gama malzemeden geçerken radyasyonun bir kısmı tümüyle madde içinde absorblanır, ama bir kısmı da madde ile etkileşerek başlangıçtaki şiddetlerini kaybeder. Bu olaya gama veya X ışınlarının malzeme içinde soğurulması denir. Azalan radyasyon şiddeti, radyasyonun başlangıçtaki şiddetine, malzemenin yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır Bilge ve Tuğrul, (1990).

x Kalınlığında bir malzeme üzerine dik olarak bir elektromanyetik ışın düşürelim. Gelen ışın şiddeti I_0 ise, geçen ışın şiddeti I , şu şekilde ifade edilebilir:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

Burada μ soğurma katsayısıdır ve gelen ışınların başlangıçtaki şiddetine ve malzemenin yoğunluğuna bağlıdır Bilge ve Tuğrul, (1990). Dk: 2.1'in grafiksel gösterimi Şekil: 2.4'de görülmektedir.



Şekil: 2.4. Elektromanyetik Radyasyonun Madde İçinde Soğurulması

Dk: 2.1, dar demet şartları için geçerlidir. Burada yansıma ve saçılmaların etkisi gözönüne alınmamıştır. Aksi takdirde bir büyüme (build-up) faktörünün belirlenmesi gerekecektir.

Dk: 2.1 uyarınca radyasyon demeti şiddetini yarıya indiren madde kalınlığına "Yarılanma Kalınlığı" denir. Radyasyon demeti şiddetini onda bire indiren madde kalınlığına ise "Onda Bir Kalınlığı" denir Bilge ve Tuğrul, (1990).

Elektromanyetik radyasyon için, soğurulma olayı, tek bir olay değildir. Yeterince yüksek enerjiye sahip gama ışınlarının madde içindeki davranışları incelenerek, soğurulma olayına açıklama getirilebilir.

Gama ışınlarının madde ile yaptığı üç önemli olay vardır. Bunlar Fotoelektrik olay, Compton olayı ve Çift oluşumdur.

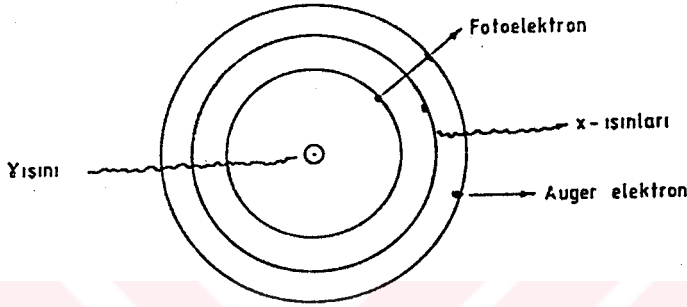
2.2.5.1. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olayda foton soğurucu atomla çarpışarak enerjisinin tamamını kaybeder. Foton enerjisinin soğurulması sonucunda iç yörüngeden bir elektron atılır. Bu elektrona ise "fotoelektron" denir.

$$E_e = E_\gamma - BE \quad (2.2)$$

Burada; E_e fotoelektronun enerjisi, E_γ soğurulan gama ışınının enerjisi ve BE de atılan elektronun bağlanma enerjisidir.

İç yörüngeden Fotoelektron atılmış ise, bu durumda dış yörüngeden diğer bir elektron boşluk bulunan yörüngeye geçer, bu geçiş sırasında ise karakteristik X-ışınları yayınlanır (Şekil: 2.5). Bunlar, düşük enerjili X-ışınlarıdır. X-ışını fotonunun atılması çoğu kez dış yörünge elektronunun (Auger elektronunun) atılmasına neden olur Bilge ve Tuğrul, (1990).



Sekil: 2.5. Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olayı yakından inceleyen fizikçiler deneysel olarak birtakım sonuçlar tespit etmişlerdir Özemre, (1983). Bunlar;

- Eger fotoelektronlar yayınlanıyorsa metal yüzeyine düşen ışığın şiddeti çok küçük bile olsa ışığın metal yüzeyine çarpması ile fotoelektron yayınlanması arasında geçen zaman en fazla 3×10^{-9} saniyedir.

- Yayınlanan fotoelektronların sayısı gelen ışık hüzmesinin şiddetiyle orantılıdır.

- Fotoelektronların enerjisi metal üzerine düşen monokromatik ışığın frekansı ile orantılıdır.

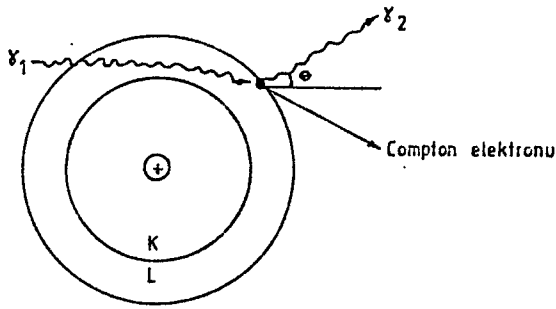
- Her metal için, fotoelektron yayınının başlamasını sağlayan ν_0 gibi farklı bir eşik frekansı vardır.

2.2.5.2. Compton Saçılması

Compton Saçılmasında gama ışını soğurucu madde atomunun dış elektronuyla esnek çarpışma yapar ve bunun sonucunda Compton saçılması gerçekleşir (Şekil: 2.6). Burada momentum ve enerji korunumu vardır. Gelen fotonun enerjisinin bir kısmı elektrona aktarılır böylece gelen foton geliş doğrultusundan bir miktar sapar. Gelen fotonun enerjisi E , saçılan fotonun enerjisi E' , fotonun sapma açısı θ ile gösterilirse,

$$E' = 0.51 / (1 - \cos\theta - 0.51/E) \quad (2.3)$$

yazılabilir.



Şekil: 2.6. Compton Saçılması

Saçılma açısı θ küçük ise, $\cos\theta = 1$ 'dir. Böylece E' yaklaşık olarak E 'ye eşit olur. Böylece yüksek enerjide gelen gama ışınının enerji kaybının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu anlaşılır. Eğer $\theta=90$ olursa, $\cos\theta=0$ olur ve

$$E' = 0.51E / (E - 0.51) < 0.51 \text{ MeV} \quad (2.4)$$

elde edilir.

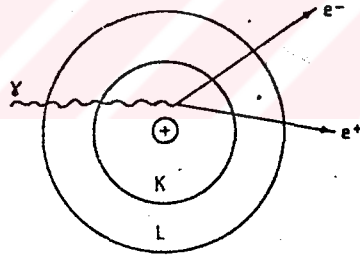
Buradan çıkarılan sonuç fotonun enerjisinin 0.51 MeV'den büyük olamayacağıdır. Compton saçılması foton ve elektron arasında olduğundan compton saçılması miktarı, soğurucu atomun elektronlarının sayısına yani atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton daha düşük enerjili olduğundan çoğu kez ortamdan kaçamayıp fotoelektrik etkileşme yapar.

2.2.5.3. Çift Oluşumu

Çift oluşumu olayı; enerjisi 1.02 MeV'in üstünde olan gama fotonu atom çekirdeğinin yakınından geçerken elektron ve pozitron çifti meydana gelir. Elektron ve pozitronun toplam kütlelerinin eşdeğer enerjisi 1.02 MeV'dir. Bu durumda parçacık çiftini oluşturmak için gerekli olan en az enerji 1.02 MeV olmalıdır Kaplan (1988)

Eger gama foton enerjisi 1.02 MeV 'in Uzerinde ise, bu enerji genellikle elektronun ve pozitronun kinetik enerjisini meydana getirir. Birazı da atom çekirdeğine aktarılır.

Eger gama fotonunun enerjisi artarsa, fotoelektrik ve compton olayları azalırken çift oluşum olayının meydana gelme olasılığı artar. Oluşan elektron ve pozitronlar birbirlerine yeterince yakınsa birbirlerini nötralize ederek anihilasyon radyasyonu meydana getirirler (Şekil: 2.7).



Şekil: 2.7. Çift Oluşumu

2.3. İYONIZAN VE İYONIZAN OLMAYAN RADYASYONLAR

Nükleer uygulamalar ve nükleer teknikler açısından önemli bir husus, radyasyonun madde ile etkileşimi sonucunda maddede iyonlaşma meydana gelip gelmemesidir. Madde ile etkileşimi sonucunda maddede iyonizasyon meydana getiren radyasyona "iyonizan radyasyon" veya "iyonlaştırıcı radyasyon", madde ile etkileşimi sonucunda maddede iyonizasyon meydana getiremeyen radyasyonlara ise "iyonizan olmaya radyasyon" veya "iyonlaştırıcı olmayan radyasyon" adı verilir Aksoy (1984).

2.3.1. Iyonizan Radyasyonlar

Alfa, beta, gama ve X-Işınları ve de nötronlar iyonlaştırıcı özellikte olan radyasyonlardır. İyonlaştırmayan radyasyonlara göre etkileri daha fazladır Yegin, (1985).

Bu tür radyasyonlar karşılaştıkları moleküllerde iyon çifti meydana getirebilirler. Yapıları ya partiküllü veya elektromagnetik dalgalar şeklinde olabilmektedir Yegin, (1985).

İyonlaşma olayı bir atom veya molekülden bir elektronun kopması olayıdır. Özalkan, (1980). α veya β parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacık, maddenin içinden geçerken atomun dış elektronunu almaya yeterli elektriksel etkileşmeyi sağlayacak şekilde arasıra atoma (veya moleküle) yeterli derecede yaklaşır. Böylece elektronunu kaybeden atom, pozitif yüklü bir iyon haline gelir. Kopan bu elektronla pozitif yüklü iyon sistemi bir iyon çifti oluşturur.

Elektrik yüklü olan bu parçacıklar madde içinde yol alırlarken iyonizasyona neden olurlar ve yolları boyunca arkalarında pek çok iyon çifti bırakırlar. Bu nedenle bu tip yüklü radyasyona "Doğrudan İyonizan Radyasyon" adı verilir. Yüklü parçacık havadan geçerken ortalama olarak her bir iyon çifti üretmesinde 32,5 eV'lık enerji kaybeder Bilge, (1991).

Gama ve X-Işınları, elektririk yükü taşımazlar. Bu ışınlar maddeden geçerken sebep olduklar olaylar sonucunda, atomdan elektron atılmasına neden olurlar ve bu elektronlar elektrik yüklü olduklarından iyonizasyona neden olurlar.

Nötronlar da sebep oldukları olaylar sonucu doğrudan iyonizan radyasyonun yayınımına sebep olabilirler ve sonuçta maddede iyonizasyon meydana gelir. İşte, elektrik yükü taşımayan, ancak madde ile etkileşimleri sonucu doğrudan iyonizan radyasyonun yayılmasına neden olan bu tip radyasyonlara "Dolaylı İyonizan Radyasyon" adı verilir.

2.3.2. İyonizan Olmayan Radyasyonlar

Ses dalgaları, radyo dalgaları, infrared ve ultraviyole ışınları iyonizan etkisi bulunmayan radyasyonlardır. Görünür ışınlar da iyonizan etki yapamazlar Yegin, (1985). Bu radyasyonlar iyonizasyona sebep olmamakla beraber ultraviyole gibi nispeten enerjitik olanları moleküller arası bağların bozulmasına neden olabilirler.

BÖLÜM: 3

CAM VE TANITIMI

Esas itibariyle, silisli kumun ateşte eritilmesiyle elde edilen saydam ve çabuk kırılan bir madde olan cam; günlük yaşantımızda hayli sık ve yaygın kullandığımız bir malzemedir. Meydan Larousse (1993). Cam, saydam olması, estetik ve fonksiyonel birçok özelliği taşıması nedeniyle insanoglu tarafından çoğu kez tercih edilen bir malzeme olmuştur. Yaygın kullanılan bir malzeme olmasına ve günümüzde kullanılan birçok malzemeden önce kullanılmaya başlanmış olmasına karşın, malzeme olarak incelenmeye başlanması yakın tarihlere rastlamaktadır.

3.1. CAMLARIN TEKNOLOJİDEKİ KULLANIMI VE TARİHÇESİ

İlk obsidten (doğal cam) nesneler İ.Ö. 75.000'lerde oluşmuş, insan yapısı cam ise ilk olarak yaklaşık onbin yıl kadar önce Mezapotamya'da yapılmıştır. Daha sonra, İ.Ö. II. yüzyılda bugünkü Suriye'de cam üflemeşi keşfedilmiş ve cam günlük yaşantımıza böylece girmiştir. Romalılar devrinde cam önce kap daha sonra ise pencere camı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Romalılar döneminden sonra Bizanslılar ve Araplar cam üretimine önem vermişlerdir. İ.S. 1300'lerden sonra ise Venedik önemli bir cam merkezi haline gelmiştir.

Deneyisel çalışmalar sayesinde cam teknolojisinde hızlı gelişmeler olmuştur. Günümüzden yarım yüzyıl kadar önce, bilimsel konular, cam bilimine uygulanmaya başlanmıştır.

Guinard ve Fraunhofer 1800'lerde cam kompozisyonu ile ilgili bilimsel çalışmalar yapmışlardır. Bunun içinde özel bir karıştırma yöntemi sayesinde homojenizasyon sorununu ortadan kaldırmışlardır. Fraunhofer kurşun oksitli camın ışığı daha fazla kirdiğini ve renklerini daha fazla dağıttığını bulmuştur. Ayrıca bir de spektrofotometre yaparak değişik dalga boylu ışınların cam içindeki davranışını incelemiştir Şişe-Cam (1992).

1830'larda Michael Faraday camı bir kimyasal bileşikten çok bir karışım olarak nitelemiştir. Gerçekten de cam, alkol-su karışımı gibi bir karışımdır. Faraday, camın iletkenliği ve elektroliz altındaki davranışı ile ilgilenmiştir. Ayrıca, Faraday, altınlı kırmızı cama rengini veren şeyin cam içindeki çok küçük metalik altın parçaları olduğunu keşfetmiştir.

1879'da Otto Scott, Jena Üniversitesi'nden profesör Ernst Abbe ile bir araya gelerek optik camlar konusunda öncü çalışmalar başlatmıştır. Schultz, bugün de geçerliliğini koruyan, camda iyon değişimi ile ilgili çalışmalarını 1913'te yayınlamıştır Şişe Cam (1992).

A.A.Griffith, 1921'de cam elyaflar üzerinde çalışarak camda mekanik dayanım ile ilgili çalışmaların öncülüğünü yapmıştır. Bu çalışmalarla, camın malzeme olarak çok yüksek mekanik dayanıma sahip olduğunu, ancak yüzeyinde bulunan mikroçatlaklar nedeniyle mekanik dayanımının yüzlerce, hatta binlerce kez azalarak günlük hayatta kullandığımız kırılğan camın oluştuğunu keşfetti. Griffith'in deneylerinde bir malzeme olarak camı seçmesinin nedeni tümtüyle esnek bir malzeme olmasıdır. Onun yaptığı bu çalışmalar cam biliminin dönüm noktalarından birisidir.

Camda viskozite, kristallenme, cam dönüşümü, cam oluşum nedenleri gibi konularda çalışmalara 1930' larda başlanmıştır. Cam bilimi tarihinin en önemli olaylarından birisi Zachariasen'in ortaya attığı ve Warren'in deneysel bulgularla desteklediği camlaşma teorisi bu dönemlere rastlar. Cam yapısı için düzensiz ağ teorisi modelini kuran Zachariasen'in bu çalışmasını, Warren'in X-ışını difraksiyon deneyleri, doğrular nitelikte sonuçlar vermiştir.

1960' ların başında camsı yapıllı malzemeler denilince inorganik ve organik camlar akla geliyordu. O tarihlerde, inorganik camlarla uğraşanlar, Uluslararası Cam Kongresi gibi uluslararası platformlarda bir araya geliyorlardı. Ancak, organik kimya çerçevesinde polimerlerle uğraşanların bu kongrelerle bir bağlantıları söz konusu olmuyordu. İnorganik camlar, gerçekte camsı malzemeler topluluğunun bir alt kümesidir ve bu ancak, o zamanlarda fark edilmeye başlanmıştır Şişe Cam (1992).

1958 yılında Uluslararası Camsı Katılar Fiziki Konferansı (International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids) düzenlendi. Günümüze kadar devam eden bu koferanslar serisini Frechette, Prins, Douglas, Frischat, Zarzycki, Sakkave, Pye gibi öncü cam bilimciler organize ettiler. Uluslararası Camsı Katılar Fiziki Konferansları cam bilimi alanında dünyanın en önemli forumlarından birisi haline geldi.

1970' li yıllarda cam biliminde önem kazanan konular faz ayrımı, kristallenme, camda iyon ve gaz difüzyonu, elektronik iletkenlik, iç sürtünme, yüzey yapısı ve reaksiyonları, iyon değişimi, cam elektrotlar ve statik yorulma gibi konular yer alıyordu. Bu yıllarda camsı malzemelerle ilgili yeni uluslararası konferanslar düzenlenmeye başlandı ve cam hakkında yeni düşüncelerin tanıtımı yapıldı.

Yapılan çeşitli çalışmalarla, camın yapısı, camlaşma kriterleri, reoloji ve gevşeme mekanizmaları, camın elektronik, mekanik ve yüzeysel özellikleri, iyon taşınması gibi konularda önemli gelişmeler sağlandı. Ortaya atılan cam yapısı teorileri, yeni analiz yöntemlerinin gelişmesiyle ispatlanabildi.

Bu amaçla cam biliminde kullanılan en önemli araçlar X-Işını fotoelektron spektrometresi (XPS), X-ışını floresansı (XRF), X-ışını difraksiyonu (XRD), kütle spektrometresi (MS), ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS), Auger spektrometresi (AS), kızılötesi (IR) ve Raman spektrometreleri, yada nükleer magnetik rezonans (NMR) cihazlarıdır. Görüldüğü gibi, nükleer tekniklerin gelişimi ve bilgisayar kullanımı ile cam ve yapısı hakkında bilgiler de geliştirilmiş ve günümüzdeki seviyeye ulaşılmıştır.

Bununla beraber, camın bir çok değişik davranışını bilimadamları henüz tam olarak açıklayamamaktadırlar. Polimer bilim ile inorganik cam bilimi arasında henüz tam olarak bir bağlantı sağlanamamıştır. Sol-jel sentezleme tekniği işte burada önem kazanmaktadır. Bir başka deyişle, cam teknolojisi hayli yol katetmiştir.

Bütün bu cam teknolojisindeki gelişmeler cam biliminin de gelişmesini sağlamıştır. Cam termometrenin, Pyrex, Vycor ve flotal camların icadı bilimsel bulguların teknolojiye uygulanması sayesinde olmuştur.

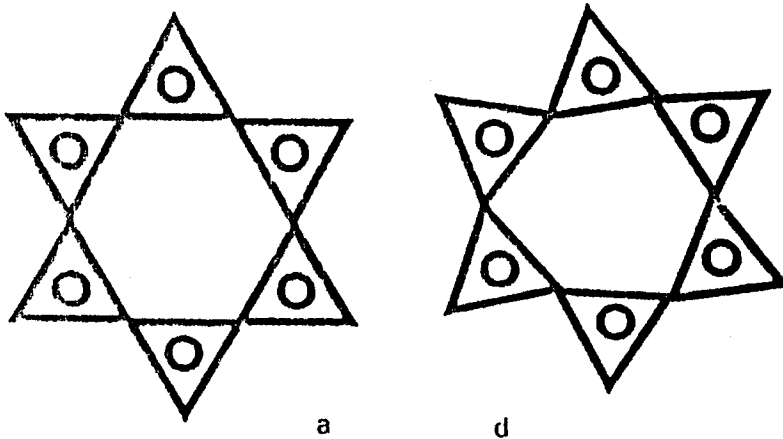
3.2. CAMIN ELDESİ

Camın nasıl elde edildiğini açıklamak için öncelikle, camlaşma olayını açıklamak daha doğru olacaktır. Bir başka deyişle, camlaşma olayı camın kendisi kadar önemlidir.

Camlaşma teorileri kinetik ve yapısal olarak ikiye ayrılmaktadır. Kinetik teori, camlaşma olayını zamana bağlı değişimler olarak ele alır. Yapısal teoriler ise, malzemenin camlaşabilmesi için molekül yapısının hangi özelliklere sahip olması gerektiğini araştırır.

Katı malzemeleri kristal yapılı ve düzensiz yapılı olarak iki gruba ayırabiliriz. Kristal yapılı malzemelerde atomlar veya moleküller her yönde düzgün olarak sıralandıklarından belirli yönlerde belirli aralıklarda gidilirse belirli atomlara rastlanacaktır. Kristal yapılarda uzun erimli düzenlilik söz konusudur. Metaller ve seramiklerde de kristal yapı söz konusudur.

Camsı yapıda ise böyle bir düzenlilik yoktur. Camsı yapıda bir atomun hemen yakınında hangi atomun bulunacağını biliriz. Ancak biraz uzakta hangi yönde hangi atomun bulunacağını bilemeyiz. Bir başka deyişle, camsı yapı kısa erim düzenine sahiptir (Şekil: 3.1) Sise Cam (1992).



Şekil: 3.1. Kristal yapı (a) ve Düzensiz Yapı (d)

Gaz fazda bulunan saf bir malzeme yavaşça sabit bir hızla soğutulurken karakteristik bir takım değişiklikler gözlenir. Malzeme başlangıçta gaz haldeyken, soğutma sırasında moleküller kinetik enerjilerini kaybederler ve birbirlerine giderek daha yavaş çarpmaya başlarlar. Böylece, sabit basınç altında gaz hacmi giderek azalır. Kaynama sıcaklığına ulaşıldığında, sabit sıcaklıkta hacim azalması meydana gelecektir ve artık madde sıvı olacaktır.

Enerji kaybı yani soğuma devam ederse sıvı molekülleri titreşimlerini azaltacaktır. Böylece malzeme hacmi de küçülmüş olacaktır. Erime sıcaklığına gelindiğinde, yeniden sabit sıcaklıkta bir hacim azalması meydana gelecektir. Rastgele hareket eden sıvı molekülleri ise düzgün sıralar halinde dizilerek sıvı faz içinde giderek büyüyen katı fazı oluşturacaktır. Soğutmaya devam edilmesi durumunda moleküllerin önceden belirlenmiş konumlarındaki titreşimlerinin genliği azalacak ve katı madde ısı genleşme katsayısı oranında hacmini azaltmaya devam edecektir.

Burada, önemli bir husus; erime, bir başka deyişle kristallenme bölgesidir. Saf bir malzemeyi çok yüksek bir hızda soğuttuğumuzda sıvı molekülleri katılaşma başlangıcında sıralar halinde dizilme fırsatı bulamadan ısı enerjilerini kaybederler ve düzensiz bir yapı halinde hareketsizleşirler. Moleküllerin bir daha kolayca yer değiştirmeleri mümkün olmadığından, oluşan bu yeni malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından kristal bir malzemeye benzer Stanek (1977).

Bir sıvı kristallenmesine izin verilmeyecek kadar hızlı bir şekilde soğutulursa camı faza geçer. Organik sıvılar, metaller ve su da bu yolla camı hale geçer. Ancak, bir sıvıdan cam elde edebilmek için birtakım şartların yerine getirilmesi gerekir. Bazı sıvılar, camlaşabilmek için çok yüksek soğutma hızları gerektirir, ancak SiO_2 gibi sıvılar ise daha düşük soğutma hızlarında kristallenmeyi geçerek camlaşabilirler.

Camlaşma olayının meydana gelebilmesi için kristallenme olayının önüne geçilmesi gerekir. Bir başka deyişle, camlaşma; kristallenmenin atlanması olayıdır. Bir sıvıdan cam yapılıp yapılamayacağı o malzeme içinde erime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda kristallerin hangi hızla büyüdüğüne bağlıdır. Sıvı içinde kristal oluşması için ilk önce kristalin çekirdeklenmesi gerekir. Böylece ilk önce ilk molekül grupları oluşur. İkinci olarak, yakın çevredeki moleküllerin dönme/yer değiştirmesiyle veya yol katederek uygun yönlerde bu çekirdeğe ilave edilmesi gerekir.

Bir silis camı için camsı yapının oluşumu inceleyecek olursak; 1800°C 'den başlayarak çok hızlı bir soğutma uygulayarak 1450°C 'ye inelim. Bu durumda sıvı içindeki kristal parçaları büyümeye başlayamadan camsı yapı meydana gelir. Böylece yapının tümü camsı fazdan oluşacaktır. Burada, kristal yapı büyümesi ve kristal yapı büyüme hızı önemlidir.

Kristal büyüme hızları, camlaşma için tek kriter değildir. Camlaşmayı kontrol eden ve kristal büyüme hızı ile beraber incelenmesi gereken bir değer de kristal çekirdeklenme hızıdır. Soğutulan sıvı içerisinde yeterli sayıda çekirdek oluşmaması durumunda potansiyel kristal büyüme hızı ne kadar yüksek olursa olsun kristallenme meydana gelmeyecektir Gutzow (1990).

Erime sıcaklığı civarındaki bir malzemenin yeni bir kristal çekirdeği oluşturmak için harcaması gereken enerji, o çekirdeği oluştururken kaybedeceği enerji miktarından fazla ise çekirdek oluşumu için termodinamik olarak bir neden yok demektir. Bu durumda çekirdek oluşmaz Rawson (1980).

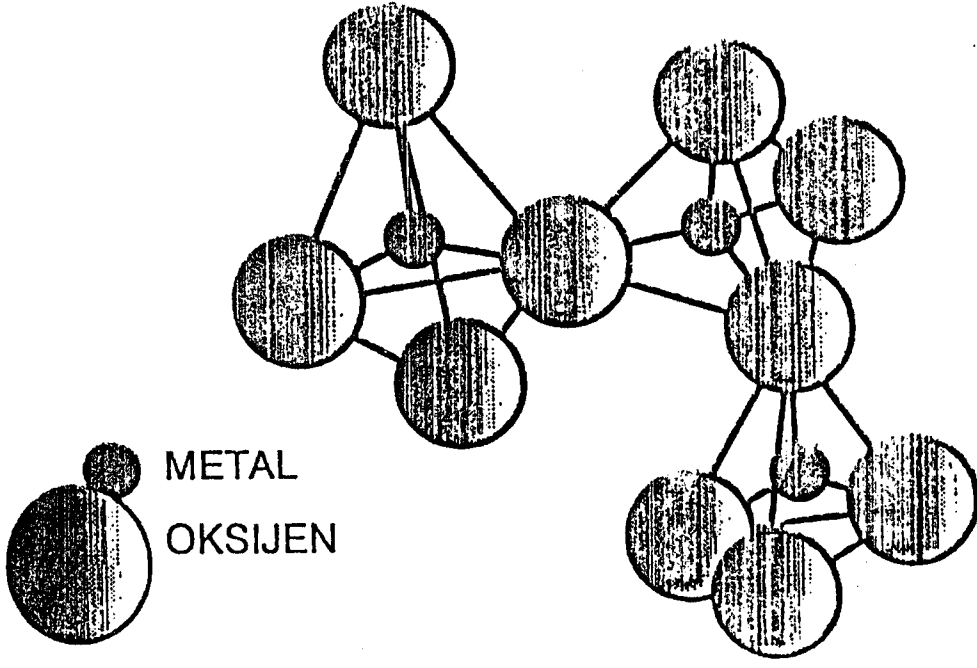
Bir sıvının camlaşmasını kontrol eden faktörler çekirdek oluşturma ve kristal büyültme hızlarıdır. Molekül hareketini sınırlayan erime sıcaklığı viskozitesi her iki faktör için de belirleyici olan bir parametredir Rawson (1980).

Bütün bu bilgilerden sonra oksitlerde camlaşma olayını incelemek daha doğru olacaktır. Oksit camlar, bir metal atomuna güçlü kimyasal bağlarla bağlanan oksijen atomlarından ve bu ağ yapısı içinde karışım halinde yer alan belki de başka oksitlerden oluşan düzensiz yapıli inorganik malzemelerdir. Burada metal atomu gibi, silisyum atomu göz önüne alınabilir. Ancak, burada açıklanan kinetik teoriden başka, oksit camlardaki camlaşma için birtakım yapısal teoriler de ortaya atılmıştır.

1926'da Goldsmith bir oksitin cam olabilmesi için cam yapıcı metal atomu çapının oksijen çapına oranı 0.2 ile 0.4 arasında olmasının yeterli olduğunu savunmuştur. Ancak bu teori BeO gibi, bazı camlaşmayan oksitlerde yanlış sonuçlar vermiştir. Oksit camların camlaşma yeteneklerini inceleyen Zachariasen bir oksitin cam yapabilmesi için camın yapıtaşı olan polihedronların birbirine bağlanışını göz önüne almıştır. Polihedron bir metal atomunu oksijen atomlarına bağlayan, camın en küçük tanımlayıcı birimidir. Bu, silika camında bir tetrahedrondur Şişe Cam (1992).

Zachariasen'in dört camlaşma kuralından bahsedilir. Bunlar;

1. Bir oksijen atomu en fazla iki cam yapıcı (metal) atoma bağlı olmalıdır.
2. Cam yapıcı atomun oksijen komşularının sayısı az olmalıdır (2 veya 3).
3. Polihedronlar, birbirlerine yüzeyleri veya kenarları ile değil köşeleri ile tutunmalıdır.
4. Polihedronlar en az üç köşeden birbirlerine tutunmuş, bir başka deyişle, üç boyutlu bir yapı halinde biraraya gelmiş olmalıdırlar.



Sekil: 3.2. Zachariasen'in camlaşma kurallarının şematik gösterilişi.

Sekil: 3.2'de tetrahedronda Zachariasen'in bu ünlü dört kuralı görülebilmektedir. Bu durumda örneğin, M_2O ve MO yukarıdaki dört şartı sağlayamazlar. Bu yüzden bu metal oksitler camlaşma yapamazlar. Oksijen atomları metal atomu çevresinde üçgen oluştururlarsa M_2O_3 1., 3. ve 4. şartları sağlamış olacaktır. MO_2 ve M_2O_5 ise oksijen atomları metal atomu çevresinde tetrahedron oluştururlarsa aynı şartları yerine getirir.

Öte yandan, Lebedev ve Porai-Koshits bir camlaşma teorisi oluşturmuşlardır. Oluşturdukları kristalit teorisine göre cam yapısı mikrokristal formasyonların bir araya gelmesinden oluşur. Deforme olmuş kristal parçacıkları birbirlerine daha düzensiz yapıllı bir fazla bağlanmışlardır.

Smekal'ın 1951'de moleköl bağlarını göz önüne alarak geliştirdiği camlaşma teorisine göre;

1. İnorganik camlarda (SiO_2 , B_2O_3) moleköl bağları yarı kovalent (elektron paylaşımı), yarı iyonik (elektrostatik çekim) karakterde olmalıdır. Tümüyle iyonik karakterde olan moleküller tümüyle küresel simetriye sahiptirler. Bu yüzden birbirleri etrafında rahatça dönebilirler ve kristallenmeye izin verirler. % 100 kovalent bağlar çok güçlüdürler ve moleküllere hareket özgürlüğü vermezler. Bu yüzden camlara özgü rastgele moleköl yönelmesini sağlayamazlar.
2. Tek bir elementten oluşan camlarda ve organik camlarda moleküller zincir halinde sıralanmıştır. Zincir boyunca güçlü kovalent bağlar, zincirler arasında ise zayıf Van der Waals kuvvetleri bu tür malzemelerde camsı yapı oluşumunu sağlar.

Stanworth'un ortaya attığı camlaşma teorisi elektronegatiflik kuralına dayanmaktadır. Oksijen ile metal arasındaki elektronegatiflik farkı camdaki bağ karakterini belirler. Bu fark 1.4 ile 1.7 arasında olduğunda metalin oksit formu bir cam yapıcı olur Bu fark 1.8 ile 2.2 arasında ise metal oksit formu bir ara cam yapıcı yani cam yapma eğilimi az olan maddedir. Bu değer, 2.3'ün üzerinde olduğunda ise, ağ düzenleyici, bir başka deyişle, cam yapısına karışan fakat kendi başına cam yapamayan bir madde olur. Cam yapabilmek için metal iyon değeri 3 ya da daha fazla olmalı ve iyon çapı ise çok fazla olmamalıdır.

Sun'un camlaşma teorisi ise kimyasal bağ enerjisine dayanır. Ancak 80 kcal ve üzerinde bağ enerjisi olan oksitler cam yapıcı olabilir. 60 kcal ve altındakiler ağ düzenleyicidirler. Sun, cam yapmayan CO_2 'yi de cam yapıcılar arasına katmıştır. Rawson Sun'ın kriterini yeniden düzenlemiştir ve dikkat edilecek parametrenin bağ enerjisi/erime sıcaklığı oranı olduğunu belirtmiştir. Bu son belirtilen parametre daha doğru bir sonuçtur.

Şimdiye kadar belirtilen bütün camlaşma teorileri camlaşma olayına çok farklı açılardan yaklaşmışlardır. Ancak birbirine çok yakın tahminlerde bulunmuşlardır. Cam oluşumunu tamamiyle açıklayan ve tüm malzemeler için ortaya koyan bir camlaşma teorisi günümüzde bulunmamaktadır. Fakat bugün var olan teoriler dar kapsamlar çerçevesinde gerçekçi sonuçlar vermektedir.

3.3. CAMIN YAPISI

Cam sert ve esnek bir malzemedir. Ancak cam yapısının derinliklerine inildiğinde bir katıdan çok bir sıvıya benzer. Camı oluşturan yapı taşları polihedronlardır. Örnek olarak silis camındaki silika tetrahedronu verilebilir. Polihedronlar birbirlerine köşelerinden tutunurlar ve bağ açılarını belirli sınırlar içerisinde de olsa değişebilir ve birbirleri çevresinde dönebilirler. Fakat cam moleküllerinin birbirleri çevresindeki bu hareketi güçlü bağlar ile kısıtlanmıştır. Camın oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda bir katı gibi davranmasının nedeni budur.

X-Işınları ile yapılan gözlemlerde camda sıvı yapısına benzeyen bir yapının var olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle, cam katı özellikleri gösteren bir sıvıdır. Cam yapısı, hareket halindeki bir sıvının yapısının sanki durdurulmuş bir halidir. Düzensiz haldeyken hereketsizleştiği için camsı yapı aynı zamanda düzensizdir. Hangi atomun nerede bulunacağını kestirmek kristal yapılarda olduğu gibi kolay değildir. Böyle molekül yapıları ve özellikleri olan malzemelere camsı malzemeler denilir. Katı, sıvı, gaz sınıflamasında bu malzemelere yer bulmak zordur. Camsı fazı diğer üç fazdan ayrı bir madde hali olarak ele almak daha doğru olacaktır Kittel (1956)

3.4. CAMI OLUSTURAN BİLEŞENLER

Cam bileşenlerini incelemek için önce camlaşabilen malzemeleri incelemek yerinde olacaktır.

Camlaşabilen inorganik malzemeler şunlardır.

Kalkojenürler	:	S, Se, Bi, Ge
Oksitler	:	
a) Cam yapıcılar	:	B, Si, P, Ge, As, Sb, Te, V
b) Ara cam yapıcılar	:	Be, Al, Ti, Zr, Sn, Pb
c) Ağ düzenleyiciler	:	Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca
Tuzlar	:	BeF, ZnCl
Karbonatlar	:	K, Mg

Cam yapısında yer alan bileşenler, oksitler bazında tanımlanır. Cam yapısındaki oksijenin elektropozitif elementler arasındaki yerleşimi ve bağ türü, o elementin büyüklüğüne ve bağ yapma yeteneğine bağlıdır. Bu noktada elementlerin içerdikleri elektron sayısı ve bunların yerleşim durumu önemlidir. Elementlerin sınıflandırılmasında göz önüne alınan en önemli parametre, elektronların dizildiği son yörüngesinin türü ve bu yörüngedeki elektron sayısıdır. Bu durumda elementler cam yapısındaki yerleri bakımından dört gruba ayrılır (Şişecam, (1992)).

1. Son yörüngesi s olan elementler:

Ağ yapı geliştiriciler (Li, Na, K, Ca, Mg vb.)

2. Son yörüngesi p olan elementler :

Ağ yapı oluşturucular (Si, Ge, B, vb.) ve kendi başına ağ yapı oluşturucular gibi davranan elementler (Ga, Al)

3. Son yörüngesi d olan elementler :

Camda miktarca az olan geçiş elementleri (Fe, Ti, Cu, Mn, Ni gibi çekirdeklendirici ve renklendiriciler)

4. Son yörüngesi f olan elementler :

Bir kaç nemlendirici (Ce, Nd, Pr) dışında camlarda çok az rastlanan nadir toprak elementleri (lantanitler ve aktinitler)

Cam yapısındaki oksijen elektropozitif elementlere iki tür kimyasal bağ ile bağlıdır. Bunlar:

- a) İyonik bağ ve
- b) Kovalent bağ

Iyonik Bag

Son yörüngesindeki elektron dağılımını başka bir elemente elektron vererek ya da başka bir elementten elektron alarak ideal gaz konumuna getirebilen elementler iyonik bag yaparlar. Örneğin NaCl molekülünü ele alabiliriz. Na atomunun 11 elektronu vardır ve bu elektronlar $1s^2 2s^6 2p^6 3s^1$ şeklinde dizilmiştir. Dolayısıyla Na son yörüngesindeki elektronu vererek ideal gaz Ne 'un yörünge sistemine benzer dizilime sahip olarak +1 değerlik kazanır. Diğer yandan 17 elektronu $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ şeklinde yörüngelere dizilmiş olan Cl atomunun, en yakın ideal gaz olan Ar'a benzemek için bir elektrona gereksinmesi vardır. Cl böylece Na'un verdiği elektronu alarak ideal gaz dizilimine erişir ve -1 değerliğe ulaşır. Bu yolla Na^+ ve Cl^- iyonları arasında oluşan bağa iyonik bag denir. İyonik bağda yer alan elektronlar atomlar etrafında yoğunlaşmış küresel bir bulut şeklindedir (Şekil: 3.3).

Kovalent Bag

Kovalent bağlı elementler, ideal gaz konumuna gelebilmek için gereken elektronları paylaşırlar. Örneğin SiO_2 molekülünde Si' nin +4 yükü sadece kendi elektronu üzerinde değil aynı zamanda O^{-2} 'nin elektronları üzerinde de etki ederek dış elektron yörüngesinde önemli bir deformasyona neden olur.

Dış yörüngenin bu deformasyonuna polarizasyon adı verilir. SiO_2 örneğinde elektron yoğunluğu incelendiğinde, iyonlar arasındaki yoğunluğun NaCl örneğine oranla daha fazla olduğu görülür. Elektronlar belirli ölçüde iki atom tarafından ortaklaşa kullanılır.

NaCl örneğinde Na^+ ve Cl^- iyonları arasındaki bağ ve katyonun polarizasyon etkisi zayıftır. Bu yüzden ki NaCl erime sıcaklığının üzerinde ısıtıldığında hemen sıvı faza geçerek hareketliliği yüksek olan bir sıvı oluşturur. Erime sıcaklığının altına soğutulur soğutulmaz ise kristallenerek katı faza geçer. SiO_2 'de ise durum farklıdır. Si $+4$ yüklüdür ve küçük bir katyondur. Çevresi ise dört adet büyük O^{2-} iyonu ile tetrahedral yapıda sarılıdır. Si^{+4} ile O^{2-} iyonları arasındaki çekim kuvveti çok yüksek olduğundan, SiO_4^{-4} tetrahedronlarının biraraya gelmesiyle sert ve katı bir madde oluşur.

Bu yapı uzayda üç boyutta ilerleyen silika ağ yapısını oluşturur. Sıvı fazda Si^{+4} ve O^{2-} iyonları arasındaki çekim kuvveti çok yüksek olduğundan, iyonların hareket etme imkanları çok azdır. Bu yüzden viskozite çok yüksektir. Erime sıcaklığının altına hızla inildiğinde (silika için 1710°C) iyonlar organize olmak için zaman bulamaz. Böylece sıvı fazdaki düzensiz hallerini koruyarak camı yapıyı oluştururlar. Ancak sıvı silika çok yavaş soğutulursa daha öncede belirtildiği gibi düzenli kristal yapıları katılar oluşur Rawson (1967).

Ergimiş haldeki haldeki bir maddenin akışkanlığı ve buna bağlı olarak o maddenin cam yapma yeteneği o maddedeki bağların iyonik ya da kovalent olması ile yakından ilgilidir. Bu bağlar söz konusu olunca iki önemli kavram ortaya çıkar. Bunlar ise:

- a) Katyon ve anyonun değerlikleri (sırasıyla v_c ve v_a),
- b) Katyon ve anyonun yarıçaplarıdır (sırasıyla r_c ve r_a)

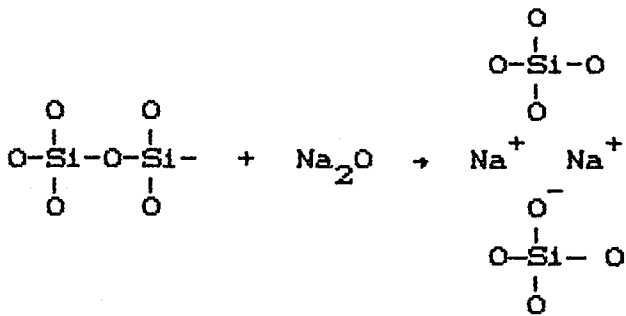
Burada, temel metal gruplarının ağ yapıdaki yerleşim düzenleri ve oluşturdukları yeni yapının özelliklerini incelemek gerekir. İşte bu yapı farklılaşmaları, cam özelliklerini de etkileyecektir.

3.4.1. Alkali Oksitler

Camsı sikanın moeküler yapısındaki Si ve O atomları tetrahedral yapı oluşturmaktadırlar. Bu yapıda bulunan Si-O-Si bağları son derece kuvvetli bağlardır. Bu bağlardaki O iyonlarına camın ağ yapısını oluşturması nedeniyle, köprü kuran (bridging) oksijen adı verilir.

Periyodik tablonun IA grubunu oluşturan Li, Na, K, Rb, Cs elementlerinin ortak özelliği, son yörüngelerinde tek bir elektron bulunması ve bu elektronu kolayca vererek iyonik bağ kurmalarıdır (Şekil:3.3). Bu özelliğe sahip alkali oksitler silika ağyapısına sokulduğunda ağ yapının sürekliliği bozulur.

Alkali ile yapıya giren O iyonları, aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi, Si-O-Si bağlarını kırarak, köprü kurmayan (non-bridging) oksijen iyonlarını oluştururlar. Tek bir bağ kuran bu O iyonları negatif yüklüdür. Buna karşılık pozitif yüklü olan alkali iyonları, elektriksel nötrlüğü sağlayabilmek için köprü kurmayan negatif yüklü oksijen iyonlarına yakın noktalara yerleşirler.



Alkali oksitlerin yapıda önemli ölçüde değişiklik olur. Böylece yeni kompozisyona sahip olan camın bazı özellikleri değişir. Çaplarının büyüklüğüne göre sınıflandıracak olursak, alkali oksitleri iki gruba ayırmak gerekir.

Li ve Na küçük iyonlar grubunda yer alır. Ancak K, Rb ve Cs büyük iyonlar gruna girerler. Alkali metal iyonları içinde en küçük çapa sahip olan Li^+ , oldukça kuvvetli bir çekim kuvvetine sahiptir. Böylece ağ yapıda yer alan negatif yüklü oksijenlere sıkıca tutunarak camın kimyasal dayanıklılığını geliştirirler. Fakat Li, iyon çapının küçük olmasından dolayı ağ yapıda boşlukların oluşmasına neden olur ki bu da camın yoğunluğunu büyük ölçüde azaltır.

Li ile aynı gruba girmesine rağmen, Na^+ iyonunun durumu biraz daha farklıdır. Na, iyon çapının Li^+ iyonundan daha büyük olması nedeniyle onun kadar kuvvetli bir çekim kuvvetine sahip değildir. Bu yüzden negatif yüklü ve köprü kurmayan oksijenlere doğru çekimi kuvvetli olmayacağından, yerleştiği noktalardan kopması daha kolay olur. Bu olay ise camın kimyasal dayanıklılığını, Li'un tersine olumsuz yönde etkileyecektir.

Daha büyük bir iyon çapına sahip olan K^+ ise, Na^+ ve Li^+ iyonuna göre biraz daha hareketsiz olup, çekim kuvveti de oldukça düşüktür. Bu yüzden K-O bağı Na-O bağına göre 1/3 oranında daha zayıftır. Bu noktada K^+ iyonunun kolaylıkla cam yapısından kolaylıkla ayrılabilceği akla gelebilir. Ancak gerçekte durum farklıdır. Çekim kuvveti zayıf olmakla birlikte, iyon çapının büyüklüğü nedeniyle hareketsizleşen K^+ , cam yapısını kolayca terk edemez.

Alkali metaller içinde en büyük atom ağırlığına sahip olan Rb ve Cs içinse durum biraz daha değişiktir. Bu elementler iyon çaplarının büyüklüğü nedeniyle elektrik yüklü bir alanda hemen hemen hareketsizdirler. Bu özellikleri sayesinde yapısı içinde yer aldıkları camın elektrik yalıtım özelliklerini önemli ölçüde geliştirirler.

Diger yandan en zayıf bağları kuran alkali metaller olarak camın ısı genleşme katsayısını, bir başka deyişle, sıcaklığa bağlı boyut değişim miktarını diger alkali metallere daha fazla arttırırlar.

3.4.2. Toprak Alkali Oksitler

Periyodik tabloda II A grubunda yer alan elementler toprak alkali metaller grubunu oluşturlar (Şekil: 3.3). Son yörüngelerinde bulunan iki elektronu vererek iki iyonik bağ yapabilen toprak alkali metalleri +2 değerlik alırlar. Bu grubun üyeleri de tıpkı alkali iyonları gibi süreklilik halindeki silika ağ yapısını bozarlar. Fakat + yüklü katyonlar olduklarından, herbiri iki adet köprü kurmayan oksijen bağı oluşturur. Böylece alkali metallere daha kuvvetli bağlarla ağ yapıya tutunurlar.

II A grubunun en düşük çaplı elementi Be'dur. Dört elektronu bulunan Be atomu bu grubun diger üyelerinden farklı bir özelliğe sahiptir. Bulundurduğu dört elektronun $1s^2 2s^2$ yerleşmesi gerektiği düşünülürse de, Be gerçekte sp^3 hibriti oluşturarak kovalent karakterli dört değişik bağ kurabilir. Bu yüzden bir ağ yapıcı gibi davranarak köprü kuran oksijenlere bağlanır ve silika ağ yapısını bozmadan yapıda yer alır. Bu nedenle camın kimyasal dayanıklılığını da geliştirir. Bu kolaylıklarının yanı sıra Be 'un oldukça zehirli bileşikler oluşturması, bu elementin kullanımı sırasında çok sıkı sağlık önlemleri alınmasını gerektirir. Bu yüzden Be ticari camlarda kullanılamaz.

III A grubunun camda en çok rastlanan elementleri Ca ve Mg 'dur (Şekil: 3.3). Yapısında bulundukları camın özelliklerini aynı yönde etkilemelerine rağmen bu elementlerin ağ yapıdaki yerleşim biçimleri arasında bazı temel farklılıklar vardır.

Ca III A grubunda kendisini izleyen Sr ve Ba ile beraber, özellikleri Mg'dan farklı olan üçlü bir grup oluşur. Ca cam yapısında oldukça güçlü bağlar yapar. İyon çapı Na'un iyon çapına yakın olmasına rağmen, Ca'un iki değerlikli olması ağ yapıya daha sıkı tutunmasını sağlar. Na'dan farklı olan bu özellik, camın kimyasal dayanılabilirliği söz konusu olduğunda daha fazla önem kazanır.

Mg kendi grubunda bulunan elementlerden farklı olarak daha kovalent bir karaktere sahiptir. Çapının düşüklüğü nedeniyle O üzerinde polarizasyon etkisi vardır. Cam yapısında 12 elektronu ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$) genellikle sp^3d^2 hibridi oluşturarak altılı koordinasyona sahip olur. Fakat Mg 'ondörtlülük koordinasyona sahip olduğu durumlar da vardır. Böylece koordinasyon sayısına camın fiziksel özellikleride farklılıklar gösterir.

3.4.3. Aluminyum ve Bor

Periyodik tablonun III A grubunda yer alan Al ve B, cam yapısı için büyük önem taşır. Al bir ağ yapıcı değildir. Ancak cam yapısı içinde Si'ye çok yakın özellikler göstermesi ilginçtir. Eşit derecede iyonik ve kovalent karakter gösteren Al, düşük iyonik çapı ve yüksek elektrikçe yükü (üç) ile çok güçlü bir Al-O bağı kurar.

SiO_4 tetrahedronu ile yaklaşık olarak aynı büyüklükte bir AlO_4 tetrahedronu yapan ve bu yüzden Si'e benzerlik gösteren Al, kendi başına polimerleşerek cam oluşturamaz.

Al silika camı içinde, camdaki metal oksit tür ve oranlarına bağlı olarak dört ya da altı koordinasyonlu (komşulu) halde bulunabilir. Al_2O_3 ' in molar oranıyla Na_2O oranı aynı seviye ye gelinceye kadar Al dört koordinasyonlu iken bu oranın üzerinde Al_2O_3 artışı ile birlikte altı koordinasyonlu Al oranı da artar. Li içeren silika camlarında da Al altı oksijenle çevrelenmiştir.

Bir p elementi olan Al cam yapısında birleşiklerinde sıklıkla karşılaştığımız sp^3-d^2 hibritleşmesini değil, sp^3 hibritleşmesini tercih eder. Bu hibritleşme oluşan tetrahedronun köşelerine doğru yönelen güçlü bağlar anlamına gelir.

Kendi başına cam yapıcı olan B, aynı zamanda silikat cam yapısında yer aldığı anda bazı değişiklikler meydana getirir. Ancak Si'den farklı olarak yapıda iyonik bağlı elementler varsa üç yada dört koordinasyonlu olmak üzere iki türlü yapı oluşturur. B her iki koordinasyonunda da yüksek çekim kuvvetine sahiptir. Bu yüzden B-O bağı çok kuvvetlidir. Ancak $[BO_n]$ yapı taşlarının birbirine olan bağları yüksek sıcaklıkta oldukça zayıftır. Bugüne kadar B'nin bu davranışı ayrıntılı bir şekilde açıklanamamıştır. Bu özellik sayesinde B kolay erime özelliği ve akışkanlığı da beraberinde getirir. Bor hem kendinin ağı yapı oluşturduğu camlarda, hem de silikat camlarında bu özelliğini korumaktadır.

3.4.4. Geciş Elementleri

Fe, Co, Cr, Ni, gibi geçiş elementleri de, cam yapısı içindeki davranışlarıyla özellikle renkli cam üretimi bakımından önem taşır. Bu elementlerin tam dolu olmayan orbitalleri vardır. Sahip oldukları açısız bağımlılık nedeniyle bu orbitaller kuşatıldıkları cam matrisinin baskısı altında orbital bölünmesine uğrarlar.

Beş adet d orbitali, birbirinden çok az farklı düzeylere oturan bozulmuş enerji gruplarına ayrılır. Cama giren düşük enerjili bir foton, bir başka deyişle, bir ışık parçacığı, bir elektronu kolaylıkla az farkla daha yüksekte bulunan bu bozulmuş enerji düzeylerinden birine çıkarabilir.

Bu olay sırasında o foton yutulmuş olur ve bu yüzden de biz camı renklenmiş olarak görürüz. Kırmızı, turuncu ve sarı gibi uzun dalgaboylu, dolayısıyla da düşük enerjili olan bu ışınlar geçiş elementlerini içeren camlar tarafından soğurulduğunda, bu camlar mavi, yeşil, mor renklere sahip olurlar. Örneğin; Cr^{+3} cama yeşil, Fe^{+3} mavi-yeşil, Mn^{+3} mor, Co^{+2} ise mavi renk verirler. Bu elementler camdaki değerliklerine bağlı olarak farklı ışınları soğururlar.

3.4.5. Nadir Toprak Elementleri

Camı renklendirmek amacıyla kullanılan diğer tür katkı maddeleri de nadir toprak elementleridir. Fakat bu elementler ekonomik olmadıkları için geçiş elementlerine tercih edilmezler.

Nadir toprak elementleri lantanitler ve aktinitlerden oluşur. Bu grup tam olarak doldurulmamış f orbitalleri içerir. Fakat bu orbitaller geçiş elementlerinde olduğu gibi bozulmuş orbitallere ayrılmış değildir. Bu orbitaller arasında foton yutulması sırasında meydana elektronik geçişler, camın renklenmesine neden olur. Örneğin; Ce^{+3} sarı, Pr^{+3} yeşil Nd^{+3} ise mor-pembe bir renk elde etmek için kullanılır.

3.5. CAM TIPLERİ

Camları farklı açılardan sınıflandırmak mümkündür. Bir başka deyişle, farklı kriterlere göre cam tipler belirlenebilir. Buna göre camlar:

- Camın kimyasal özelliklerine göre,
- Camın fiziksel özelliklerine göre
- Camın kullanılış amacına göre

sınıflandırılabilir. Ancak, bu sınıflandırmalar arasında en yaygın kullanılan cam sınıflandırması camın kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmasıdır. Burada camlar sadece kimyasal özelliklerine göre sınıflandırmaya göre incelenecektir.

3.5.1. Sodali Camlar

Bu tip camlara sodalı camlar dendiği gibi soda-kireç camı da denmektedir. Bu tip camlar, günümüzde en yaygın kullanılan camlardır. Pencere camından, şişe camına kadar farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. İşlenme sıcaklığı oldukça düşüktür. Isı değişimlerine ve kimyasal etkilere karşı fazla dayanıklı değildirler Görsel (1984).

Bileşimi geniş sınırlar arasında değişebilmektedir. % 70-74 SiO_2 , % 13-17 Na_2O , % 5-14 CaO , % 0,5 MgO ve % 1-2 Al_2O_3 içerirler. Tablo: 3.1'de en çok kullanılan sodalı camların bileşimleri görülmektedir Meydan Larousse (1992).

Tablo: 3.1.

En Çok Kullanılan Sodalı Camların Kimyasal Bileşimi

Cam Tipi	Kimyasal Bileşimi (%)		
	Silis	Soda	Kireç
Ayna Camı	72,0	12,5	11,5
Pencere Camı	72,0	14,0	9,0
Beyaz Şişe Camı	73,0	16,5	8,5
Şişe Camı	70,0	14,5	9,0

3.5.2. Borosilikat Camı

Isıya dayanıklı cam olarak bilinirler ve halk dilinde kısaca "borcam" olarak anılmaktadırlar. Genleşme katsayısı çok düşük olduğundan ani sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklıdır.

Bu tür camlar genellikle, % 73-82 SiO_2 , % 5-20 B_2O_3 , % 3-107 Na_2O , % 2-3 Al_2O_3 içerirler. Bu bileşim, bu tip camlara kimyasal etkilere karşı da dayanıklılık özelliği kazandırır. Önceleri kimyasal işlemlerde kullanılan araç ve gereçler için kullanılırken, son zamanlarda günlük yaşamımızda da yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

3.5.3. Kurşunlu Cam (Kristal Camı)

Kristal yapımında kullanılabilen üstün nitelikli bir cam türüdür. Ayrıca, üstün optik nitelikleri nedeniyle optik cam ve kaliteli aynaların yapımında kullanılır.

Temel olarak, cam yapısında kalsiyum yerine % 7-15 oranında PbO katılmış soda-kireç camıdır.

3.5.4. Silis Camı

Saf silisyum dioksit camıdır. Çok yüksek sıcaklıklarda çalışılarak elde edilirler. Elde edilmesinin güçlüğü nedeniyle de pahalıdırlar. Genleşme katsayısı çok küçük olduğundan kızıl sıcaklığa kadar ısıtılmış bir silis camı suya sokulursa çatlamaz Rothenberg (1976).

3.5.5. Özel Camlar

Yukarıda tanıtılan cam tiplerinden ayrı olarak farklı amaçlar için özel olarak imal edilen camlar da mevcuttur. Bunlar arasında; içlerine az oranda metal oksit katılarak elde edilen çeşitli renkli camlar sayılabilir. Nikel oksit borosilikat camını sarıya, sodalı camı kırmızımsı menekşeye boyar. Kobalt oksit mavi ve bakır oksit yeşilimsi mavi renk verir.

Ayrıca; içlerine ince tel konulmuş "telli camlar", üretilebilir. Bu tip camlar, kırıldıklarında dağılmazlar.

"Buzlu cam" olarak nitelenen camlar, saydamlıklarını kaybetmişlerdir. Buzlu cam fiziksel ve kimyasal yolla elde edilebilir. Yüzeyine ince kum püskürtülerek elde edilen buzlu camlar fiziksel yoldan elde edilen buzlu camlardır. Fluorürler ile aşındırarak ise kimyasal yoldan buzlu cam elde edilebilir. Kimyasal yolla elde edilen buzlu camlar çeşitli yazı ve figürlerle bezenerek, dekoratif cam olarak kullanılabilir. kullarılabilmektedir.

İki cam arasına saydam bir plastik levha konarak cam imal edilebilir. Bu tür camlar, otomobil camı olarak kullanılmaktadır Rothenberg (1976).

Camın yüzeyi çok ince bir gümüş katmanıyla kaplanırsa, bu yüzeyinden ışığı yansıtır. Bu tip camlar, dışarıdan içeriği göstermeyen camlardır. Günümüzde bina cephelerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

BÖLÜM: 4

CAMLARIN ÇEŞİTLİ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

VE

ÇEŞİTLİ ETKİLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

4.1. CAMIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Camın çok çeşitli yönlerden incelenmesi, onun öncelikle fiziksel özelliklerini ilgilendirir. Bu bakımdan, camın fiziksel özellikleri ve bu özellikleri ile farklı etkiler altındaki davranışları ele alınarak incelenecektir.

4.1.1. Viskozite

Viskozite camın önemli bir özelliğidir. Akışkanlardaki viskozluk, katıların hareketindeki sürtünme ile karşılaştırılabilir. Viskozite kavramı çok çeşitli durumlarda önem kazanır. Viskozluk, göreceli harekette akışkan tabakaları arasında teget kuvvetler meydana getirir Kelle(1996)

Camın erime ve şekillendirme özelliklerini belirleyen faktör, camın viskozitesinin sıcaklığa bağlı değişimidir. Cam endüstrisinde şekillendirme kalıpları sabit viskoziteye sahip camla sürekli beslenebilmelidir ki; çıkan ürünler fiziksel açıdan birbirinin aynısı olsun Sişe Cam (1992).

Düz cam üreten bir fırında maksimum sıcaklık yaklaşık olarak 1500°C 'dir. Bu sıcaklıkta eritme bölgesindeki cam eriyiğinin viskozitesi oda sıcaklığındaki şerbetin viskozitesine eşittir. Sıcaklık 500°C iken camın viskozitesi oldukça fazla artar ve elastik katılar gibi davranır.

Camda Viskozitenin Kimyasal Kompozisyona Bağlı Olarak Değişimi

Ticari camlar, yaklaşık olarak 1400°C sıcaklıkta eritilir. Buradaki temel oksit SiO_2 'dir ve çok yüksek erime sıcaklığına sahiptir. İşte bunun sebebi de Si-O bağlarının oldukça kuvvetli bağlar oluşturmalarıdır. SiO_2 'in meydana getirdiği cam yapısına daha başka metal oksitlerin ilave edilmesiyle meydana gelen camın viskozitesi de değişecektir.

Alkali oksitler cam yapıcı oksit olan (SiO_2) moleküllerindeki bağları parçalar ve zayıflatır. Böylece alkali oksitler genelde viskoziteyi düşürür ve erimiş camın akıcılığını arttırır. Bir başka deyişle, viskozite alkali oksitlerin atom çapları ile ters orantılıdır. Bu durumda bir sıralama yapmak gerekirse $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O} < \text{Li}_2\text{O}$ şeklindedir.

CaO , ZnO ve MgO gibi toprak alkali oksitlerin düşük sıcaklıklarda viskoziteyi önemli ölçüde arttırıcı etkileri vardır. Bu oksitler yüksek sıcaklıklarda viskoziteyi düşürdükleri için cam viskozitesini kararlı hale getirirler. PbO 'in ise viskoziteyi düşürücü etkisi vardır. Bu PbO yüzdesine ve içinde yer aldığı sisteme bağlı olarak viskozite daha fazla olabilmektedir. Al_2O_3 ise bütün sıcaklıklarda viskoziteyi arttırır Sise Cam (1992).

Her oksitin viskoziteye etkisi içinde bulundukları oksit sistemine ve oksit yüzdelerine bağlıdır. Bir sistemde bu tür etkiye sahip olan oksit sistem değiştiğinde şiddet ve yön olarak farklı bir etkiye sahiptir. Oksitlerin birbirine etkisini farklı sistemlerde ayrı ayrı değerlendirmek gerekir.

4.1.2. Camın Isıl Özellikleri

4.1.2.1. Camda Isı Transferi

Genelde metaller ısıyı iyi iletirler ve ısı iletim katsayıları yüksektir. Ancak metal dışı birçok malzeme ve bu arada cam, seramik ve porselen ısı iletiminde aynı davranışı gösteremezler. Bu tür malzemeler ısı iletiminde kötü iletken malzeme olarak tanınırlar Stanek (1977).

Cam için literatürlerde verilen ısı iletkenlik değerleri birbiri arasında değişkenlikler göstermektedir. Bunun sebebi ise camda ısı iletkenliğinin ölçümünün zor oluşudur. Bir başka deyişle, farklı elemanlar içeren camın yapısının tümüyle homojen olmaması ısı parametrelerine etkimektedir.

Cam imalatı sırasında radyasyonla ısı yayılımı bilhassa önemlidir. Isı yayınma cam türlerine göre değişir.

4.1.2.2. Camın Isıl Genleşmesi

Camın en belirgin fiziksel özelliklerinden biriside ısı genleşmedir. Isı genleşme cam üretiminin denetlenmesinde en güvenilir ve çok sık kullanılan bir denetim parametresidir. Bunun sebebi ise ölçümün pratikliği ve kompozisyonel değişmelerin çok duyarlı bir şekilde incelenebilmesidir.

Isı genleşme kompozisyona ve sıcaklığa bağlı olarak çok hasas değişmeler gösterir. Böylece cam teknolojik bakımdan daha çok önem kazanmış ve uygulama alanları artmıştır. Burada ısı stres sıcaklık değişimi ile orantılıdır ve yüksek sıcaklıklarda birbirine kaynatılan cam-cam ya da cam-metal kaynaklı aygıtların kullanımını engellemiştir.

SiO_2 bağlarını kırıp zayıflatarak atom ve moleküllerin ısıtılma titreşim genliğini ve buna bağlı olarak camın genişlemesini arttıran oksitlerin başında alkali oksitler gelir. Alkali oksitlerin bu yüzden harman erimesini kolaylaştırıcı etkileri vardır. Ayrıca Na_2O , K_2O , Li_2O alkali oksitlerin ısıtılma genişlemeye etkisi de, kendi aralarında önemli ölçüde farklılaşmalar göstermektedir.

Alkali borat camlar daha farklı bir davranış sergilemektedir. Bu özel duruma borik oksit anomalisi denmektedir. CaO , MgO gibi toprak alkali oksitler de ısıtılma genişlemeyi arttıırırlar. Bu artış alkali oksitlerde olduğundan daha azdır. Ayrıca alkali oksit yerine toprak alkali oksit konulduğunda ısıtılma genişleme katsayısı düşmektedir.

Camın ısıtılma genişlemesi, camın ısıtılma geçmişine de bağlıdır. Camın tavllanmış olup olmaması, tavllanmış ise bunun derecesi ve hatta camın kullanılmış olması, genişleme ile beraber ölçülen cam dönüşüm sıcaklığı, doğal olarak cam özelliklerini etkiler Şişe Cam (1992).

4.1.3. Camın Yoğunluğu

Camın nitelenmesinde ve cam üretiminin denetim altına alınmasında en çok kullanılan cam özelliklerinden biriside camın yoğunluğudur. Cam yoğunluğu ,cam yapısındaki oksit değişimlerinin en hassas şekilde tespit edilmesini sağlar. Cam yapısındaki oksit değişimlerine karşı alınacak önlemlerin belirlenmesinde cam yoğunluğu etkin şekilde kullanılır. Böylece uygulanan ısıtılma işlem düzeninin uygunluğu ve kararlılığı konusunda denetim ve yeniden düzenleme olanakları da vardır.

Cam yoğunluğunun mutlak değeri, cam bünyesindeki oksitlerin tür ve miktarına bağlıdır. Burada ayrıca camın ısı geçmişi de önemlidir. Yoğunluğun değişim yön ve miktarına bakarak cam kompozisyonundaki bazı oksitlerin artış ya da azalması kestirilebilir. Böylece harman denetimi etkin şekilde sağlanır.

Çeşitli oksitlerin yoğunluğa etkisi, oksitin cam yapısında oynadığı role, molekül kütlesine ve molekülün bağ kuvvetine bağlı olarak değişir. Cam bileşenleri içinde cam yoğunluğuna en az katkı SiO_2 gibi cam yapıcı oksitlerden gelmektedir (Şişe Cam (1992)).

Cama alkali oksitlerin katılması yoğunluğu artırıcı yönde etki yapar. Çünkü alkali oksitler, SiO_2 bağlarını parçalarken bir yandan da SiO_4 örgüsü içindeki boşlukları doldurmakta ve cam yoğunluğunu arttırmaktadır. Bu artış aynı zamanda alkali oksit elementinin kütle miktarı ile de orantılı olarak değişir. Bu artışta küçükten büyüğe doğru Li-Na-K sırası izlenmektedir.

Alkali oksitlerin kırıp parçaladıkları SiO_2 yapısına kararlılık kazandıran toprak alkali oksitler, iki değerlikli oluşlarına bağlı olarak yarattıkları kuvvetli etkileşme ile bütülmeye ve yoğunluk artışına yol açarlar.

Toprak alkali oksitlerin cam yoğunluğuna etkisinin belirlenmesinde alkali oksitlerde olduğu gibidir. Bu oksit elementlerinin kütle ağırlıklarının dikkate alınması gereklidir.

4.1.4. Camın Homojenliği

Başlıca cam özelliklerinden birisi de homojenitedir. Homojenite ,cam kütlesi içinde bütün noktalardaki kimyasal kompozisyonun aynı olmasıdır. Bir başka deyişle, cam bünyesinde yer alan bütün oksitlerin cam kütlesinin her yanında dengeli olarak dağılması, çeşitli oksitler arasındaki kimyasal ve fiziksel anlamda etkileşmelerin tamamlanmış olmasıdır. Camın çeşitli noktaları arasındaki kompozisyon farklılığı ise inhomojenite olarak adlandırılmaktadır Holland (1964).

Uygulamada ideal homojen cam yapılması mümkün değildir. Bununla beraber, Cam türüne göre kullanım alan ve amacına bağlı olarak belirli bir sınırın üzerinde homojen olmayan bir duruma verilmez. Homojenite olgusu cam üretim ve kullanımında sorun olma özelliğini sürdürmektedir.

Homojenite, camın habbelerden arındırılmasıyla birlikte, camın eritme ve şekillendirme evreleri arasında ortaya çıkan kimyasal etkileşmelerin ve kütle aktarımı işlemlerinin tamamlanması olayıdır. Camın homojenitesi ile oksitlerin difüzyonu arasında yakın ilişki vardır.

Sıcaklık artışına bağlı olarak cam viskozitesinin azalması ve oksitlerin difüzyon olasılığının artması camın homojenleşmesinin ilk koşuludur. Diğer bir koşul ise homojenleşme sıcaklığında (fırın sıcaklığında) kalış süresini artırmaktır. Bunun anlamı cam çekiş hızının, camın homojenliği ile kısıtlı olmasıdır. Ancak, camda inhomojenite oluşumu çeşitli nedenlere dayanabilmektedir Şişe Cam (1992).

4.2. ELEKTROMANYETİK RADYASYONUN CAM ÜZERİNE ETKİSİ

Elektromanyetik enerji, ulaştığı noktada kendi niteliğine bağlı olarak farklı etkiler yapar. Çünkü kaynağında yüklenmiş olduğu enerjiyi bu varış noktasına getirmiştir.

Elektromanyetik enerjinin önemli niteliği onun frekansıdır. Yüksek frekanslı olan, bir başka deyişle, belli bir süre içinde daha fazla sayıda titreşim yapan dalga, daha yüksek enerjiye sahiptir ASME (1963).

Elektromanyetik dalganın ilerleme hızı sabit olduğu için frekans arttıkça dalga boyu azalacaktır. Varış noktasında elektromanyetik dalganın (ya da fotonların) yaratacağı etki de bu enerji düzeyine, yani titreşme frekansına bağlıdır. Frekans artıp dalgaboyu kısaldıkça dalga enerjisi de artmaktadır. Burada ortaya çıkan sonuç, radyo dalgalarından radyo dalgalarından yeşil renge, morötesi ışınlardan kozmik ışınlara değin bütün ışınımın birbiri benzer olduğudur Suppan (1994).

Ancak, camın elektromanyetik radyasyon ailesi üyelerine karşı davranışları farklılıklar arz etmektedir. Örneğin Elektromanyetik radyasyonun, görünür ışık bölgesi için cam, saydamdır bir başka deyişle geçirgen, transperant bir malzemedir. Elektromanyetik radyasyonun enerjitik üyelerinden olan X ve gama ışınları ise enerjilerine bağlı olarak, camda farklı etkiler meydana getirebilmektedirler.

4.2.1. Camın Optik Özellikleri

Camın önemli bir malzeme haline gelmesinde camın optik özelliklerinin yer büyüktür. Bir başka deyişle, camın saydamlığının, ışığı kırmasının, dağıtmasının ve renklendirmesinin önemi büyüktür.

Bilindiği üzere, ışık, uzayda herhangi maddi bir ortama gerek duymadan sabit hızla yol alan elektromanyetik enerjinin insan gözü tarafından algılanabilen kısmıdır. Görünür ışık, 400-700 nm yayılmış bulunan bu bölge içinde yer alan farklı frekansdaki enerjiler gözde farklı etkiler yaratır ve bu farklılıklar renk olarak algılanır Hilger (1973).

4.2.1.1. Kırılma İndisi

Boşlukta sabit olarak ilerleyen ışık daha yoğun bir ortama girdiğinde hızını azaltır. Işık her saydam malzeme içinde sabit bir hızla yol alır. Havada hızlı, suda yavaş, camda ise daha da yavaş ilerler.

Farklı bir ortama söz gelimi bir cama belli bir açıyla yaklaşan bir ışık demetinin bu ortama bütün kısımlarının aynı anda girmesi mümkün olamaz. İlk giren kısımlar sonra giren kısımlardan daha önce hızlarını azalttıkları için ışın yönünü değiştirir. Işığın malzeme içindeki bu ilginç davranışı sayesinde eğri yüzeyli camların, bir başka deyişle, merceklerin, ışığı yönlendirmek ve odaklamak için kullanılmaları mümkün olmuştur.

Camın kırma indisi, onun ışığı kırma gücünün bir ölçüsüdür. Yukarıdaki şekilde tanıma göre kırılma indisi n şu şekilde ifade edilebilir:

$$\eta = \sin \alpha / \sin \beta$$

(4.1)

Burada; sırasıyla, α geliş açısı, β ise kırılma açısıdır.

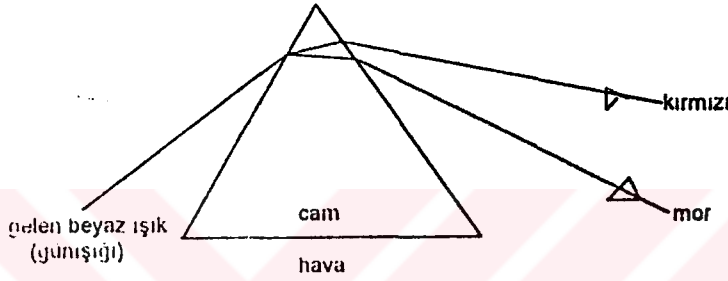
Borosilikat camının kırma indisi 1.47, kurşunlu kristal camınki ise 1.55'dir. Borosilikat camın daha plastiğe benzer görüntüsü, kristal camınsa daha pırıltılı ve göz alıcı olmasının nedeni, gerçekte, kırma indisleri arasındaki bu farktır Richards ve diğ. (1982).

Camların kırma indisleri arasındaki farklılaşma yaratan faktör, camın içinde yer alan metal iyonlarının ışıkla etkileşim sonucunda meydana gelen elektron hareketleridir. Örneğin kurşun büyük bir atomdur ve zayıf bağlarla çekirdeğe bağlı olan dış yörüngeleri ışığın elektrikselsel ve magnetik alanları tarafından kolaylıkla deforme edilerek titreşime sokulur. Bu da ışığın daha fazla soğurulup yavaşlatılmasına, yani daha çok kırılmasına neden olur Şişe Cam (1992).

4.2.1.2. Işığın Dispersiyonu

Farklı bir ortama giren ışığın kırılma derecesi, o ortamın kırma indisinden başka ışığın frekansına ya da dalgaboyuna bağlıdır. Görüntür bölgenin hemen yanında yer alan mor ötesi bölgedeki ışınlar üzerinde camın güçlü bir soğurma yani soğurma etkisi vardır. Bir başka deyişle ışığa ve mor ötesi ışınlara hassas olan malzemelerde ışığın frekansı arttıkça soğurma oranıda artar. Işığın kırılması ile soğurulması birbirine paralel olarak değişen iki olgudur. Mor ötesi bölgeye yaklaştıkça artan bu soğurma, görüntür bölgeye yayılmış bulunan bir kırma indisi farklılaşması yaratır. Richards ve diğ. (1982).

Gün ışığının 400 nm'den yani mor, 700 nm'ye yani kırmızıya dek uzanan dalgaboylarıdaki ışınları bir karışım halinde barındırdığını göz önünde tutarsak, bu ışınlar içinde mor ötesine yakın olanlarının, cam gibi bir ortama girdiklerinde Sekil: 4.1'de görüldüğü gibi, diğerlerinden daha fazla kırılacağını söyleyebiliriz Fouche (1949).



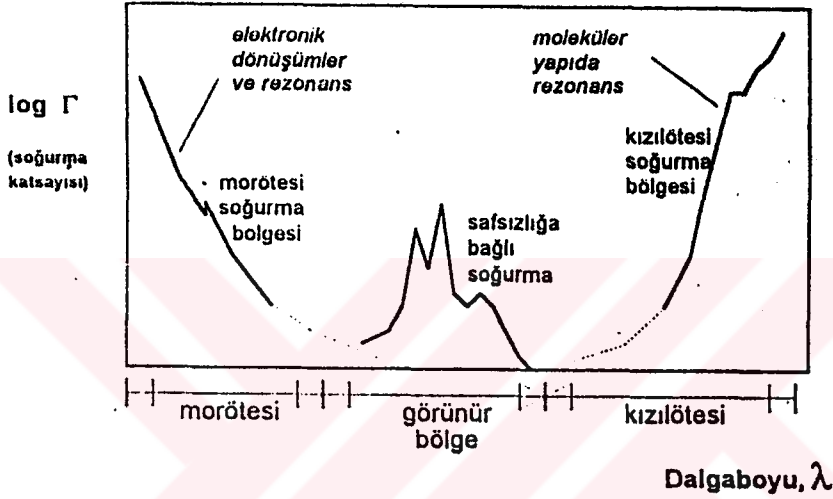
Sekil: 4.1. Işığın Dispersiyonu

Prizmaların, su zerreciklerinin ve kristal avizelerin ışığı renklerine ayırması bu şekilde gerçekleşmektedir. Bu renklerine ayırma dağıtma olayına dispersiyon adı verilir.

Işığı dağıtma kapasitesi camlarda çoğu kez bir tasarım öznesidir. Örneğin kristal ürünlerde dispersiyonun en üst düzeyde olması istenirken, optik sistemlerde dispersiyona izin verilemez. Aksi halde görüntü düzlemine düşen her bir nesnenin farklı renklere kopyaları meydana gelir. Işığı renklerine ayırma yeteneği olarak tanımlanabilecek olan dispersiyon, hem gelen ışığın hem de içinden geçtiği malzemelerin niteliğine bağlıdır Rawson (1967).

4.2.1.3. Işığın Soğurulması

Elektromanyetik enerji malzeme tarafından farklı şekillerde soğurulur. Bu soğurma mekanizmaları Şekil:4.2'de görülmektedir.



Şekil: 4.2. Işığın Madde Tarafından Soğurulması Mekanizmaları

Öte yandan, morötesi gibi yüksek frekanslı ışınlar elektronik hareketlerle soğurulur ve enerjilerini yitirirler. Dispersiyon ile ilgili bölümde belirtilen morötesi soğurma bölgesinin varlık nedeni işte bu elektronik etkileşimlerdir.

Görünür bölgede meydana gelen soğurma ise camda renklenmeye ve koyulaşmaya neden olur. Gün ışığı ya da beyaz ışık çeşitli renklerdeki ışığın bir karışımı olduğundan, bu renklerden birinin soğurulması karışımın dengesini bozar ve camın farklı bir renkte algılanmasına neden olur. Pencere camlarında soğurmanın kontrolü ile binalarda ısı kontrolüne yardımcı olan camlar üretilmektedir Şişe Cam (1992).

4.2.1.4. Işığın Yansıtılması

Herhangi bir malzemeyle karşılaşan ışığın bir bölümü kırılarak malzeme içinden geçer, bir bölümü soğurulur ve bir bölümü ise geri yansır. Yansırma, soğurma ve geçirgenlik arasındaki bağıntı şu şekilde ifade edilebilir:

$$R + \tau + I' = 1 \quad (4.2)$$

Burada R, τ ve I' sırasıyla, gelen ışığın yansıtılma, soğurulma ve geçirilme oranlarıdır. Yansıtma:

$$R = (\eta - 1)^2 + \tau^2 / (\eta + 1)^2 + \tau^2 \quad (4.3)$$

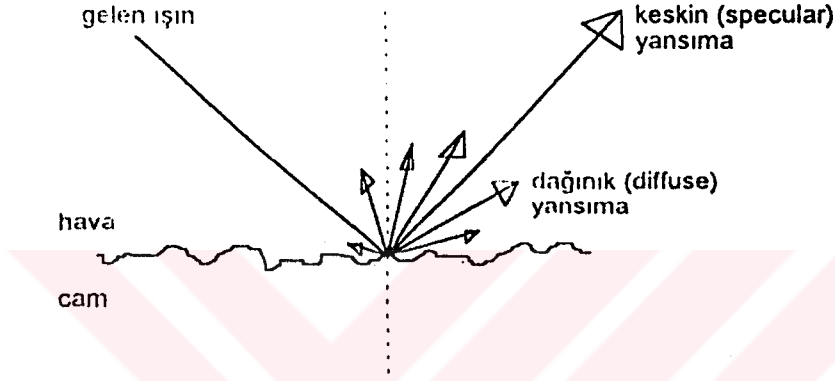
şeklinde yazılabilir. Burada ilginç olan, yansıtmanın hem kırma indisine hem de soğurma oranına bağlı olmasıdır. Bu durumda koyu renkli olan ya da kristal gibi ışığı fazlaca kırılma indisine ve ayrıca soğurma oranına bağlı olmasıdır. Bu saydam bir cam için, $\eta \gg \tau$ olduğundan, Dk: 4.3

$$R = (\eta - 1)^2 / (\eta + 1)^2 \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Metallerde ise, soğurma katsayısı (τ) sonsuza yakındır. Bu durumda, $R = 1$ olur ki, metallerin üzerlerine düşen ışığın hemen tümünü yansıtmaları sonucunu açıklar Sise Cam (1992).

Camlarda yansımada, cam yüzeyinin özelliklerine de bağlıdır. Cam yüzeyi pürüzlü ise yansımada dağınık karakterde, cam yüzeyi parlak ise keskin olacaktır. Bu durum Şekil: 4.3'de görülmektedir.



Şekil: 4.3. Işığın Saydam Bir Yüzeyden Yansımada

Cam yüzeylerinde meydana gelen yansımada da kırma ve soğurma gibi önemli bir tasarım ögesidir. Cam yüzeyinden yansımada istenmemesi durumunda, yüzeyin düşük kırma indisli veya kırma indisi derinlikle değişen bir tabaka ile kaplanması, cam yüzeyinde boşluklu bir yapı oluşturulması düşünülebilir. Buna ilave olarak, cam yüzeyine bir metal oksit kaplama yapılarak belli dalgaboyundaki ışınların yansımalarının önlenmesi ve böylece mercekler içindeki istenmeyen yansımaların önüne geçilmesi mümkündür. Bu durumda kaplama kalınlığı ile yansımada istenmeyen ışığın dalgaboyu arasında belli bir oranın sağlanması gerekir.

4.2.1.5. Işık Geçirgenliği

Yukarıda verilen D_k : 4.2'ye göre cam üzerine düşen ışığın yansımayan ve soğurulmayan bölümü camın diğer yüzeyinden çıkacaktır. Cam içinde beyaz ışığı oluşturan ışınların hemen hepsi aynı oranda soğurulmayacağı için çıkan ışığın renkli olması mümkündür.

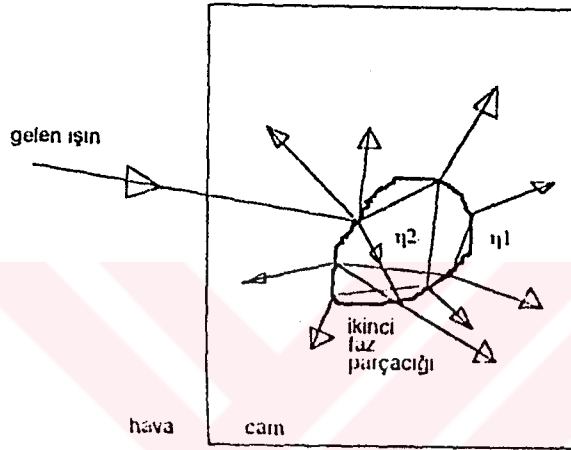
Işık geçirgenliğinden söz ederken hangi dalgaboyundaki ışıktan söz ettiğimizin belirtilmesi gerekir. Örneğin görünür bölgedeki ışık geçirgenlikleri aynı olan iki pencere camı güneş ışığını farklı şekilde geçirebilir Suppan (1994).

Bir başka deyişle, daha uzun dalgaboylarını ve dolayısıyla ve ısıyı geçiren bir cam, görünür ışık geçirgenliği bakımından daha farklı olabilir. Pencere camlarının ışık geçirgenliği denildiğinde ise, farklı dalgaboylarında ölçülen ışık geçirgenliği değerlerinin belli ağırlıklarla oluşturulan ortalaması anlaşılır.

4.2.1.6. Işığın Saçılması

Işığın saçılması; ışığın küçük partiküller tarafından geliş yönü dışındaki yönlerle saptırılmasıdır. Opak camlar, mermer ve seramikler içlerinde bulunan ikinci faz parçacıklarının yarattığı saçılma nedeniyle yarı saydam görünürler.

Saçılmanın gerçekleşebilmesi için parçacık boyunun ışığın dalgaboyundan fazla, parçacık kırma indisinin ise matris malzemeninkinden farklı olması gerekir. Bu durum Şekil: 4.4'de görülmektedir.



Şekil: 4.4 Işığın Saçılması

Saçılma ile ilgili başka bir özellik ise, saçılma oranının (S) ışık dalgaboyunun (λ) dördüncü kuvveti ile ters orantılı olmasıdır Şişe Cam (1992).

$$S = 1 / \lambda^4$$

(4.5)

4.3. CAMLARDA RENK ÖZELLİKLERİ VE RENKLENME MEKANİZMALARI

Renkli bir cismin temel üç niteliği vardır. Bunlar parlaklık, renk ve renk doygunludur. Bunlardan parlaklık, cisimden gözüme ne şiddette ışın yansıdığını ifade eder. Renk ise, o cismin görüntüsünün gözümden yarattığı etkinin bileşkesidir. Renk doygunluğu da, bir bakıma o cismin rengine ne kadar siyah ya da beyaz karışmış olduğudur. Bir başka deyişle, rengin ne kadar canlı ya da pastel olduğudur. Bütün bu renk nitelikleri, renkli camların tasarımında ve camların renksizleştirilmesinde yararlanılan karmaşık ölçüm yöntemi ve analizlerin temelini oluşturur Bamford, C.R., (1977),

Renk gösterme camların renk tasarımında önemli bir yer tutar. Bazı ışık kaynakları altında ya da bazı camlar altında izlenen normal görüntülerdeki renklerin birbirinden ayırt edilmesi, ya da gün ışığı altındaki gibi ilişkiler içinde algılanmaları zordur.

Her ne kadar insan gözü farklı ışık koşulları altında uygun araelamalarla renk düzeltmesi yapma yeteneğine sahipse de bazı koşullar altında doğal renk dengesi tam olarak kurulamaz. Örneğin fümec bir camın renk göstermesi renksiz camınki ile aynıyken, bronz cam, renkleri aynı ilişki içinde veremez. Bir başka deyişle, bronz camın renk göstermesi daha zayıftır.

4.3.1. Camlarda Renklenme Mekanizmaları

4.3.1.1. Renk Odakları

Seramiklerde ve dolayısıyla camlarda yapısal yani atomik bozukluklara rastlanır. Bu bozukluklar radyasyon sonucu ya da stokiyometrik bozukluklara meydana gelmiş olabilir. Bu merkezlerde kapalı kalan lokalize elektronların veya elektron-delik çiftlerinin ışııkla etkileşmeleri sonucunda elektronik transformasyonlar meydana gelir. Fakat bu transformasyonlar düşük düzeyli olduğundan, yani bir bakıma tam olgun olmayan elektronik katmanlar arasında meydana geldiğinden görüntür bölge içindeki ışıığın soğurulmasına neden olurlar Şişe Cam (1992).

Soğurulan renk gelen ışııktan çıkarıldığı için geçirilen ışıık renklenmiş olur. Örneğın soğurularak malzeme içinde ısıya dönüştürülen renk mavi ise, geçen ışıık beyaz ışııktan mavinin eksilmesi nedeniyle sarı olacaktır. Silis camında sürekli radyasyon etkisiyle oluşan renklenmenin nedeni işte bu tür bir yapısal bozukluğun meydana gelesidir.

4.3.1.2. Geçiş Elementleri

Fe, Co, Cr gibi metalleri barındıran geçiş elementlerinin 3d elektron yörüngeleri tam olarak dolu değildir. Yani 10 elektron kapasitesi olan 3d yörüngesi bu elementlerde daha az sayıda elektron içerir. Bu tür iyonlar yabancı bir kristal yapının içinde yer aldıklarında simetrik bir yapıya sahip olan 3d yörüngeleri komşu matris atomlarının uyguladığı ile iki ayrı enerji düzeyine ayrılır. Bu iki enerji düzeyi birbirine oldukça yakındır.

Bu şekilde oluşan yörünge enerji farklılaşması 3d elektronlarının kolaylıkla bir düzeyden ötekine fırlatılmalarını mümkün kılar. Bu da normal elektron hareketlerinde olduğu gibi yüksek frekanslı yani yüksek enerjili ışınların değil, görünür bölgedeki daha düşük enerjili ışınların bu elektronik hareketlerle soğurulmasına neden olur. Örneğin; Co, düşük enerjili kırmızı ışığı soğurur. Sonuçta içinde Co^{2+} bulunan camlar koyu mavi renge sahiptir.

Ticari camlardaki renklendirmelerin hemen tümü geçiş metal iyonları kullanılarak yapılmaktadır. 3d yörünge ayrılması yoluyla cam renklenmesine etki eden faktörler,

1. Metal iyonlarının yörünge yapısı
2. Matris (cam) tipi
3. Element ve oksidasyon durumu
4. Sıcaklık

olarak sınırlanabilir.

4.3.1.3. Nadir Toprak Elementleri

Cam içinde az miktarda bulunan nadir toprak elementleri geçiş metal iyonlarındakine benzer bir mekanizma ile camlarda renklenmeye neden olur. Bu elementlerin söz konusu iyonlarının görünür bölgede ışık soğurmalarına neden elektronik hareketleri, bu iyonların f yörüngeleri içinde meydana gelir. Bu grupta yer alan başlıca renklenmeler

1. Ce^{3+} -sarı
2. Pr^{3+} -yeşil
3. Nd^{3+} -mor-pembe

4.3.2. Metal Parçacıkları ve Plasma Rezonans Soğurması

Bakır, cam içinde Cu^{2+} değerliğinde bulunursa, yani yükseltgen bir atmosfer altında eritilmişse 3d elektron hareketleriyle mavi-yeşil renk elde edilir. Aynı metal farklı bir iyon olan Cu^+ biçiminde cam içinde yer aldığıdaysa kırmızı renk elde edilmiş olur. Ancak Cu^+ 'nın 3d yörünge yapısına baktığımızda bu yörüngenin dolu olduğunu ve bu yüzden de 3d elektron hareketleri ile yukarıda belirtildiği gibi bir soğurma ve dolayısıyla da renklenme olayının meydana gelmesinin mümkün olmadığını gördük. Sise Cam (1992).

Bu durumda bakır ile kırmızı rengin nasıl oluştuğunu açıklamak için metallerdeki elektron havuzunu düşünmek gerekir. İndirgeyici atmosfer altında eritilen cam içinde Cu^+ biçiminde bulunan bakır, bir yarıiletken olan Cu_2O ve metalik bakıra dönüşür. Ancak bu metal parçacıkları çok küçük olduklarından ışığın saçılmasına neden olmazlar. Bu parçacıklar içindeki elektron denizleri yüksek frekanslı ışınlar ile rezonansa girerek bu ışınları şiddetle soğururlar. Böylece nispeten yüksek enerjili olan mor ve mavinin soğurulması sonucunda cam kırmızı renk alır.

Bu soğurma mekanizmasına plazma rezonans soğurması adı verilir. Altınlı kırmızı camlar ve gümüşlü sarı camlarda yine bu şekilde, yaklaşık $200 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) capındaki metal parçacıkların yarattığı plazma rezonansı ile renklenirler. Camlarda renklenme konusu eritme koşullarına ve kullanılan hammaddenin saflığına bağlıdır.

4.3.3. Işığın ve Rengin Ölçülmesi

Işığın ve rengin ölçülmesi konusu; bazı ana kavramların tanıtılması ile mümkündür. Bir başka deyişle, cama ilişkin olarak yapılacak ölçümlerde kullanılacak yöntem; önce kavramsal olarak belirlenmelidir ve standartlara uygun olarak yapılmalıdır.

Herhangi bir rengi farklı renkteki üç ana ışık kaynağından sağlanan ışınlımların uygun oranlarda karışımları ile elde etmek mümkündür. Bu üç ana kaynak genellikle mavi, yeşil ve kırmızı olarak seçilir.

Bilinmeyen bir rengin tanımlanması için uygulanan teori şöyledir. Bilinmeyen renkteki ışınlım, bu amaçla kullanacağımız cihazın fotometrik alanının bir yarısına düşürülür. Üç ana renk kaynağından gelen ışınlılar ise fotometrik alanının diğer yarısına düşürülür. Üç ana ışının miktarları fotometrik alanın diğer yanındaki bilinmeyen ışınlı ayni renk uyumunu verecek şekilde ayarlanır. Bu anda bilinmeyen ışığın rengi mavi, yeşil ve kırmızı renkteki ışınlıların miktarları ile belirlenen sayısal değerlerle tanımlanmıştır Hardy (1966)

Herhangi bir rengin; mavi, yeşil ve kırmızı ışınlıların uygun oranlardaki karışımları ile elde edilebileceği ilkesinden hareketle C.I.E. yani Uluslararası Renk Komisyonu tarafından cisimlerin rengini niceliksel olarak tanımlayan bir renk belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Görünür bölge dalgaboylarında 5-10 nm aralıklarla ölçülen yüzde ışık geçirgenliği değerlerine dayanan bu yöntem, 1931 yılından bu yana kullanılmaktadır.

Parlaklık (% Y): Standartlara göre tanımlanan görünür ışık yüzdesi, bir bakıma cismin saydamlığının ya da parlaklığının bir ölçüsüdür. Parlaklık saydam camlar için % 100'e yaklaşırken, opak camlarda sıfıra kadar iner.

Basat Dalgaboyu: Rengi belirlenen örnek ile aynı renkteki monokromatik ışığın dalgaboyudur. Bir başka deyişle, gözüümüzde cismin rengini oluşturan renk karışımı ile aynı etkiyi tek başına bırakacak bir ışığın dalgaboyudur.

Saflık (% P): Aynı basat dalgaboyundaki % 100 saf renge göre numunenin basat dalgaboyundaki ışık yüzdesidir. Ölçülen renge ne kadar beyaz ya da ne kadar siyah karışmış olduğunun, veya rengin ne kadar pastel ya da doygun olduğunun bir ölçüsüdür.

CIE Renk Diyagramı renklerin x ve y koordinatları işaretlenerek oluşturulmuştur. 400-700 nm yani görünür bölge arasında yer alan tüm saf renkler Renk Diagramını çevreleyen eğri üzerinde yer alır. Beyaz, siyah ve tüm griler ise C noktasında yer alırlar. Diğer bütün renkler ise, saf renkleri barındıran eğri ile C noktası arasında yer alırlar. C noktası sıfır saflığı verirken, bu noktadan uzaklaştıkça, saflık eğri üzerinde % 100 olana kadar artar. Böylece renk tanımlama aracı hazırlanmıştır Hardy (1966)

Renk ölçümü sırasında deney numunesi için spektrofotometre tarafından belirlenen x ve y değerleri ile bu diagrama girilir. C noktasını işaretlediğimiz bu noktaya birleştiren doğru, Renk Diagramını çevreleyen saf renkler eğrisini o cismin basat dalgaboyunda kesecektir. Cisme ait noktanın C noktasından uzaklığı ise bize cismin renginin saflığını verecektir. Böylece cisimlerin renkleri ve parlaklıkları saptanmış olur.

4.3.4. Renksizleştirme

Renksiz camlarda eser miktarda bulunan demir oksit cama yeşilimsi tonda bir renk verir. Bu renk, düşük kaliteli habbelerden yapılmış bir camı çağrıştırır. Bu yüzden bu renk istenmeyen bir renktir. Üstelik, demir oksit hammaddesinden arındırılması en zor olan bir safsızlıktır. Renksizleştirmede, camda istenmeyen bu rengin kimyasal ve fiziksel olarak maskelenmesine denilmektedir.

Camda mevcut bulunan demir oksit miktarı, renksizleştirme uygulamalarında elde edilecek sonuç bakımından büyük önem taşır. Bir başka deyişle, cama hammaddeler yoluyla giren demir oksiti en az düzeye indirmek renksiz camda yeşil tonda mücadelede ilk adım olacaktır.

Renksizleştirme işlemi iki aşamada gerçekleşir. Camda var olan Fe^{+2} iyonu cama mavimsi yeşil bir renk verir. Fe^{+3} biçiminde bulunan demir oksit ise cama sarımsı yeşil bir renk verir. Fe^{+2} nin mavimsi yeşilli Fe^{+3} ün sarımsı yeşilinden on kat daha etkili olduğundan fiziksel olarak maskelenmesi daha zordur. Öncelikle Fe^{+2} / Fe^{+3} oranını kıyasal renksizleştirme ile mümkün olduğunca aşağı çekmek, daha sonrada kalan rengi fiziksel olarak maskelemek, yani o renge ters bir renk ekleyerek camı renksiz göstermek gerekecektir.

Camdaki Fe^{+2} / Fe^{+3} oranı, fırın atmosferi, eritme süresi, eritme sıcaklığı ve harmana eklenen indirgen ve yükseltgen maddelere bağlı olarak değişim gösterir.

Camın kimyasal ve fiziksel yollarla renksizleştirilmesinde uzun yıllar arsenik (As)-selen (Se)-kobalt (Co) üçlüsü kullanılmıştır. Arsenik yüksek sıcaklıktaki ilk erime aşamasında ona eşlik eden nitratin dekompozisyonu sırasında yükseltgenir. Bir başka deyişle, daha fazla oksijenle bağ kurarak As_2O_5 oluşturur.

Arsenik, eritmenin daha ileriki düşük sıcaklık aşamasında As_2O_3 biçimine indirgenir, yani oksijenlerini bırakır. Bu oksijenler bir taraftan var olan habbelerin içine nüfuz edip onların daha büyük bir hızla camı terk etmelerini sağlarken, bir yandan da Fe^{+2} 'yi Fe^{+3} formuna yükseltirler. Böylece yukarıda sözünü ettiğimiz gibi Fe^{+2} / Fe^{+3} oranı düşmüş olur. Cam harmanına eklenen kobalt ve selen de kalan sarımsı yeşil demir rengini maskeler.

Seryumun da içinde bulunduğu nadir toprak elementleri grubu cam rengi üzerinde elektronik bakımdan önemli rol oynar. Seryum cam içinde +3 ve +4 değerliklerde bulunabilir. Arseniğin toksik olmayan alternatifi olan seryum oksit giderek daha yaygın bir şekilde camların renksizleştirilmesinde kullanılır.

Cam yapısında Ce^{+4} / Ce^{+3} redoks çifti olarak yer alan seryum oksit, güçlü bir oksidasyon etkinliğine sahiptir. Bu yüzden de cam içindeki Fe^{+2} iyonlarını kolaylıkla Fe^{+3} formuna yükseltgeyerek daha önce belirtilen renk dönüşümünü sağlar. Seryum oksitin soda-kireç camlarındaki renksizleştirme mekanizması henüz anlaşılamamıştır.

Ce^{+4} 'ün 230 nm 'deki soğurması ve Fe^{+3} 'e dönüşen demirin birlikte oluşturdukları kalıcı sarımsı renk cama eklenen az miktardaki selen ile kobalt ile fiziksel olarak maskelendiğinde seryum ile renksizleştirme tamamlanmış olur.

Renksizleştirmede seryum kullanımını arsenikli sistemlerle kıyaslayacak olursak toksik olmayan maddeler kullanma şansından başka seryum ile renksizleştirilmiş camlarda morötesi soğurmasının daha yüksek olacağını ve bu sayede bu camlardan yapılmış kaplardaki maddelerin güneş ışınlarından daha az zarar göreceğini daha az fiziksel maskeleye gerektiğinden hem yüksek bir parlaklık elde edilir hemde daha az selen kullanılır.

4.4. CAMLAR İÇİN GEÇİRGENLİK, YANSITMA VE SOĞURMA HESAPLAMLARI

Camların değerlendirilmesi için önemli parametreler arasında onların geçirgenlikleri, yansıtma özellikleri ve absorbantlık özellikleri sayılabilir. Bu özelliklerin hesaplanması için "European Committee for Standardization (CEN)" ve "Türk Standartları Enstitüsü (TSE)" raporlar yayınlamış bulunmaktadırlar. Camların rasyonel değerlendirilmesi için resmi mevzuat haline gelmiş bu dokümanlara uygun olarak hesaplamaların yapılması önem arz etmektedir CEN (1992), TSE (1993).

4.4.1. Işık Geçirgenliği:

Cam için ışık geçirgenliği; Dk: 4.6' ya göre hesaplanmaktadır ve 380-780 nm dalgaboyları arasında gelen ışığın camın yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde camın geçirdiği ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak tanımlanmaktadır CEN (1992), TSE (1993). (Dalgaboyu nm olarak alınmak kaydıyla:)

$$T_v = \frac{\sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} D_{\lambda} T(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} D_{\lambda} V(\lambda) (\lambda) \Delta\lambda} \quad (4.6)$$

Burada;

D_{λ} : D_{65} aydınlatmasına göre spektral dağılımdır.

D_{65} : CEN tanımına göre standart aydınlatmadır.

$T(\lambda)$: Camın spektral geçirgenliği

$V(\lambda)$: Fotometride tanımlanan gözlemcinin görünür fotopik için spektral lüminesansın verimi

$\Delta\lambda$: Dalgaboyu aralığı

ifade etmektedir.

Tablo: 4.1'de 10 nm'lik dalgaboyu aralıkları için $D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda$ değerleri belirtilmektedir. Bu şartlar altında $\sum D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda = 1$ olarak alınmaktadır CEN (1992).

Tablo: 4.1.

10 nm'lik Dalgaboyu Aralıkları İçin $D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda$ Değerleri CEN (1992)

λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$
380	0,000 0
390	0,000 5
400	0,003 0
410	0,010 3
420	0,035 2
430	0,094 8
440	0,227 4
450	0,419 2
460	0,666 3
470	0,985 0
480	1,518 9
490	2,133 6
500	3,349 1
510	5,139 3
520	7,052 3
530	8,799 0
540	9,442 7
550	9,807 7
560	9,430 6
570	8,689 1

λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$
580	7,899 4
590	6,330 6
600	5,354 2
610	4,249 1
620	3,150 2
630	2,081 2
640	1,381 0
650	0,807 0
660	0,461 2
670	0,248 5
680	0,125 5
690	0,053 6
700	0,027 6
710	0,014 6
720	0,005 7
730	0,003 5
740	0,002 1
750	0,000 8
760	0,000 1
770	0,000 0
780	0,000 0

4.4.2. Işık Yansıtması:

Camların ışığı yansıtması; 380-780 nm dalgaboyları arasında gelen ışığın camın yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde camın yansıttığı ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak belirlenmektedir TSE (1993).

Camın ışık yansıması (R_v), Dk: 4.7'ye göre hesaplanmaktadır (Dalgaboyu yine nm olarak alınmak üzere Dk:4.7 düzenlenmiştir.)

$$R_v = \frac{\sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} D_{\lambda} R(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (4.7)$$

Burada; D_{λ} , $V(\lambda)$ ve $\Delta\lambda$ yukarıda tanımlanadığı gibi, $R(\lambda)$ ise camın spektral yansıtmasıdır CEN (1992).

4.4.3. Toplam Solar Enerji Geçirgenliği (Solar Faktör ya da Katsayısı)

Toplam solar enerji geçirgenliği (g), direkt solar geçirgenlik (T_e), ve cam içinden cama doğru olan ikincil ısı transfer katsayısı (q_1)'nin toplamıdır. Burada cam tarafından absorblanan gelen solar radyasyonun, taşınım ve uzundalgaboylu IR-radyasyonu yoluyla ısı transferinden, q_1 dediğimiz ikincil ısı transfer katsayısı elde edilmiştir. CEN (1992).

$$g = T_e + q_1 \quad (4.8)$$

4.4.3.1. Direkt Solar Geçirgenlik

Direkt solar (güneş ışını) geçirgenliği; 300-2500 nm dalgalı boyları arasında gelen ışının cam yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde camdan doğrudan geçen güneş ışını şiddetinin camın üzerine düşen güneş ışını şiddetine oranıdır TSE (1993).

Camın direkt solar geçirgenliği (T_e), Dk: 4.9'a göre hesaplanmaktadır CEN (1992).

$$T_e = \frac{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} S_{\lambda} T(\lambda) \Delta \lambda}{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} S_{\lambda} \Delta \lambda} \quad (4.9)$$

Tablo: 4.2.

Dogrudan Solar Gecirgenligin Hesaplanmasinda Kullanilan
 $S_{\lambda} \Delta \lambda$ Degerleri CEN (1992).

λ nm	$S_{\lambda} \Delta \lambda$ ¹⁾
300	0,0005
320	0,0069
340	0,0122
360	0,0145
380	0,0177
400	0,0235
420	0,0268
440	0,0294
460	0,0343
480	0,0339
500	0,0326
520	0,0318
540	0,0321
560	0,0312
580	0,0294
600	0,0289
620	0,0289
640	0,0280
660	0,0273
680	0,0246
700	0,0237
720	0,0220
740	0,0230
760	0,0199
780	0,0211
800	0,0330
850	0,0453
900	0,0381
950	0,0220

λ nm	$S_{\lambda} \Delta \lambda$ ¹⁾
1000	0,0329
1050	0,0306
1100	0,0185
1150	0,0136
1200	0,0210
1250	0,0211
1300	0,0166
1350	0,0042
1400	0,0010
1450	0,0044
1500	0,0095
1550	0,0123
1600	0,0110
1650	0,0106
1700	0,0093
1750	0,0068
1800	0,0024
1850	0,0005
1900	0,0002
1950	0,0012
2000	0,0030
2050	0,0037
2100	0,0057
2200	0,0066
2300	0,0060
2400	0,0041
2500	0,0006

Burada;

S_{λ} = Solar radyasyonun görelî spektral dağılımı

ifade etmektedir. Diğer notasyonlar daha önce tanımlanan parametreleri temsil etmektedirler.

Solar radyasyonun görelî spektral dağılımı global solar radyasyon (direkt ve diffüzyon yoluyla)' un görelî spektral dağılımı hava kütlesi=1; su içindekiler=1.42 cm dibine çökebilen su; ozon muhteviyatı, standart sıcaklıkta ve 0.2 yer yüzü albedo basıncında, 0.34 cm'; $\lambda=500$ nm'de aerosol söndürmenin spektral optik derinliği=0.1' den hesaplanır. (Bener, 1972)

Doğrudan solar geçirgenliğin hesaplanmasında kullanılan S_{λ} yani görelî spektral dağılım doğrudan solar geçirgenliğin hesaplanmasında kullanılmaktadır. $S_{\lambda}\Delta\lambda$ değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir ve $\sum S_{\lambda}\Delta\lambda = 1$ olarak verilmektedir.

4.4.3.2. Doğrudan Solar (Güneş Işını) Yansıtması

Camın direkt solar yansıtması (R_e) Dk: 4.10'a göre hesaplanmaktadır CEN (1992).

$$R_e = \frac{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} S_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{\lambda=2500} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (4.10)$$

Burada;

E_{λ} : Solar radyasyonun görelî spektral dağılımı

$R(\lambda)$: Camın spektral yansıtması

olarak verilmektedir.

4.4.3.3. Direkt Solar (Güneş Işını) Söğurması

Direkt solar absorbsiyon, cam yüzeyine dikey olarak düşen güneş ışını şiddetinin cam tarafından absorblanan kısmıdır TSE (1993).

Öte yandan, iç yüzey için ikincil ısı transfer faktörü q_1 'nin hesaplanması için dış yüzey için camın camın ısı transfer katsayısı h_e , ve iç yüzey ısı transfer katsayısı h_1 'nin bilinmesi gereklidir. Bu değerler başlıca, camın konumuna, rüzgarın hızına, iç ve dış sıcaklıklara bundan başka camın her iki dış yüzeylerinin sıcaklığına bağlıdır.

Bu standardın amacı camın dayanıklılığındaki temel bilgilerin sağlamak için, basit olarak geleneksel şartlar ifade edilmiştir. Bu şartlar sırasıyla şöyledir.

- 1) Camın konumu: yatay
- 2) Camın dış yüzeyi: Rüzgarın hızı: Yaklaşık olarak 4 m/sn'lik hız, düzeltilmiş nesretme (yayma) = 0.837
- 3) İç yüzey: doğal taşınım, emissivity
- 4) Havayla dolu hava boşlukları

Bu geleneksel ortalama şartlar altında, h_e ve h_1 için standart değerler elde edilmiştir:

$$h_e = 23 \text{ W / (m}^2 \text{ K)} \quad (4.11)$$

$$h_1 = 3.6 + \frac{4.4 \cdot \varepsilon_1}{0.837} \text{ W / (m}^2 \text{ K)} \quad (4.12)$$

olduğundan;

ε_1 sıradan bir cam için düzeltilmiş emissivitedir. Bu durumda,

$$\varepsilon_1 = 0.837 \text{ ve } h_1 = 8 \text{ W / (m}^2 \text{ K)} \quad (4.13)$$

olur.

Tek bir camın ikincil ısı transfer faktörü q_1 , aşağıdaki formülün kullanılmasıyla hesaplanır. Böylelikle, direkt solar absorbsiyon (A_e) Dk: 4.14'e göre hesaplanmaktadır CEN (1992).

$$q_1 = A_e \frac{h_1}{h_e + h_1} \quad (4.14)$$

Burada, A_e yukarıda tanımlanan direkt solar absorbsiyon olup, yine yukarıda tanımlanan h_e ve h_1 iç ve dış yüzey için ısı transfer katsayılarıdır COC (1983).

4.4.4. Ultraviyole Geçirgenliği:

UV menziline, güneşteki global radyasyon UV-B menziline (280-315 nm arasında) ve UV-A menziline (315-380 nm arasında) bulunan bileşenleri kapsamaktadır. Tablo: 4.3, UV-A ve UV-B menzilineki 5 nm'lik dalgaboyu aralıkları için $U_{\lambda} \Delta \lambda$ değerlerini verir. Tablo: 4.3., UV menziline $\sum U_{\lambda} \Delta \lambda = 1$ şeklindeki relatif değerlerle çizilmiştir.

Tablo: 4.3.

UV Geçirgenliğinin Hesaplanmasında Kullanılan $U_{\lambda} \Delta \lambda$ Değerleri CEN (1992).

λ nm	$U_{\lambda} \Delta \lambda$
282,5	0,000 00
287,5	0,000 00
292,5	0,000 00
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

UV geçirgenliği T_{uv} aşağıdaki gibi hesaplanır CEN (1992).

$$T_{uv} = \frac{\sum_{\lambda=280}^{\lambda=380} U_{\lambda} T(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{\lambda=380} U_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (4.15)$$

Burada, $T(\lambda)$ camın doğrudan spektral geçirgenliği, U_{λ} ise solar radyasyon içinde UV'nin göreceli spektral dağılımıdır.

4.4.5. Spektral Geçirgenliğin (Transmisyonun) Ölçülmesi

Camın spektral transmisyon tanımı; gelen radyasyonun dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak geçirilen radyasyonun bir kesridir. Transmisyonun gelen radyasyonun şiddetinden de bağımsızdır. Bu aralık tercihen 300-2000 nm veya minimum 350-1000 nm' de bulunur. Bamford, (1977).

Geniş aralıklı spektrofotometreler, basit olarak temelde elle yapılması gerekli olanlardan, otomatik işlemleri karışık maksimum hassasiyet amaçlanan aletlere kadar ticari alanda mevcuttur Bamford, (1977). Renkli camların çoğu kullanım alanları yada temel araştırmalar, geniş alanda çok yönlü otomatik çalışma ve yüksek hassasiyetli aletler gerektirir. Her spektrofotometre'de, çalışmanın doğruluğu ve periyodik kontrol için spektral geçirgenlik karakteristikleri bilinen referans camlar temelde gereklidir.

Tekrar ölçülen dalgaboyunun kontrolü için bir referans cam, alet ile sağlanan yardımcı donanımın normalde bir parçası durumundadır Özdoğan (1973).



BÖLÜM: 5

YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sodali camların elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışlarının incelenmesi amacıyla birbirinden farklı bir dizi araştırma deneysel olarak yapılmıştır. Elektromanyetik radyasyon ailesinin farklı ışın tipleriyle ayrı ayrı çalışılmış ve camların bu radyasyon tipleri karşısındaki davranışlarının gözlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla çok sayıda ve çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin önemli bir kısmı, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı içinde yer alan Radyografi Laboratuvarı, Radyoizotop Laboratuvarı, Nükleer Uygulamalar Laboratuvarı ve Fotoğraf Laboratuvarında yapılmıştır. Ancak, bir kısım deney Topkapı Şişe Cam Fabrikası Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında, deneylerin az bir kısmı da Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi (CNAEM) Sağlık Fiziki Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde elektromanyetik radyasyon ailesinin, kızılötesi (infrared), görünür ışık, morötesi (ultraviyole) ışın, X-ışını ve gama ışını ile çalışılmıştır. Ayrıca gün ışığı (solar ışık) için deneyler de yapılmıştır. Bir başka deyişle, elektromanyetik radyasyon ailesine mensup ve güneş ışığı bünyesinde yer alan ışınlar için genel değerlendirme niteliğinde deneyler yapılmıştır.

Bunlardan ayrı olarak, Co-60 radyoizotop kaynağı ile ışınlanan camların renklenmesi gözlenmiş ve renklenme mertebesi değerlendirilerek, sodalı renksiz camlar için yapılan deneyler, renklenen bu camlar için yeniden yapılmıştır. Yapılan tüm bu deneysel çalışmalar aşağıda ayrı ayrı tanıtılarak açıklanmaktadır.

5.1. DENEY İÇİN HAZIRLANAN CAMLAR

Çalışmanın gerçekleştirilmesi için Topkapı Şişe Cam Fabrikası'ndan kimyasal analizleri yapılmış, birbirinin aynı ve fakat farklı iki kalınlıkta 5 cm x 5 cm'lik (renksiz) camlar temin edilmiştir. Söz konusu farklı iki cam kalınlığı 3 mm ve 10 mm kalınlıklardır.

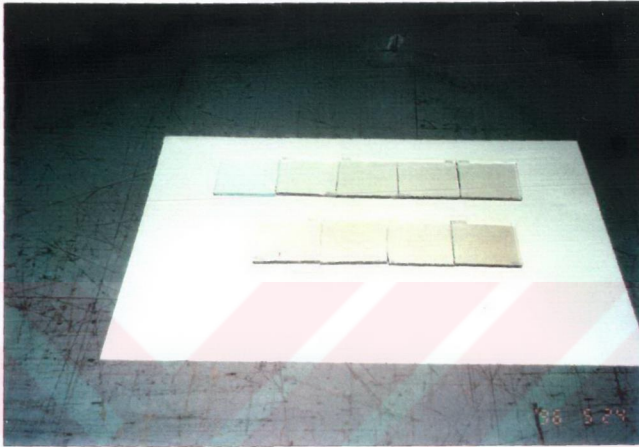
Bu kalınlıkların seçilmesinin amacı, kullanımı olan cam kalınlıkları olmasıdır. Özellikle 3 mm kalınlıktaki soda camları, yaygın kullanımı olan bir cam kalınlığıdır.

Bu camların X-Işını floresans tekniği ile ,dalga boyu dağılımlı Philips PW 1606 model eş zamanlı (simultaneous) tipindeki X-ışını Floresans Spektrometresi kullanılarak yapılan analiz sonuçları sonuçları Tablo: 5.1'de görülmektedir. Çalışılan camların fotoğrafı ise Şekil: 5.1'de görülmektedir.

Tablo: 5.1.

Çalışılan Camların Kimyasal Bileşimleri

Cam	K i m y a s a l B i l e ş i m l e r i (%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
3 mm	71,70	1,36	0,093	0,161	8,34	4,18	13,88	0,05	0,24
10 mm	71,73	1,37	0,091	0,160	8,35	4,15	13,07	0,05	0,23



Sekil: 5.1. Çalışılan Sodali camlar

5.2. RENKSİZ SODALI CAMLAR İLE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.2.1. Spektrofotometreyle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Öncelikle, sodalı camların 300 nm - 2500 nm dalga boyları arasındaki geçirgenlikleri, Topkapı Şişe Cam Fabrikası Araştırma Merkezinde'nde mevcut olarak bulunan, Lambda 9 UV/VIS/NIR, tipi Spektrofotometreyle gerçekleştirilmiştir. Çalışılan spektrofotometrenin fotoğrafı Sekil: 5.2'de görülmektedir.



Sekil: 5.2. Calsulan Spektrofotometre

Spektrofotometreyle elde edilen sonuçlar Tablo: 5.2'de görülmektedir. Bu tablodan hareketle sodalı camların geçirgenliklerine (% T), yansıtmalarına (% R), ilişkin çizilen grafikler ise 3 mm ve 10 mm kalınlıktaki camlar için ayrı ayrı Şekil: 5.3 - 5.6'da verilmektedir.

Tablo: 5.2.

Renksiz Camlar İçin Spektrofotometre Elde Edilen Sonuçlar

Cam Kalınlığı (mm)	Işık Geçir. % T _v ±0.005	Solar Geçir. % T _e ±0.005	UV Geçir. % T _{uv} ±0.005	Işık Yan. % R _v ±0.005	Solar Yan. % R _e ±0.005	Solar Abs. % A _e ±0.005	Işık Abs. % A _v ±0.005
3	90.263	85.980	64.944	8.043	7.537	6.420	1.694
10	86.311	72.645	44.322	7.527	6.414	19.970	6.162

$\lambda(\text{nm})$

2500

2100

1600

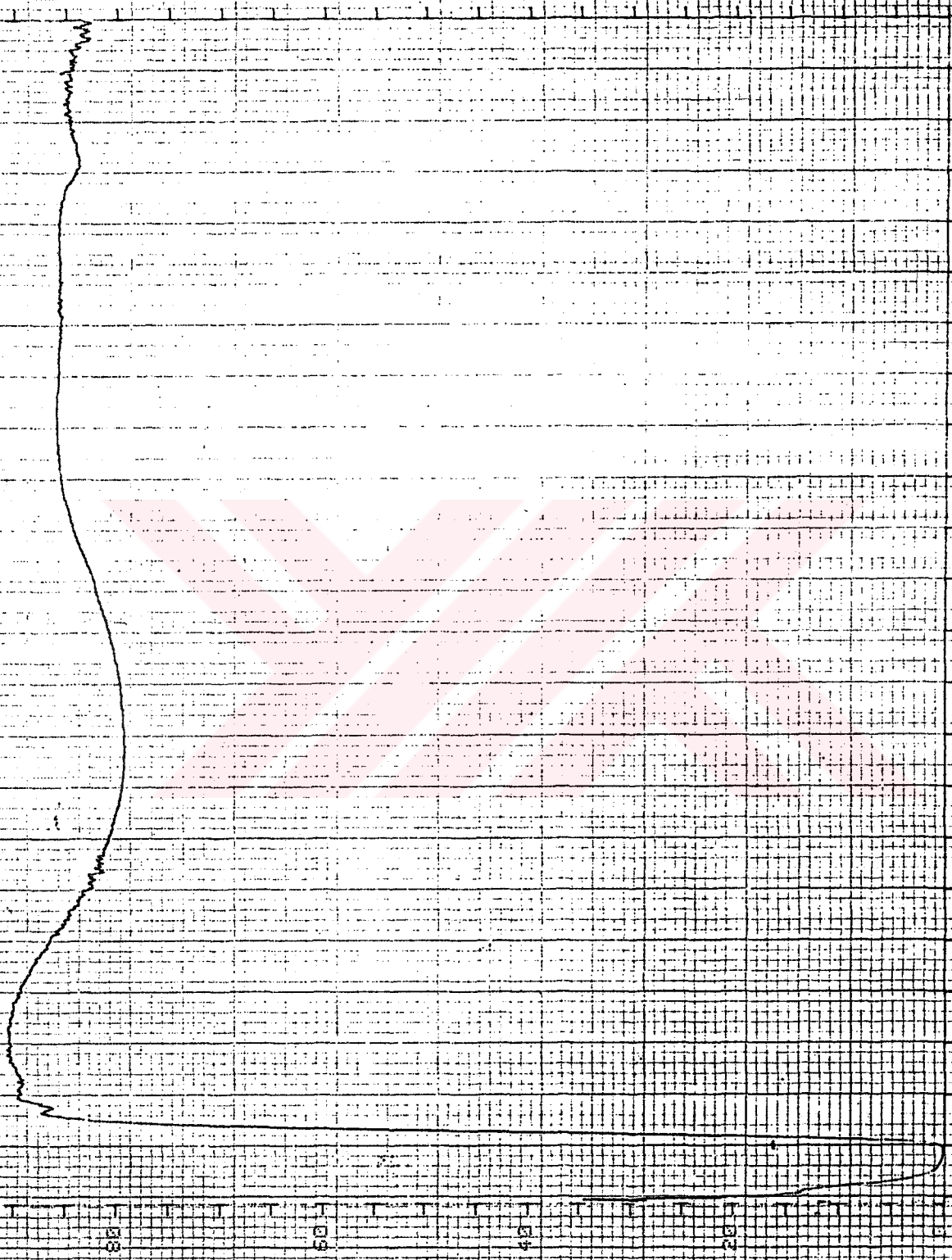
1100

600

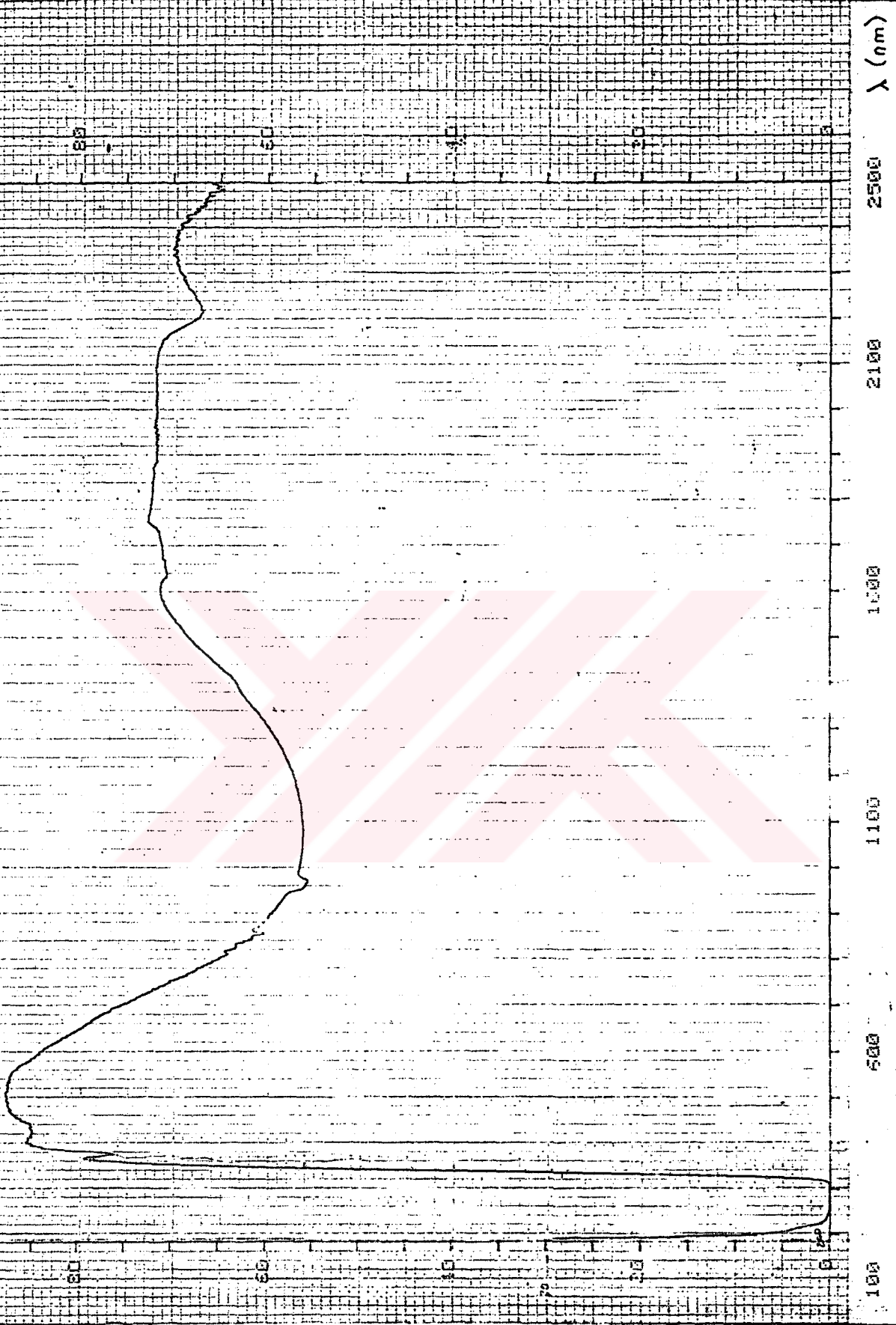
100

Sekil: 5.3. Renksiz 3 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm

Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği

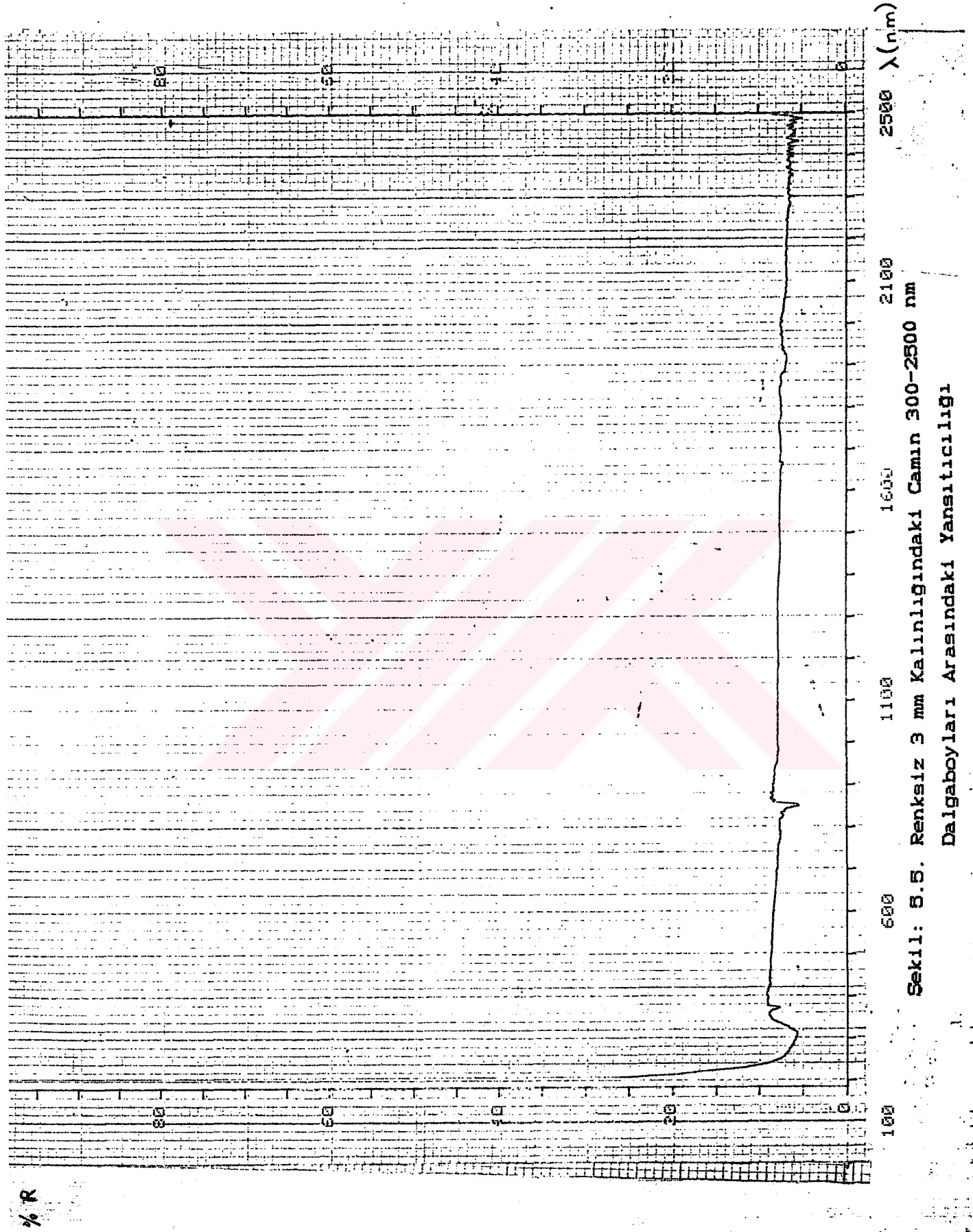


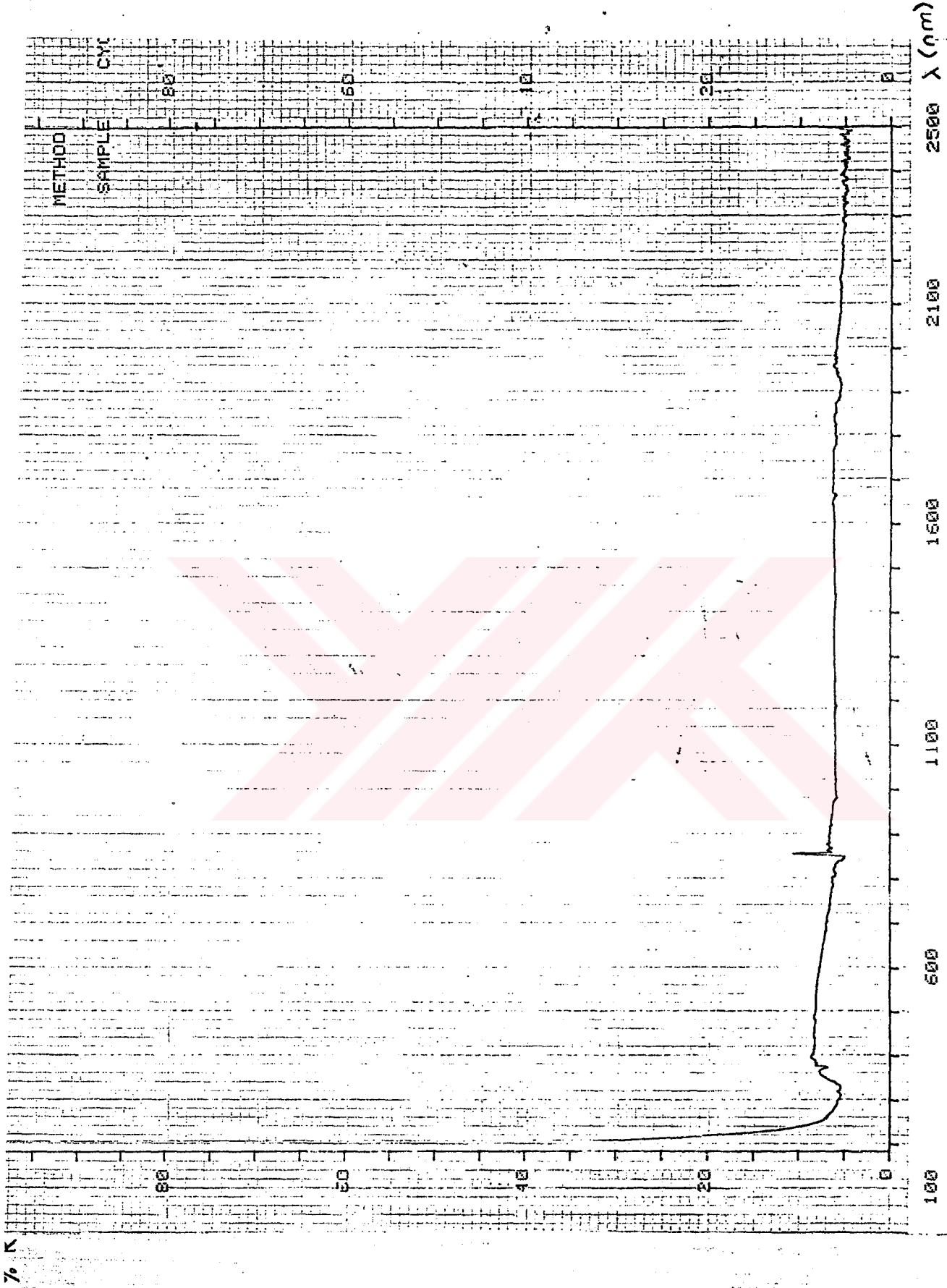
%T



Sekil: 5.4. Renksiz 10 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm

Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği





Sekil: 5.6. Renksiz 10 mm Kalınlığındaki Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı

5.2.2. Ultraviyole (Morötesi) Işınlarla Yapılan Deneysel Çalışmalar

Ultraviyole radyasyonunun etkisinin incelenmesi için 2 farklı kaynak kullanılmıştır. Bunlar; siyah lamba veya siyah ışık (black light) ve güneş lambası (sun lamp) tipindeki ultraviyole lambalarıdır. Her iki kaynak ile, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Labratuvarları imkanlarıyla deneylerimiz gerçekleştirilmiştir.

Ultraviyole ışınlar, iyonizan olmayan radyasyon olduklarından ölçümlemeleri zorluklar arz etmektedir. Zira, çoğu radyasyon ölçümleme sistemi, radyasyonun iyonizasyon özelliğine dayalı olarak geliştirilmiş ölçüm sistemleridir.

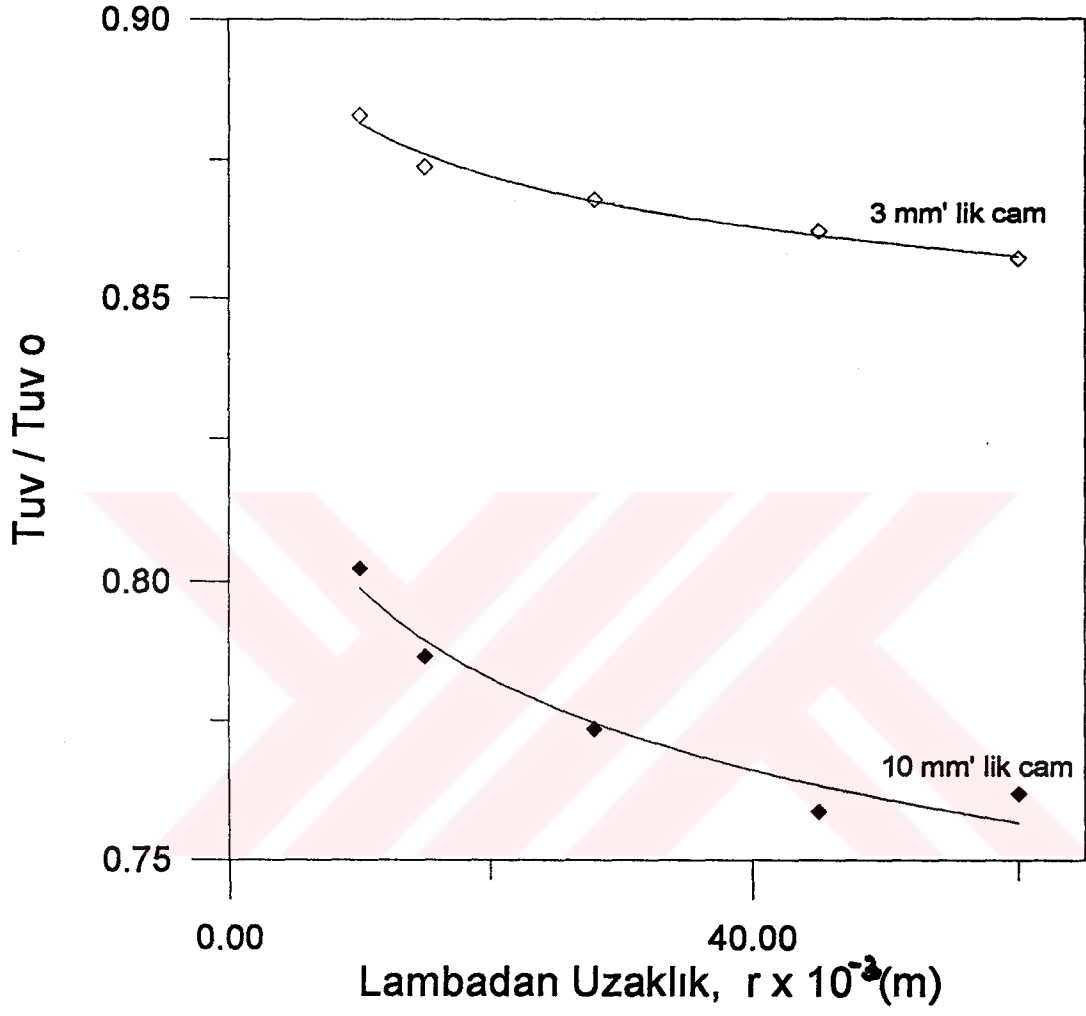
Bu nedenle ultraviyole ölçümlemesi için adı geçen labratuvarda bulunan özel bir UV ölçüm cihazı kullanılmış ve bu cihazın, çalışılan UV lambalarının yayınladığı UV dalgaboylarına uyumlu sensör kullanılarak ölçümler özenle yapılmıştır.

Ölçümler yapılırken UV lamba-sodali cam ve sodali cam-UV sensör arası mesafeler sabit tutulmuştur. Bir başka deyişle, ölçümleme geometrisi her cam kalınlığı için aynıyken ölçümleme yapılmıştır. Ancak uzaklık değiştirilerek, uzaklığın etkisi de gözlenmiştir.

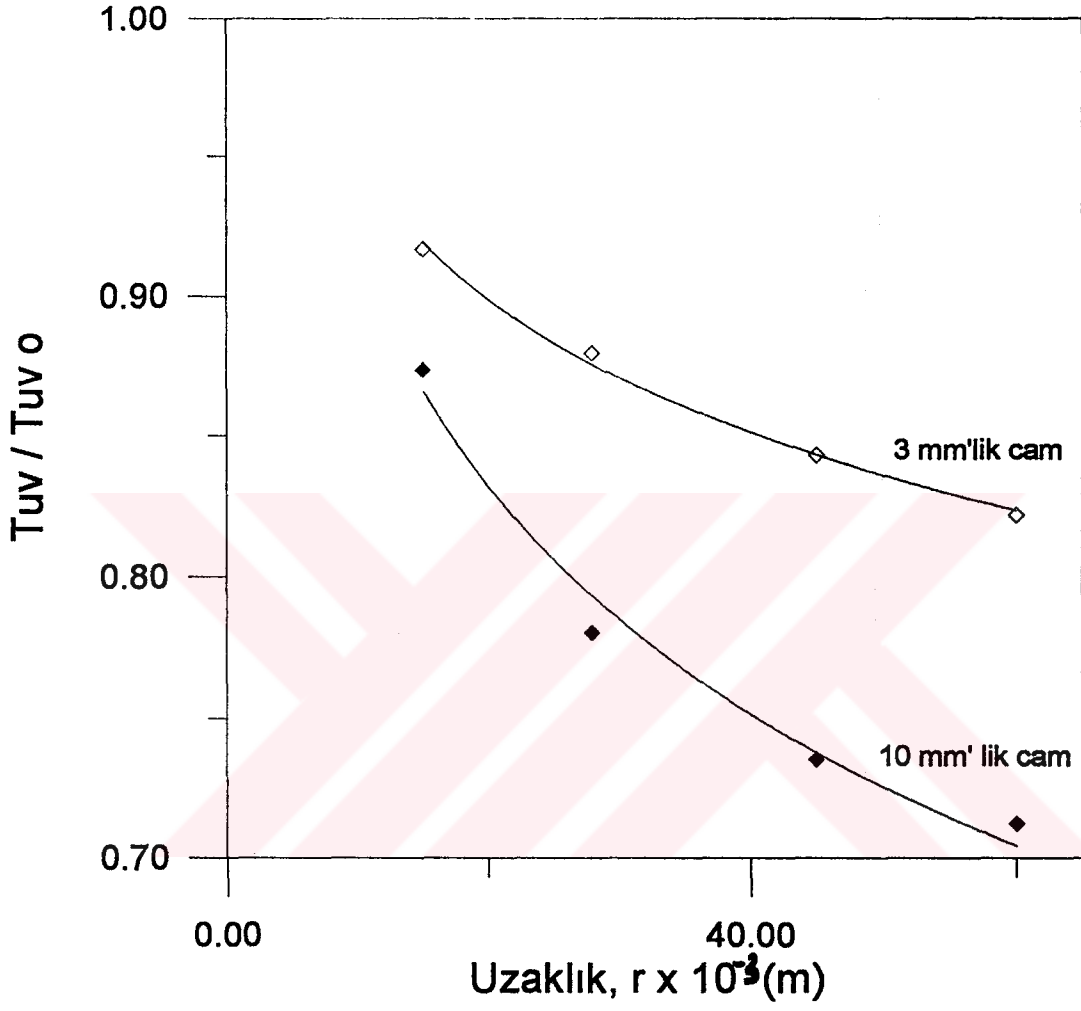
Elde edilen sonuçlar, Tablo: 5.3'de 3 mm ve 10 mm camlar için biraraya toplanmıştır. Ultraviyole siyah lamba ile farklı uzaklıklardan ölçümlenen ultraviyole radyasyon şiddetinin uzaklıkla değişimi 3 mm ve 10 mm camlar için Şekil: 5.7'de, güneş lambası (sun lamp) ile söz konusu soda camları için radyasyon şiddetinin uzaklıkla değişimi ise Şekil: 5.8'de görülmektedir. Böylelikle, 3 mm ve 10 mm sodali camların ultraviyole geçirgenlik mertebesi incelenmiş olmaktadır.

Tablo: 5.3.
Renksiz Camların UV Geçirgenlikleri

Cam Kalınlığı	Kullanılan UV Kaynağı	Uzaklık (cm)	I / I_0
3 mm	Siyah Lamba	60	0.85
		45	0.86
		28	0.86
		15	0.87
		10	0.88
	Güneş Lambası	60	0.82
		45	0.84
		28	0.88
		15	0.92
		10	0.92
10 mm	Siyah Lamba	60	0.76
		45	0.76
		28	0.77
		15	0.79
		10	0.80
	Güneş Lambası	60	0.71
		45	0.73
		28	0.78
		15	0.87
		10	0.87



Sekil: 5.7. Siyah Lamba UV Radyasyon Şiddetinin Uzaklıkla Değişimi



Şekil: 5.8. Güneş Lambası (Sun Lamp) ile UV Radyasyon Şiddetinin Uzaklıkla Değişimi

5.2.3. X- Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan diğer bir elektromanyetik radyasyon tipi de X-ışınlarıdır. X-ışınlarıyla TAEK-CNAEM Sağlık Fizigi Bölümü imkanlarından yararlanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

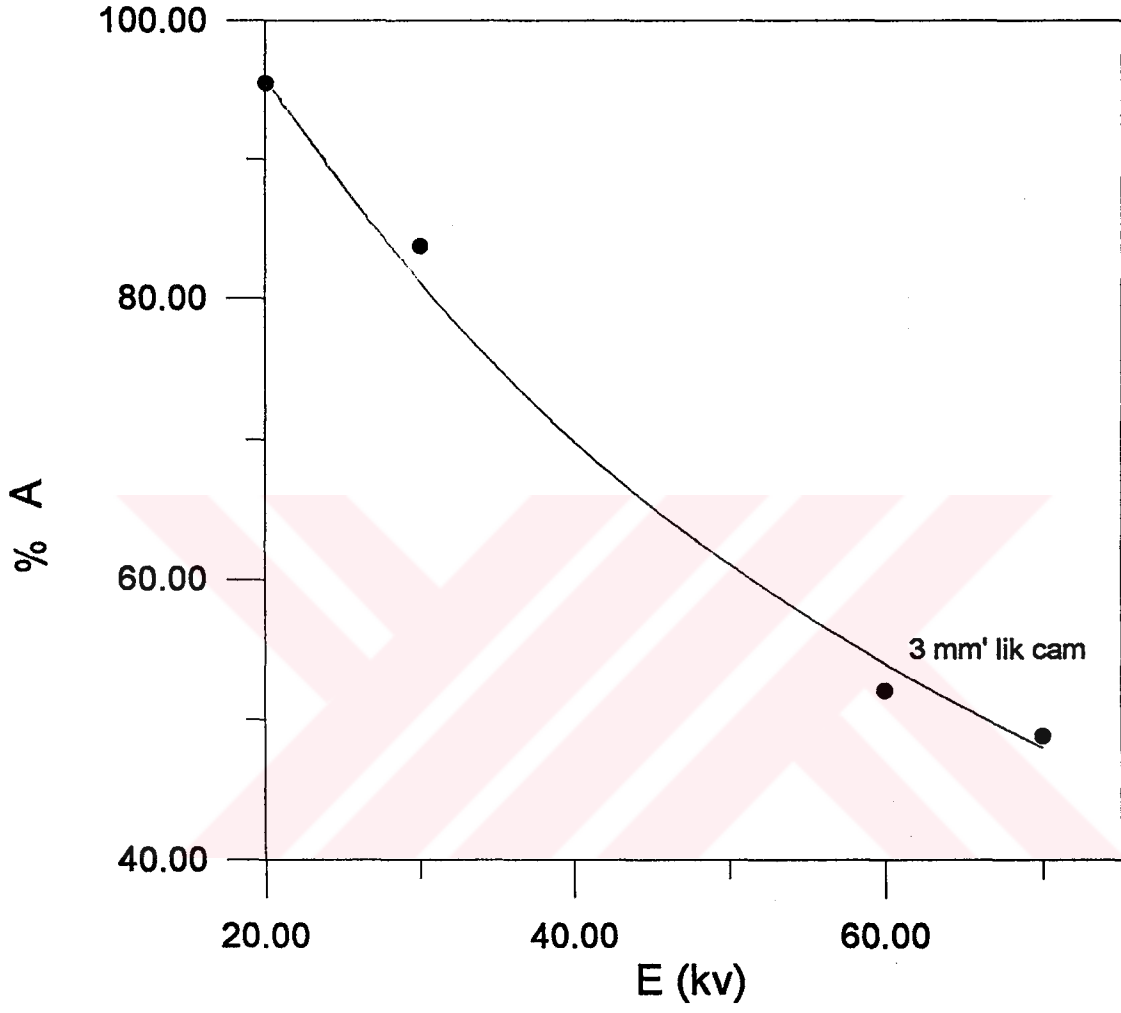
Burada, küçük güçlü bir X-ışını tüpü kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bir başka deyişle, frenleme tipi X-ışınları kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar Tablo: 5.4'de verilmektedir. Sodalı camlarla X-ışını tüpünün 20 kV ve 70 kv'luk enerjileri arasında X-ışını yutma oranları tayinleri yapılmış ve ilgili grafikler 3 mm ve 10 mm camlar için sırasıyla aşağıda çizilmiştir. Ayrıca her bir camın bu enerjilerdeki X-ışını yutma oranları grafikleri Şekil: 5.9 ve Şekil: 5.10'da belirtilmektedir.

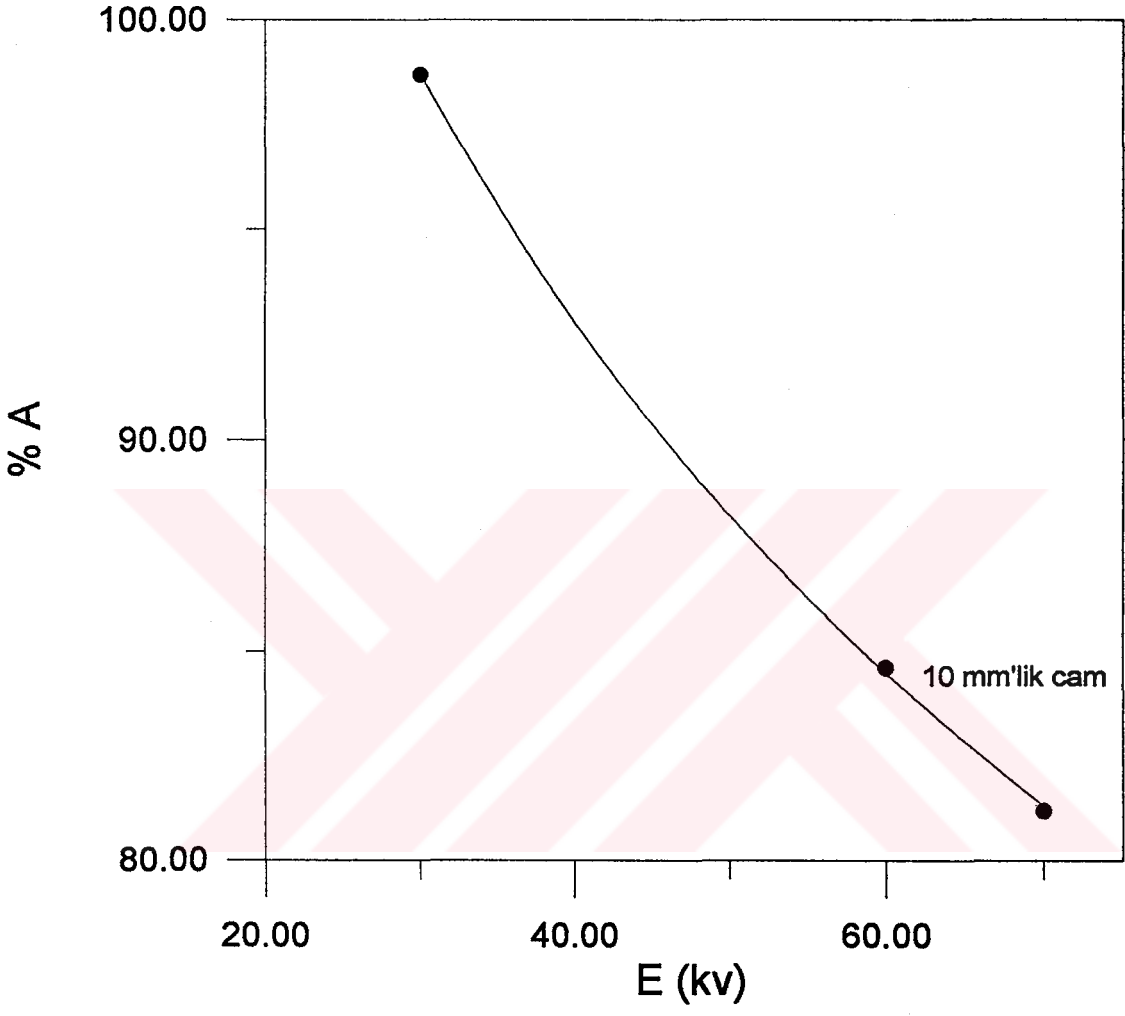
Tablo: 5.4.

Sodalı Camlarının 20-70 kV'lık Enerjiler Arasındaki
X-ışını Yutma Oranları

kV	A (%)	
	10 mm	3 mm
20	—	95.5
30	98.7	83.7
60	84.6	52.1
70	81.2	48.8



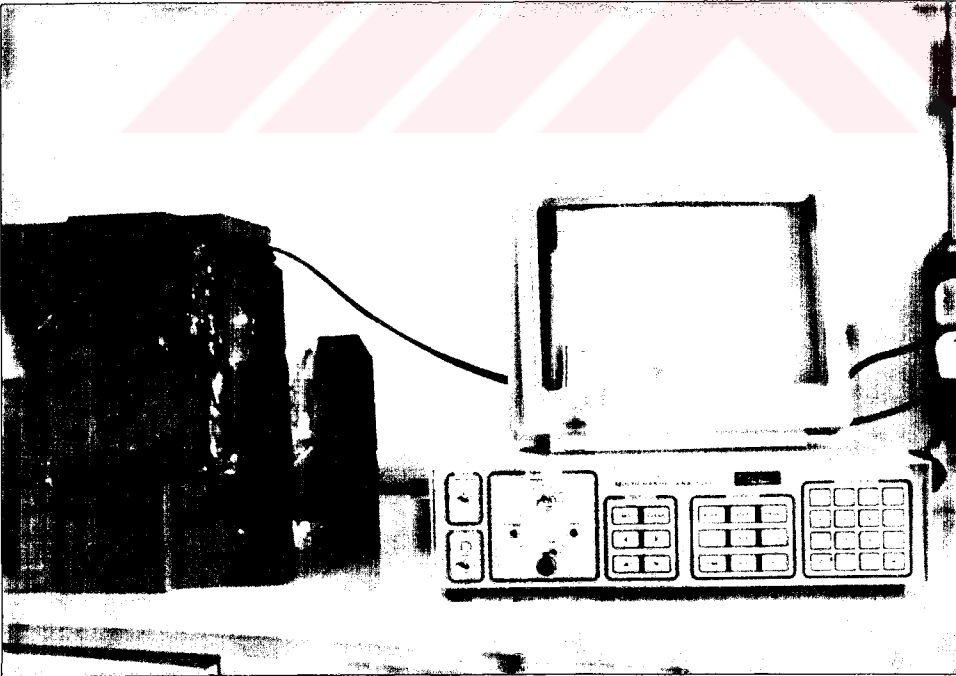
Sekil: 5.9. Renksiz 3 mm' lik camın X-ışını soğurması



Sekil: 5.10. Renksiz 10 mm'lik camın X-ışını soğurması

5.2.4. Gama Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

Benzer çalışmalar Co-60 radyoizotop kaynağı kullanılarak gama ışınlarıyla da yapılmıştır. Bu deneyler, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Radyoizotop Laboratuvarı olanakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Soda camlarının, Co-60 radyoizotopunun yayınladığı 1.17 MeV ve 1.33 MeV enerjideki gama ışınlarını geçirgenliğine ilişkin elde edilen sonuçlar ise Tablo: 5.5'de görülmektedir. Gama ölçümlerinin alındığı ölçüm sistemi ise Şekil: 5.11'de görülmektedir.



Şekil: 5.11. Gama Ölçüm Sistemi

Tablo: 5.5.

Sodali Camların Co-60 Gama Işınlarına İlişkin Geçirgenlikleri

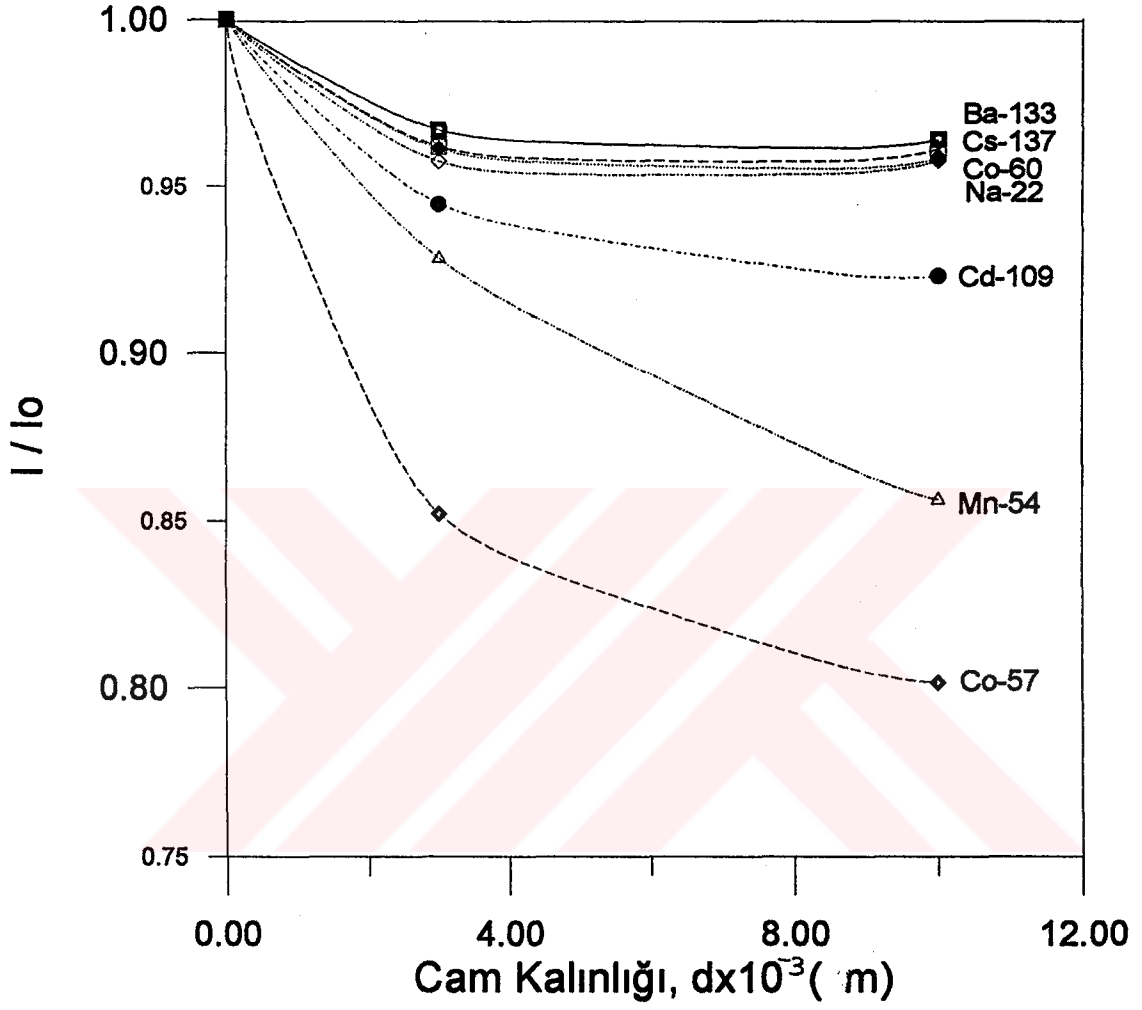
Cam Kalınlığı (mm)	Geçirgenlik (%)
3	0,9613 ± 0,0020
10	0,9584 ± 0,0010

Ayrıca, farklı gama radyoizotopları ile de geçirgenlik tayini de yapılmıştır. Tablo: 5.6'da bu radyoizotoplara ilişkin bilgiler ve deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir. Tablo: 5.5 ve Tablo: 5.6'dan hareketle çizilen grafik ise Şekil: 5.12'de görülmektedir.

Tablo: 5.6.

Farklı Gama Aktif Radyoizotop Kaynaklarla Elde Edilen Sonuçlar

Gama Aktif Radyoizotoplar	Cam kalınlığına göre % geçirgenlik	
	3 mm'lik	10 mm'lik
Ba-133	0.9671 ± 0.0013	0.9642 ± 0.0065
Cs-137	0.9619 ± 0.0018	0.9611 ± 0.0080
Na-22	0.9613 ± 0.0020	0.9562 ± 0.0017
Cd-109	0.9575 ± 0.0060	0.9226 ± 0.0025
Mn-54	0.9447 ± 0.0025	0.9000 ± 0.0025
Co-57	0.9277 ± 0.0050	0.8012 ± 0.0025



Sekil : 5.12. Farklı Gama Kaynakları İçin Sodalı Camların Cam Kalınlığına Bağlı Olarak Geçirgenlikleri

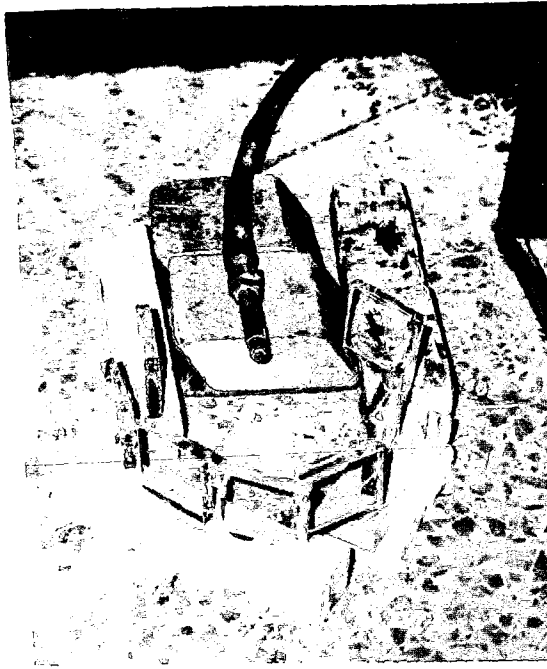
5.3. SODALI CAMLARIN CO-60 RADYOİZOTOP KAYNAĞI İLE YÜKSEK DOZDA IŞINLANMASI HALİNDEKİ DAVRANIŞLARI

Sodali camların, enerjetik elektromanyetik radyasyon karşısında, yüksek dozlarda ısınlaması halindeki davranışlarını incelemek üzere Co-60 radyoizotop kaynağından yararlanılmıştır. 1,17 MeV ve 1,33 MeV'de iki enerji piki bulunan 14.8 Ci aktivitedeki endüstri tipi bir radyoizotop kaynak kullanılarak deneyler yapılmıştır.

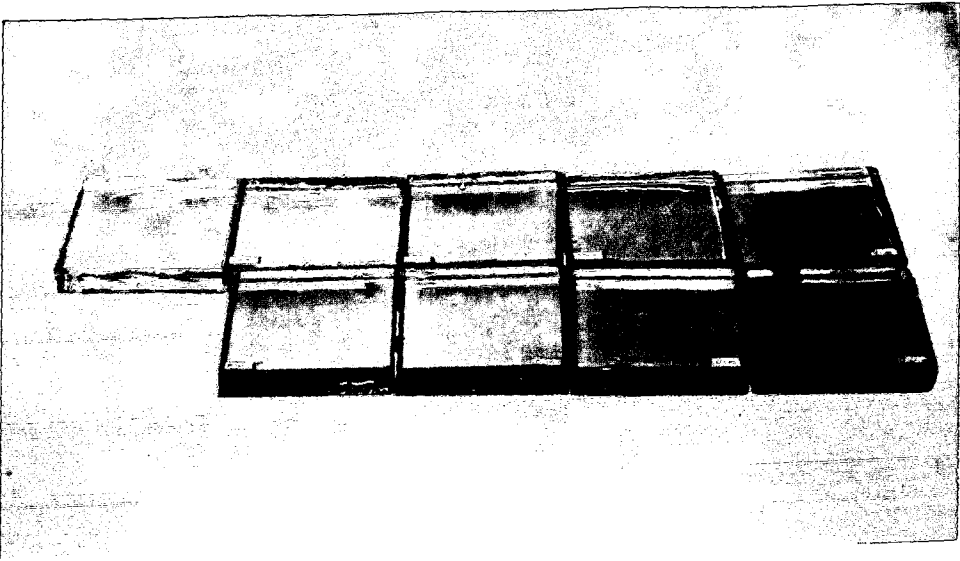
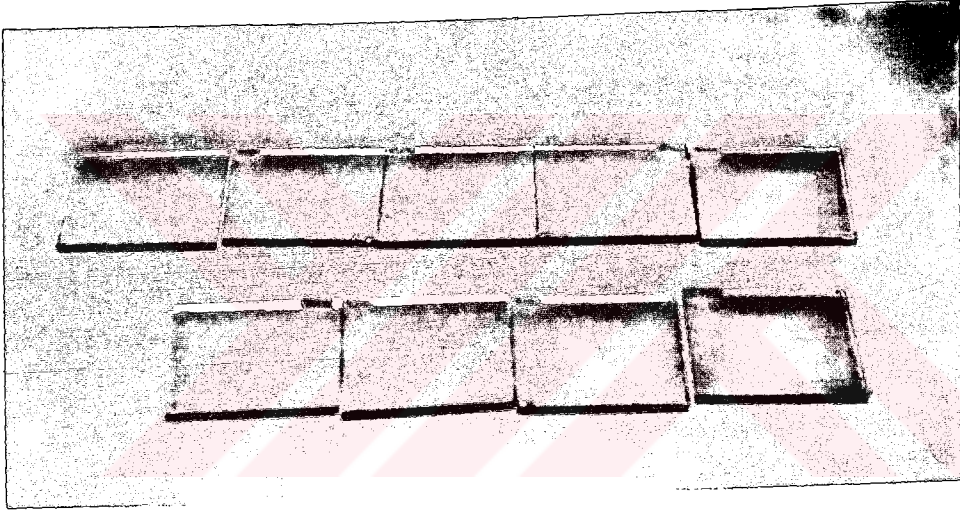
Söz konusu kaynak, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı Radyografi Laboratuvarı'nda bulunmaktadır. Bu ısınlama çalışmaları tümüyle bu laboratuvarın imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu bu deneyler için, 3 mm 'lik ve 10 mm 'lik camlar ayrı ayrı olmak üzere, 8'er cam, Co-60 radyoizotop kaynağının etrafına panoromik olarak 8 farklı uzaklığa yerleştirilerek 76 saat süreyle ısınlanmıştır. Işınlama geometrisi Şekil: 5.13'de görülmektedir.

Bu durumda, farklı dozlarda ısınlanmış olan söz konusu bu camların, kahverengi tonlarında renklendiği tespit edilmiştir. Işınlama dozlarına ilişkin bilgiler Tablo: 5.7'de verilmektedir. Renklenen camlar ise Şekil: 5.14'de görülmektedir.



Sekil: 5.13. Isinlama Geometrisi



Sekil: 5.14. Renklenen Soda Camları

Tablo: 5.7.

Sodali Camların Co-60 Radyoizotopu ile Işınlama Dozları

Işınlama Mesafesi (cm)	Işınlama Dozu $D \times 10^5$ (rad)
5.61	4.568
6	3.993
7	2.934
8	2.246
9	1.774
10	1.437
11	1.188
12	0.998
Renksiz	0.000

5.3.1. Renk Haritaları

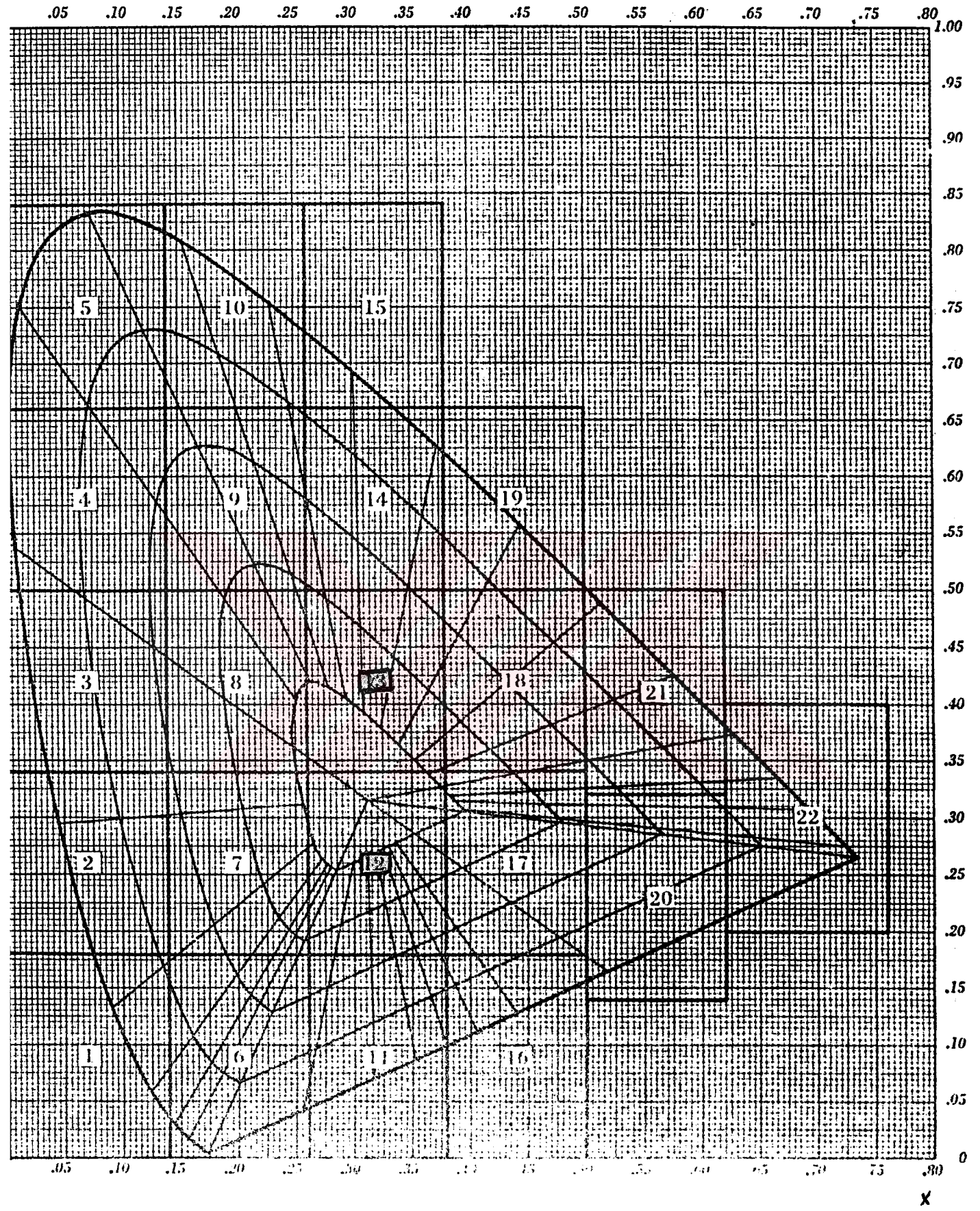
Sodali camlardaki renklenme, sodalı camların karşı karşıya kaldığı radyasyon dozuna bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görsel olarak belirlenmiştir. Ancak, bu renklemenin rasyonel olarak tesbiti için spektrofotometrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler için Topkapı Şişe Cam Fabrikası Laboratuvarlarındaki spektrofotometreden yararlanılmıştır.

Gama dozu karşısında renklenmiş olan sodalı camların renklenmelerinin belirlenmelerine yönelik olarak spektrofotometre ile yapılan deneyler sonucunda söz konusu camların renk haritası içindeki yerleri Şekil: 5.15, Şekil: 5.16 ve Şekil: 5.17'den kolayca izlenebilmektedir.

Rengin sayısal olarak tanımlanmasında renk koordinatlarından sadece ikisinin hesaplanması yeterlidir. Burada genellikle x ve y koordinatları kullanılır. x ve y koordinatları ve bu koordinatların çizilmesiyle oluşturulan, C.I.E. Renk Diagramı kullanılarak, rengi ölçülen cismin daha önce tanımlamış olduğumuz parlaklık (%Y), başat dalgaboyu (λ_d -nm) ve saflık (%P) dediğimiz bu üç renk parametreleri sayısal olarak belirlenir.

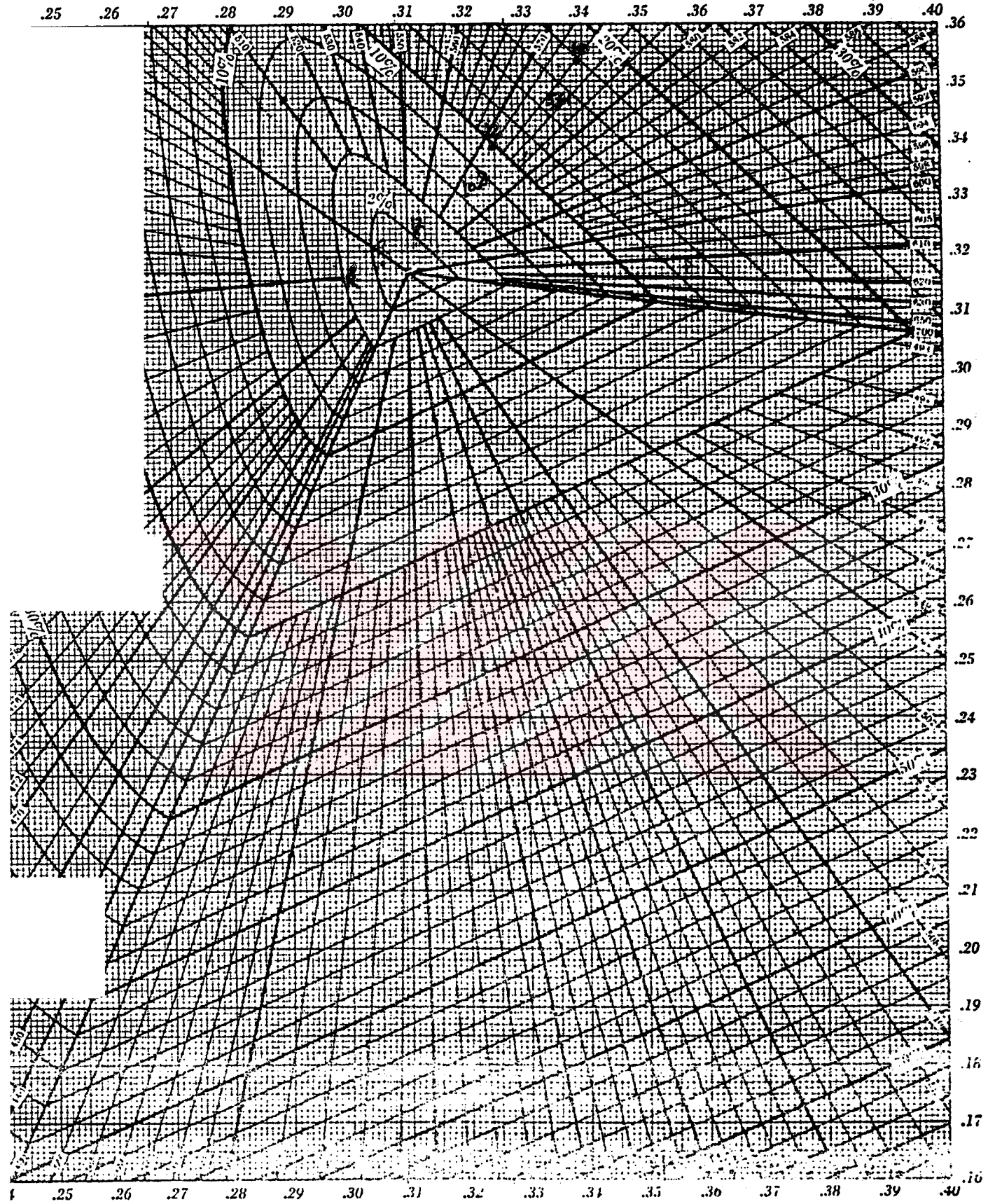
Şekil: 5.15'de, C.I.E. Genel Renk Diyagramı verilmektedir. Bu renk diyagramından hareketle, daha ayrıntılı şekilde büyütülerek gösterilen ve kullanılan camların rengini kapsayan iki ayrı bölge, iki farklı renk haritası şeklinde Şekil: 5.16 ve Şekil: 5.17'de görülmektedir.

x ve y koordinatlarının belirlenmesi yardımıyla elde edilen, C.I.E. Renk Diagramındaki renk parametrelerinin, ve gölgeleme katsayılarının sayısal değerleri sırasıyla 3 mm ve 10 mm kalınlığındaki camlar için Tablo: 5.8 ve Tablo: 5.9 'da bir araya toplanmıştır.



Sekil: 5.15. Genel Renk Diyagramı

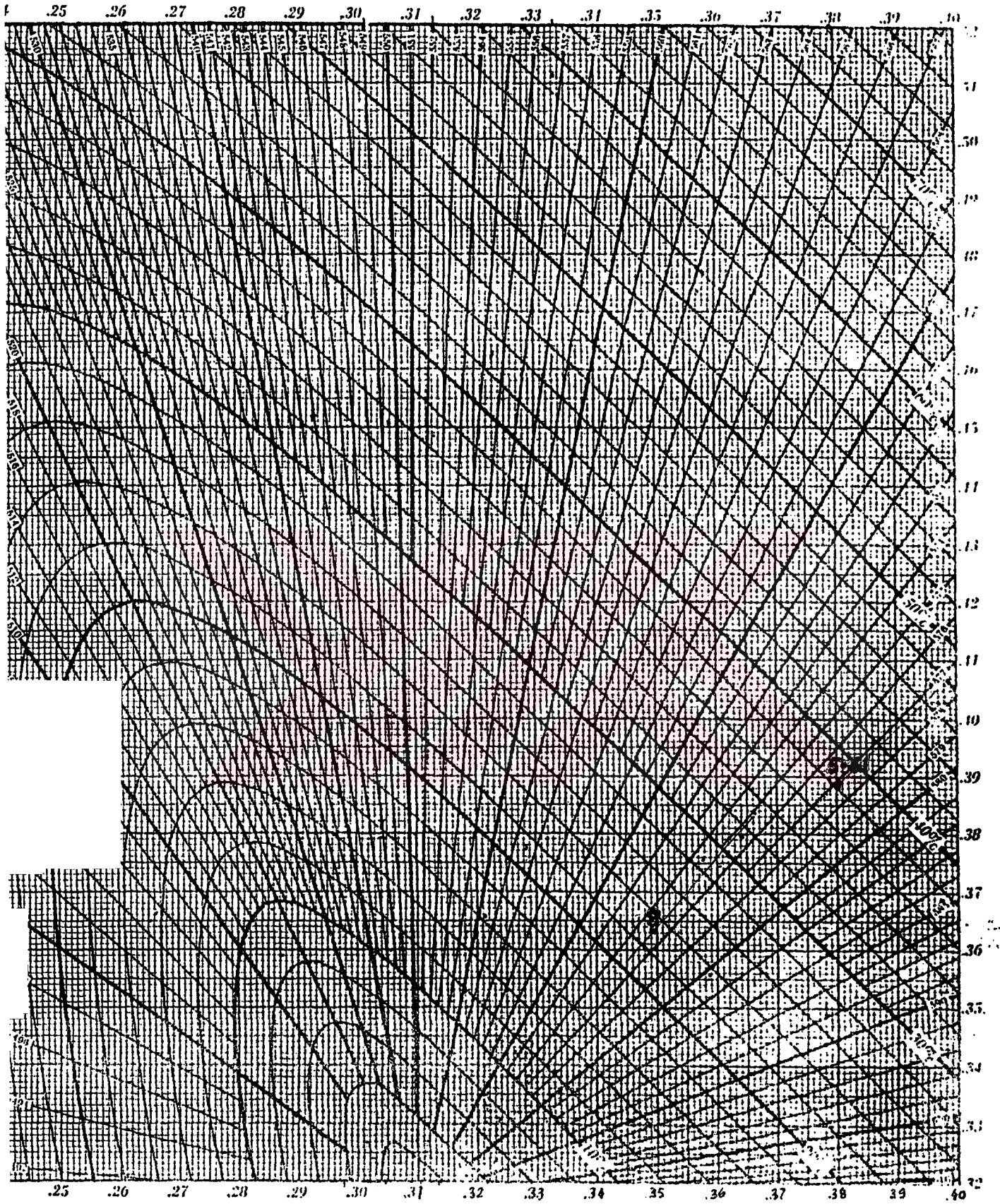
12. Bölge



Sekil: 5.16. Renklenmiş Soda Camlarının Renk Haritasındaki Yerleri

X

13. Bölge



Sekil: S.17. Renklenmiş Soda Camlarının Renk Haritasındaki Yerleri

Tablo: 5.8.

Işınlanmış 3 mm Kalınlığındaki Camların
Parlaklık (%Y), Saflık (%P), Başat dalgaboyu (λ_d -nm)
ve Gölgeleme Katsayıları

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	Koordinatlar			Parlaklık (% Y)	Saflık (P)	Başat Dalb.	Gölgeleme Katsayısı
	x	y	z				
4.568	0.336	0.345	0.318	63.087	17	576	0.9411
2.246	0.322	0.332	0.346	75.630	7	575	0.9730
1.437	0.320	0.330	0.349	76.991	6	573	0.9636
0.998	0.315	0.323	0.362	83.823	2	560	0.9926
Renksiz	0.309	0.317	0.374	90.253	0.5	497	1.062

Tablo: 5. 9.

Işınlanmış 10 mm Kalınlığındaki Camların
Parlaklık (%Y), Saflık (%P), Başat dalgaboyu (λ_d -nm)
ve Gölgeleme Katsayıları

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	Koordinatlar			Parlaklık (% Y)	Saflık (%P)	Başat Dalgb.	Gölgeleme Katsayısı
	x	y	z				
4.568	0.380	0.389	0.230	31.654	38	577	0.724
2.246	0.350	0.363	0.287	47.905	23	575	0.785
1.437	0.340	0.354	0.307	55.130	18	574	0.798
0.998	0.324	0.338	0.337	72.213	10	572	0.819
0.000	0.308	0.318	0.376	93.320	3	494	0.897

Renklenmenin etkisi ve durumunun rasyonel şekilde incelenebilmesi için geçirgenlik deneyleri, girici elektromagnetik radyasyon için ayrıca yapılmıştır. Bir başka deyişle, Co-60 ile ısınilanarak renk değistiren camların spektrofotometrik, ultraviyole, X-ışını ve gama ısınilarını geçirgenlikleri deneylerimizle ölçümlenmiştir.

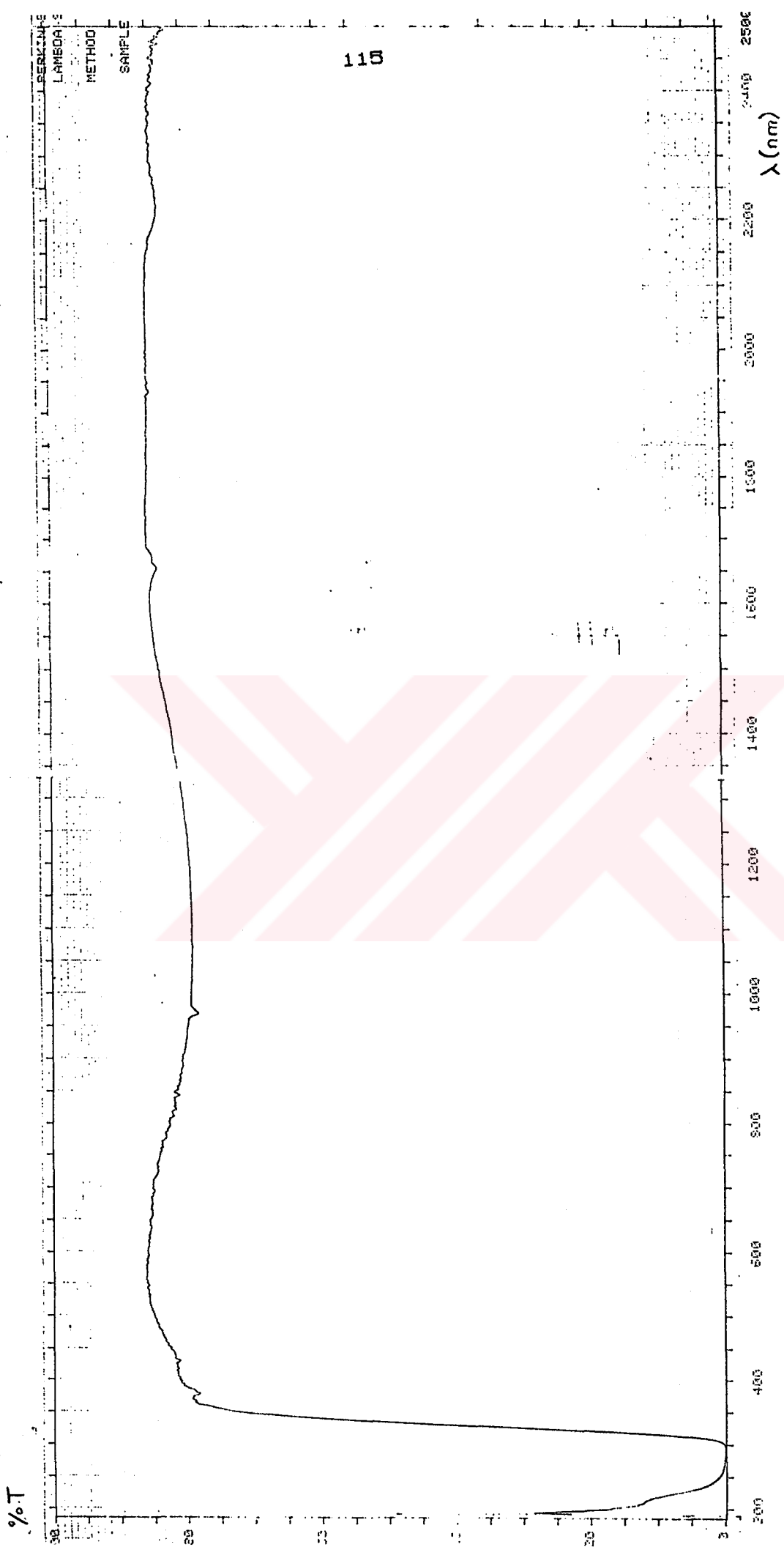
5.3.2. Spektrofotometreyle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Bölüm: 5.2.1 içinde anlatıldığı üzere, benzer çalışmalar bu sefer Co-60 radyoizotopu ile yüksek dozda ısınilanarak renklendirilmiş camlar için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar 3 mm ve 10 mm kalınlığındaki camlar için sırasıyla Tablo: 5.10 ve Tablo: 5.11'de verilmiştir. Bu tablolardan hareketle çizilen grafikler ise Şekil: 5.18- 5.30' da görülmektedir. Ayrıca yine bu tablolardan hareketle cam kalınlığına bağlı olarak hesaplanarak çizilen grafikler ise Şekil: 5.34 - 5.39'da verilmiştir.

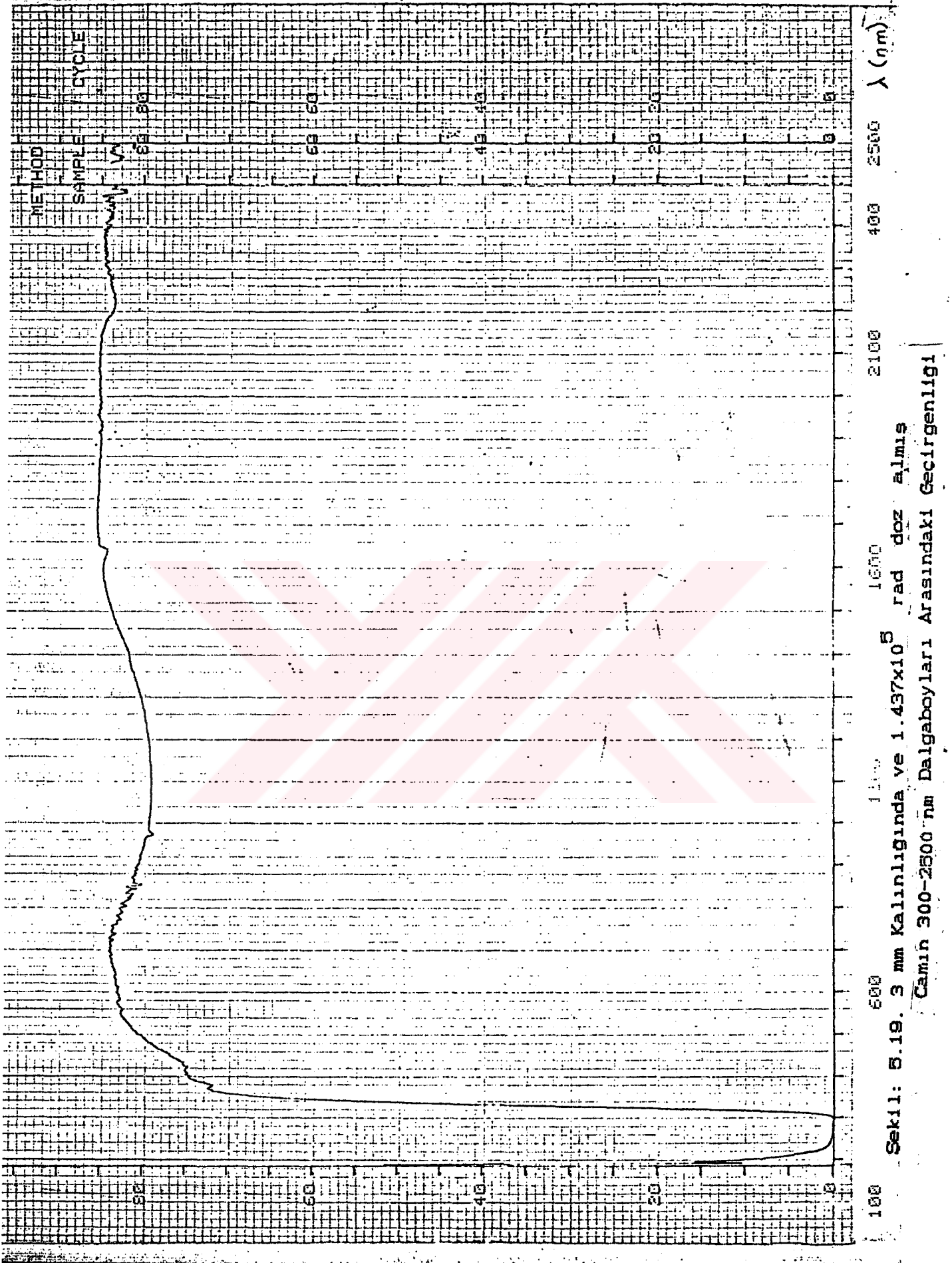
Tablo: 5.10.

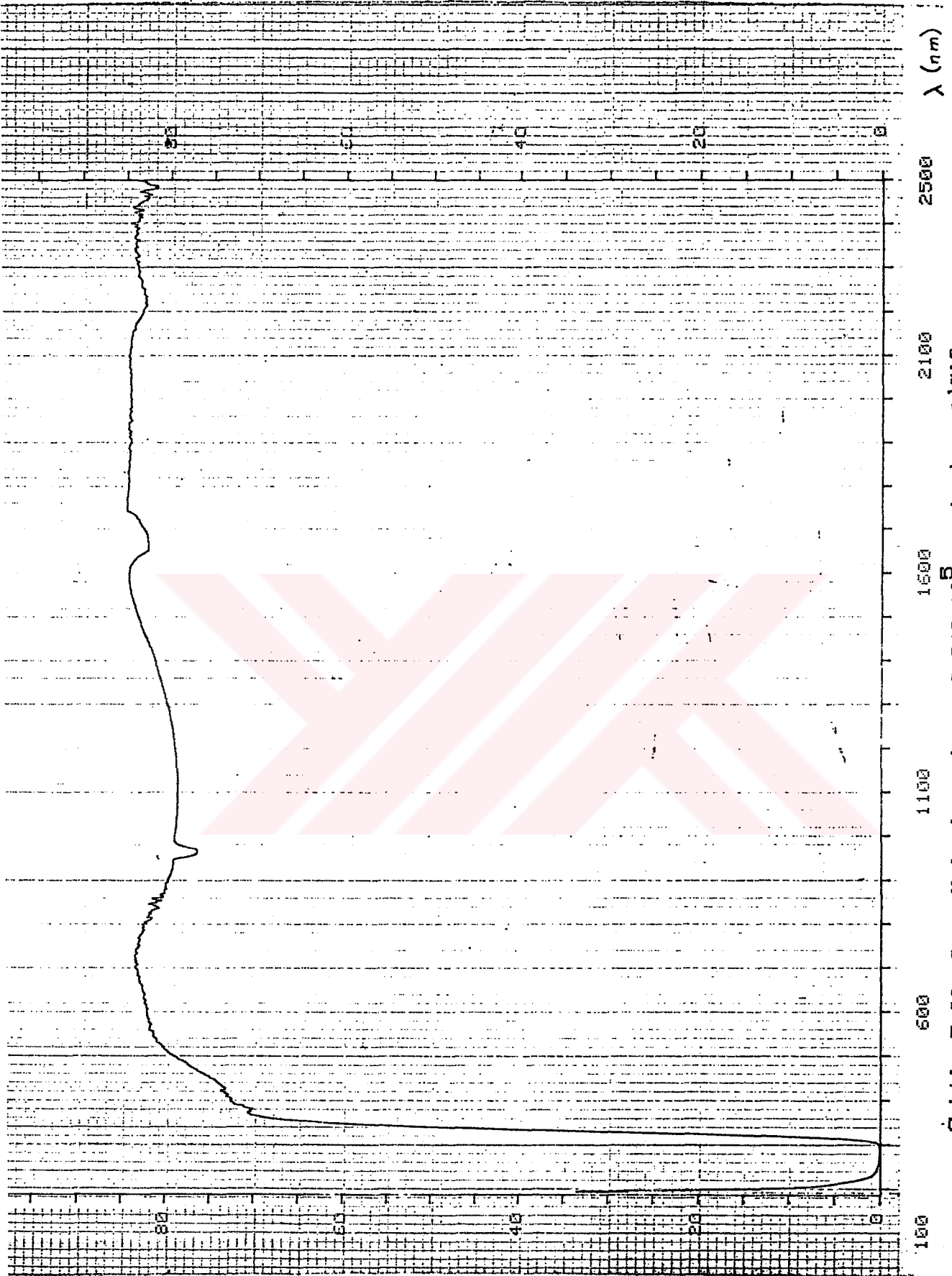
Renklenmiş 3 mm'lik Camlar İçin Spektrofotometreyle
Elde Edilen Sonuçlar

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	Işık Gec. % T_v ± 0.005	Solar Gec. % T_e ± 0.005	UV Gec. % T_{uv} ± 0.005	Işık Yan. % R_v ± 0.005	Solar Yan. % R_e ± 0.005	Solar Abs. % A_e ± 0.005	Işık Abs. % A_v ± 0.005
4.568	75.527	77.899	40.280	6.698	6.785	15.316	17.775
2.246	82.500	81.754	50.629	7.299	7.097	11.149	10.201
1.437	83.196	82.089	50.710	7.381	7.109	10.802	9.423
0.998	86.454	84.145	57.159	7.705	7.332	8.523	5.841

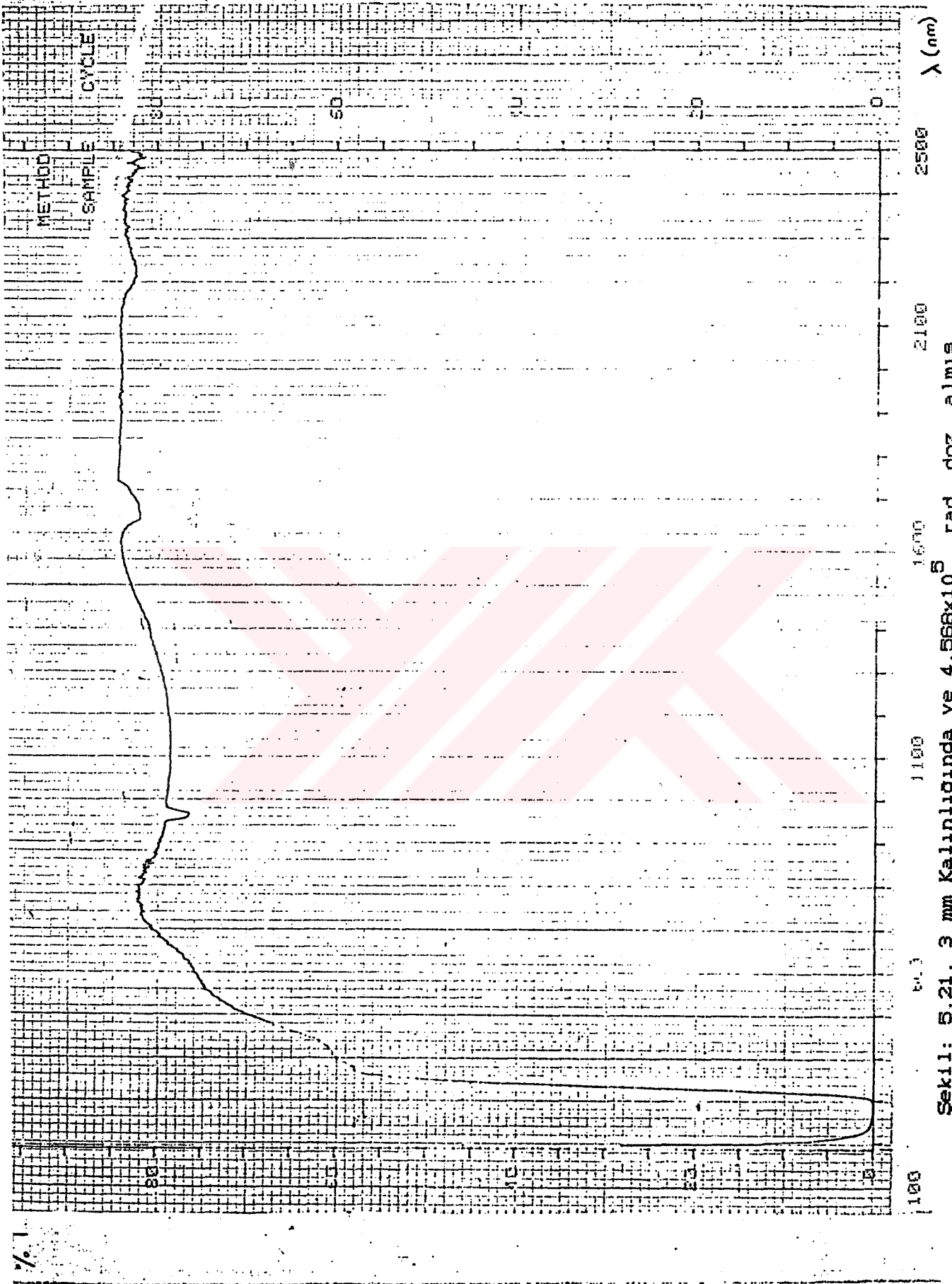


Sekil: 5.18. 3 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 rad doz almış
Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği

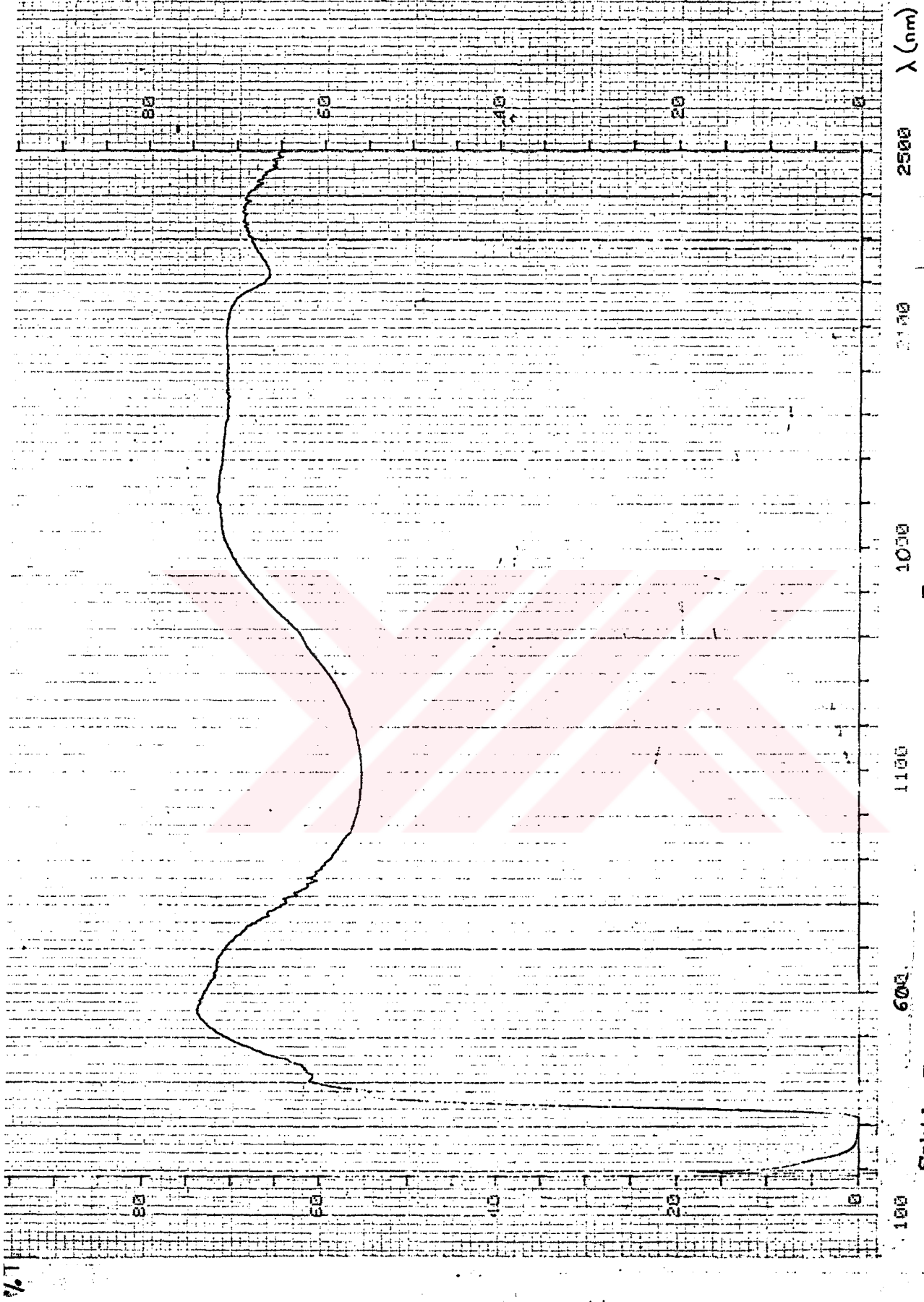




Sekil: 5.20. 3 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 rad doz almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği

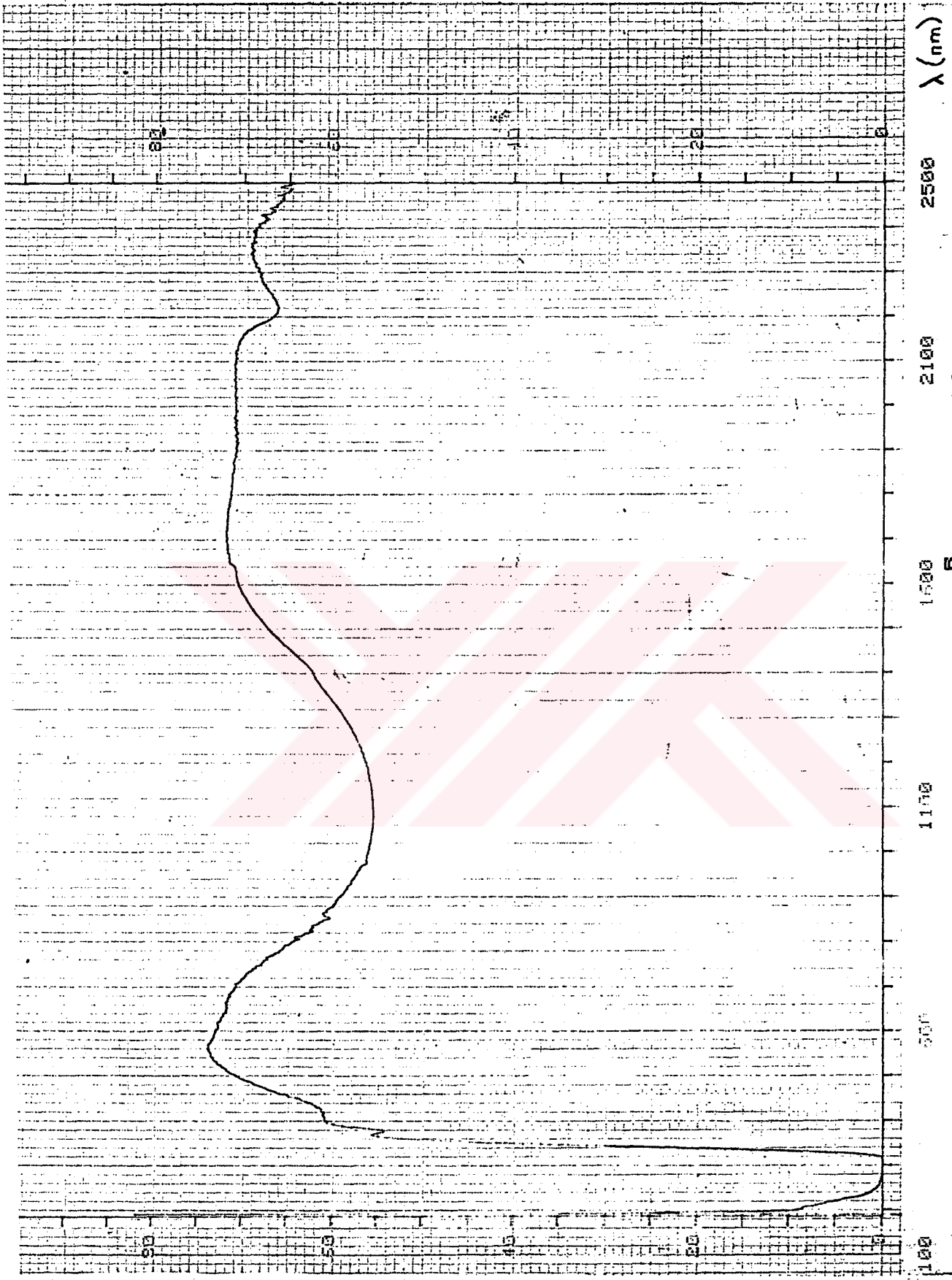


Sekil: 5.21. 3 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 rad doz almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği



Sekil: 5.22. 10 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 rad doz almış

Camin 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği

 λ (nm)

2500

2100

1500

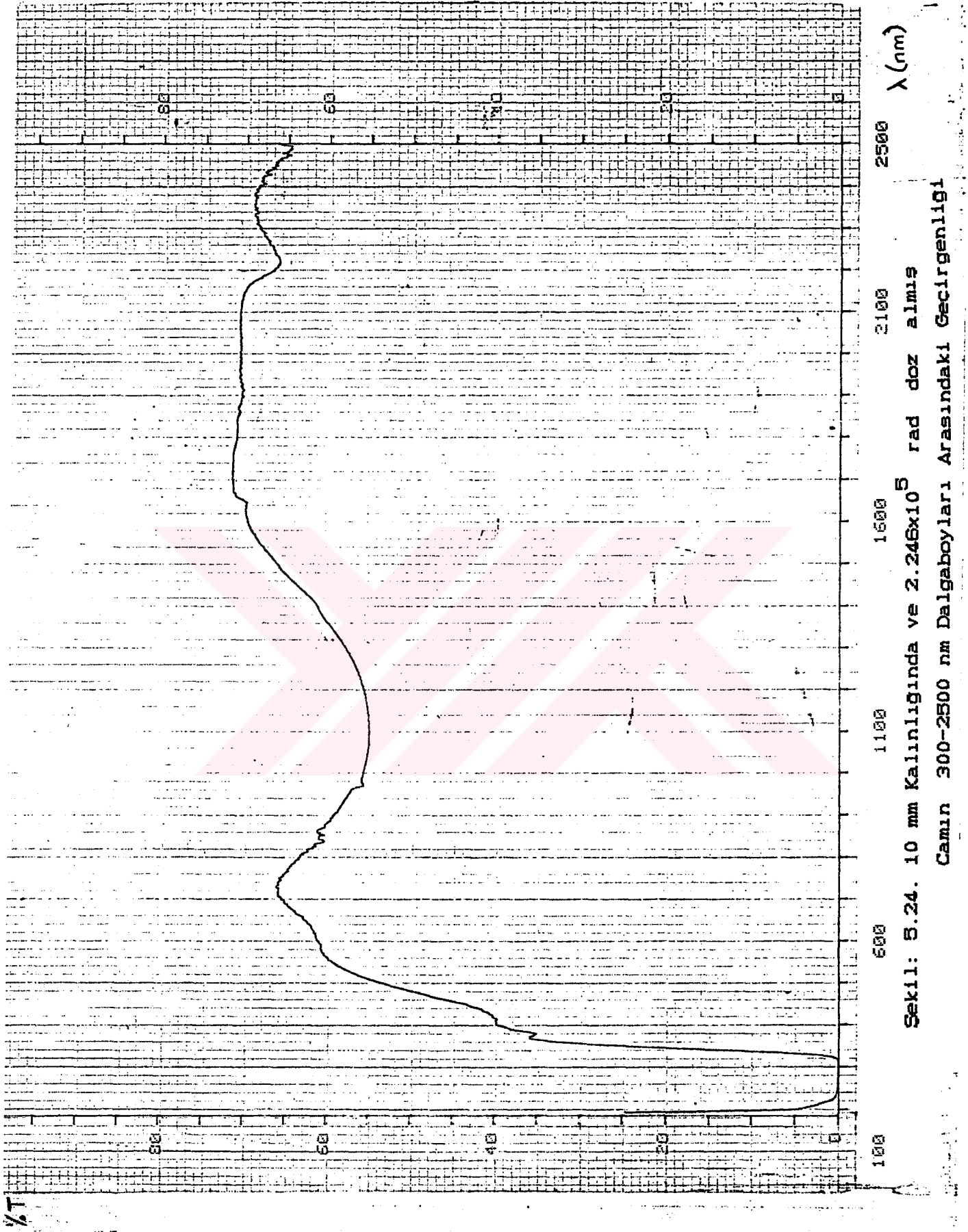
1100

500

100

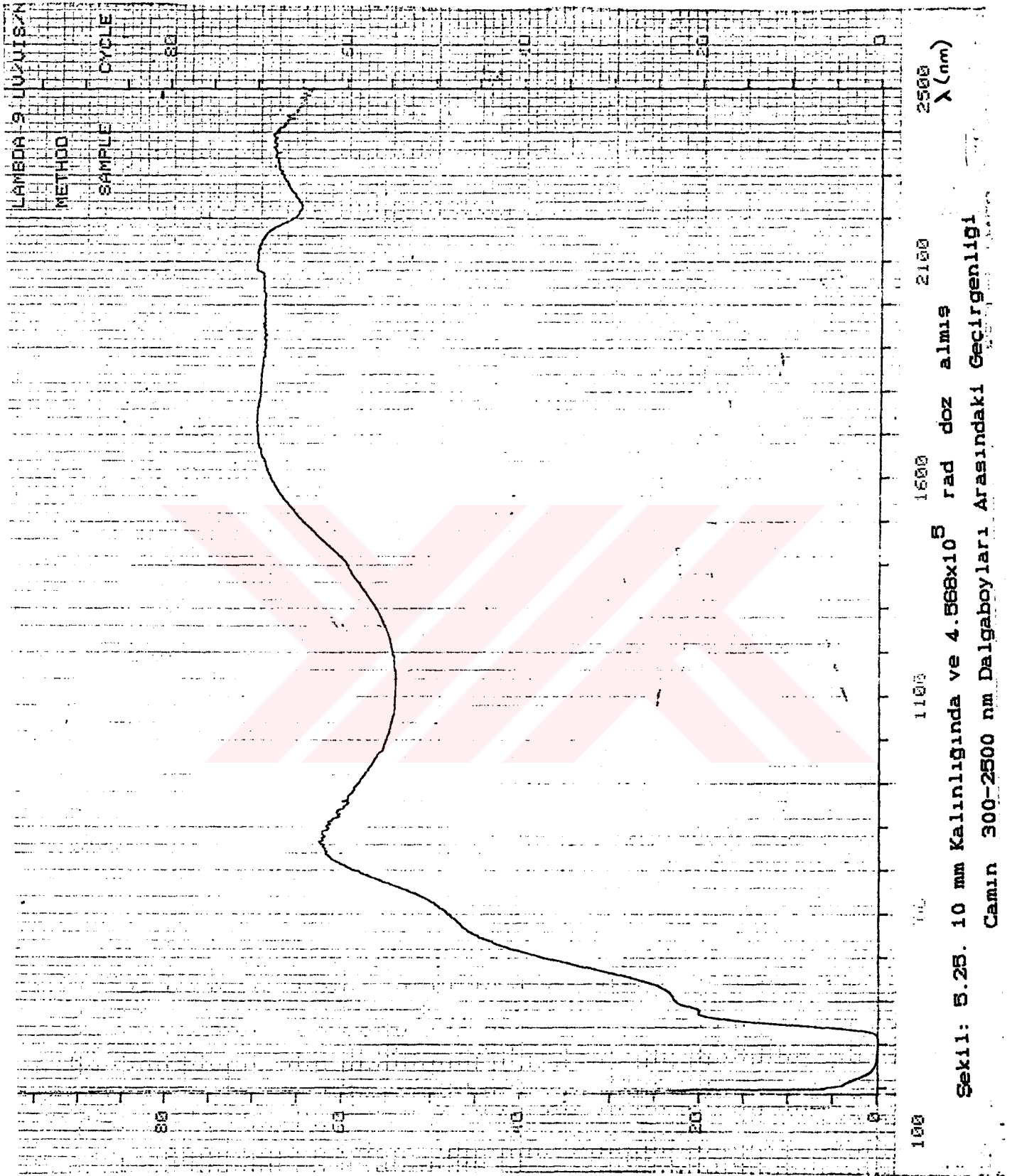
Sekil: 5.23. 10 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 rad doz almış

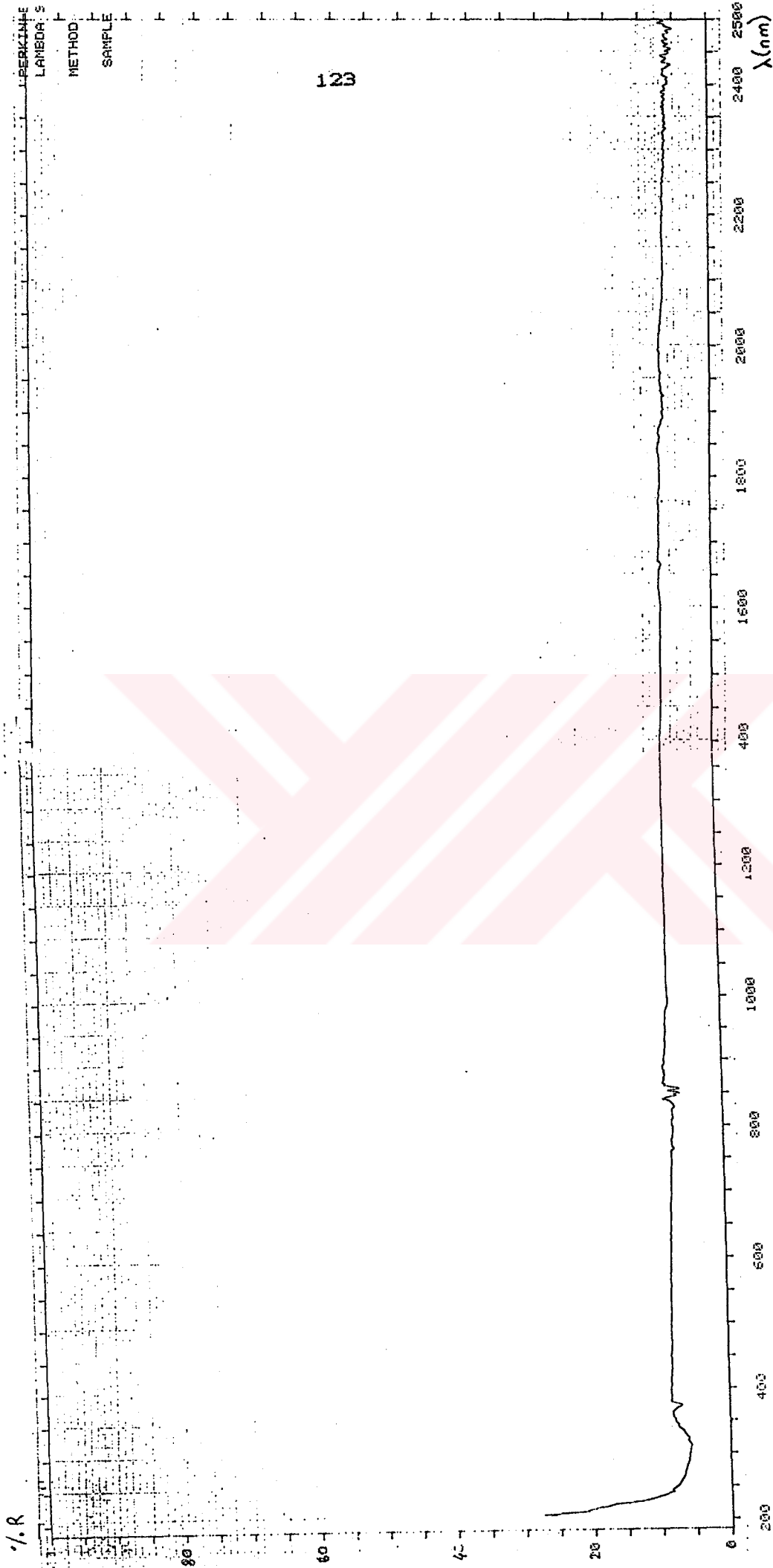
Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği



Sekil: 5.24. 10 mm Kalınlığında ve 2.248×10^5 rad doz almış

Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Geçirgenliği





Şekil: 5.26. 3 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 rad doz almış
Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı

$\lambda(\text{nm})$

2500

2100

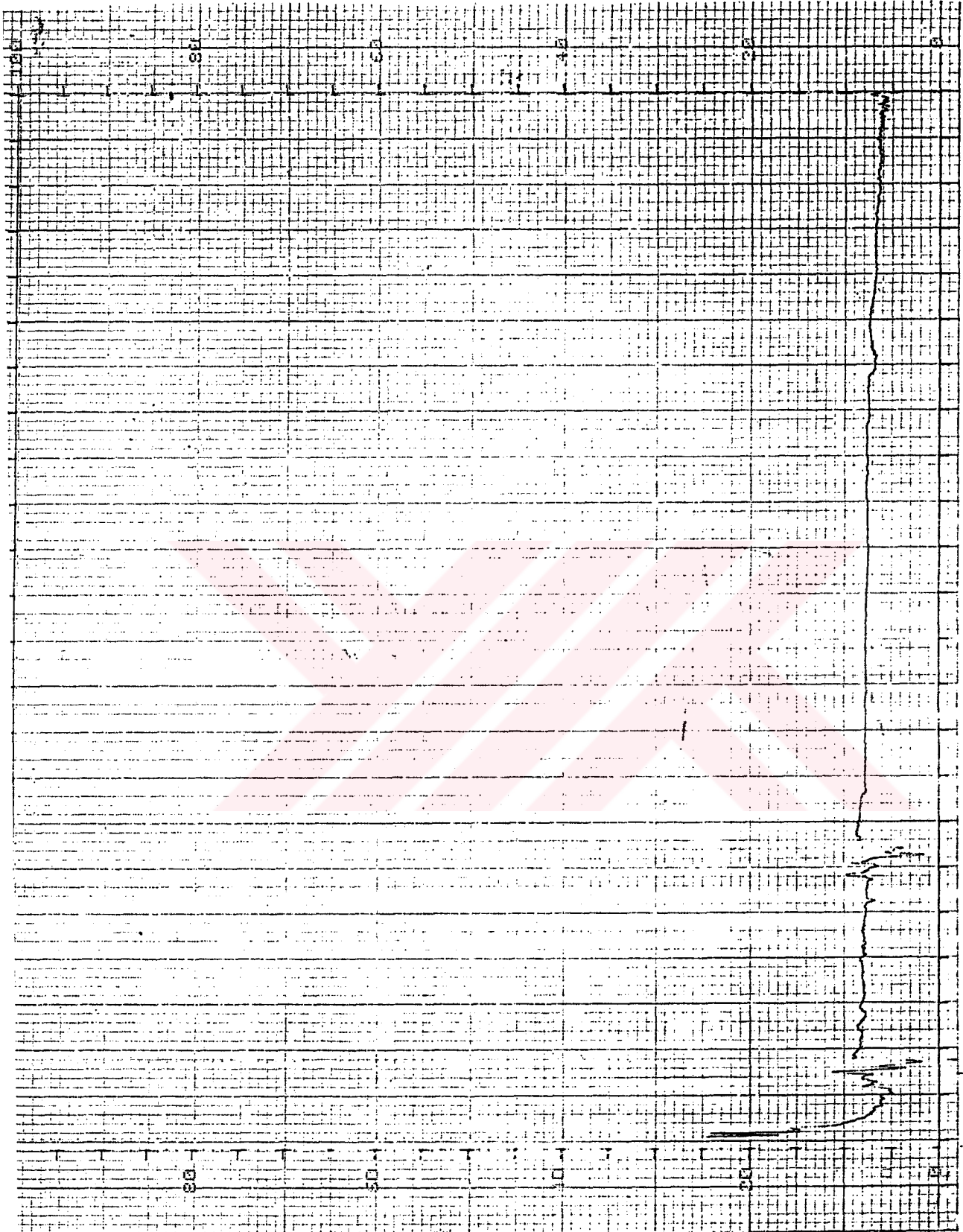
1500

1100

500

100

Sekil: 5.27. 3 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 rad doz almış
 Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı



λ (nm)

2500

2100

1600

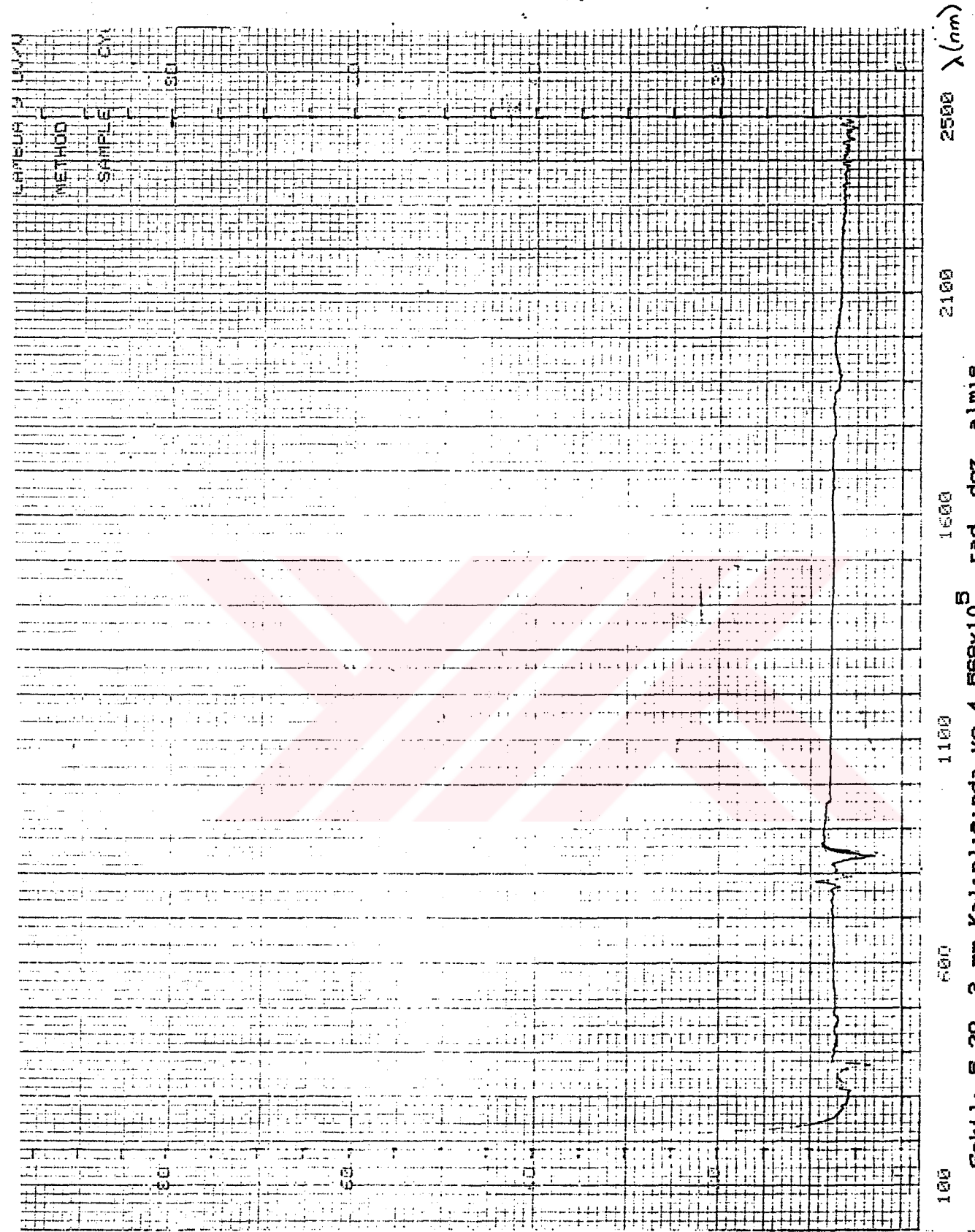
1100

600

100

Sekil: 5.28. 3 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 rad doz almış
 Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı





Sekil: 5.29. 3 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 rad doz almış
Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı



2100

1100

500

100

2500

 λ (nm)

Sekil: 5.30. 10 mm Kalınlığında ve 0.998×10^5 rad doz almış

Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı

λ (nm)

2500

2100

1600

1100

600

100

Sekil: 5.31. 10 mm Kalınlığında ve 1.437×10^5 rad doz almış Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı



λ (nm)

2100

1600

1100

600

100

Sekil: 5.32. 10 mm Kalınlığında ve 2.246×10^5 rad doz almış
Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı



λ (nm)

2500 00

2100

1500

1100

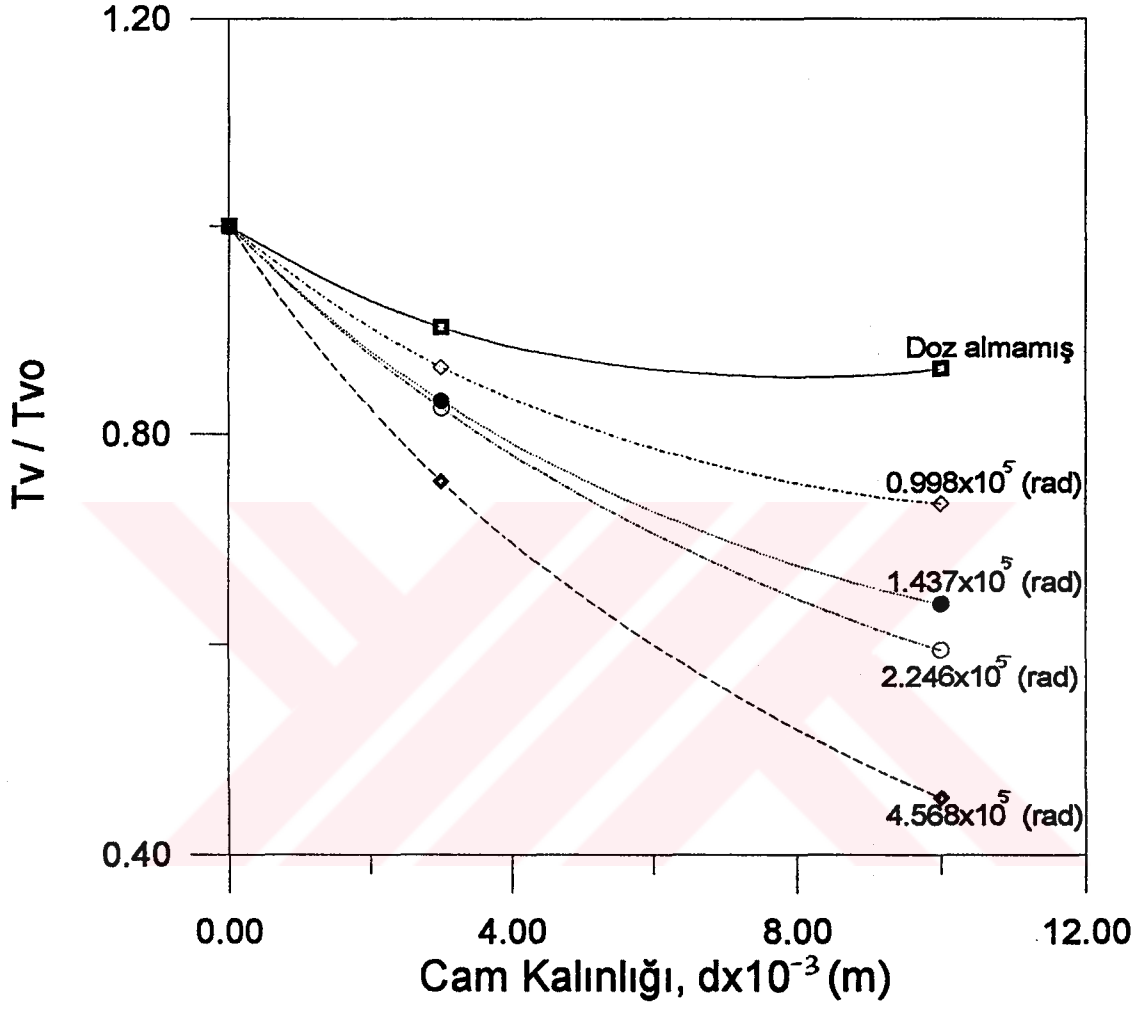
600

100

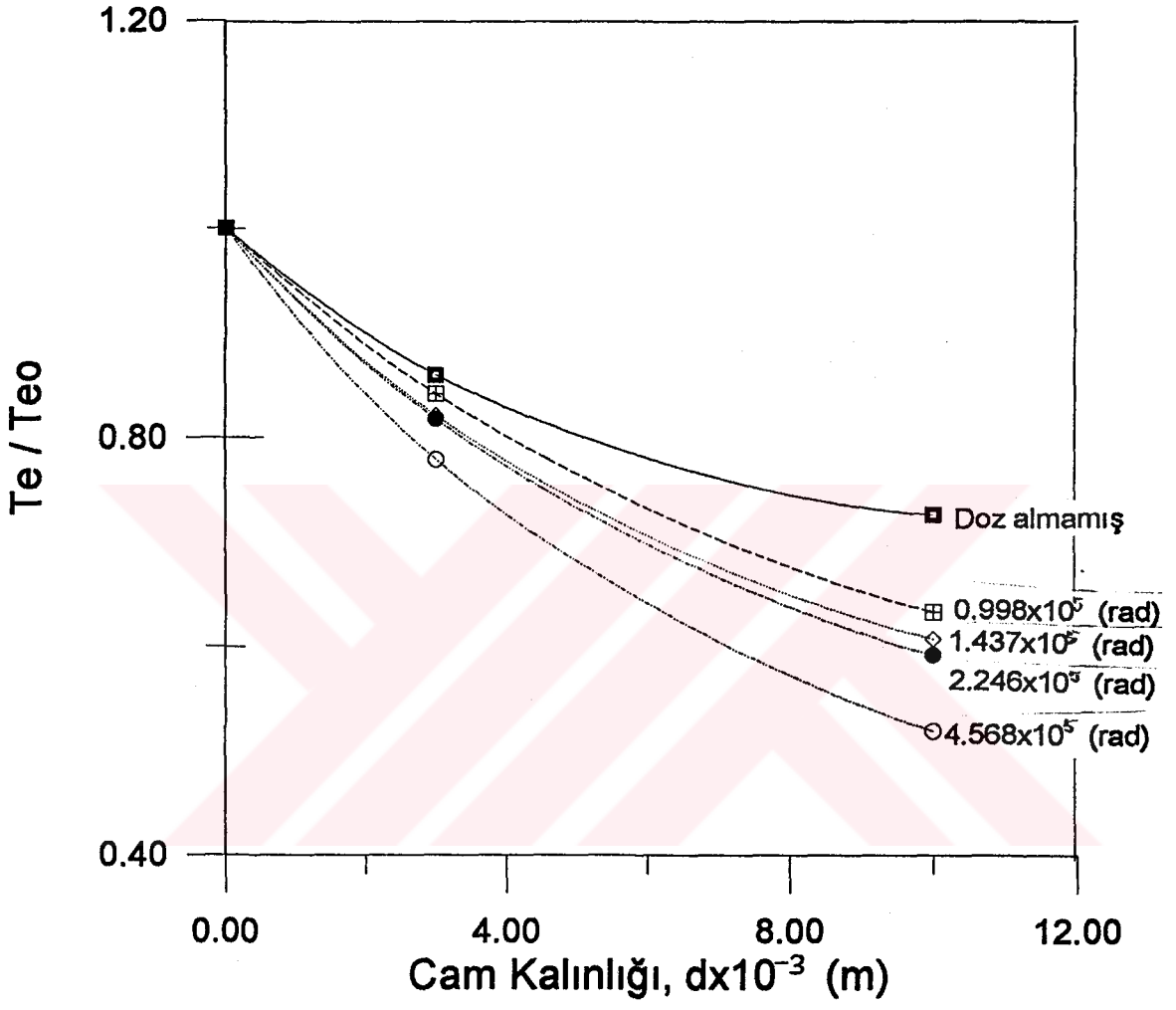
Sekil: 5.33. 10 mm Kalınlığında ve 4.568×10^5 rad doz almış

Camın 300-2500 nm Dalgaboyları Arasındaki Yansıtıcılığı

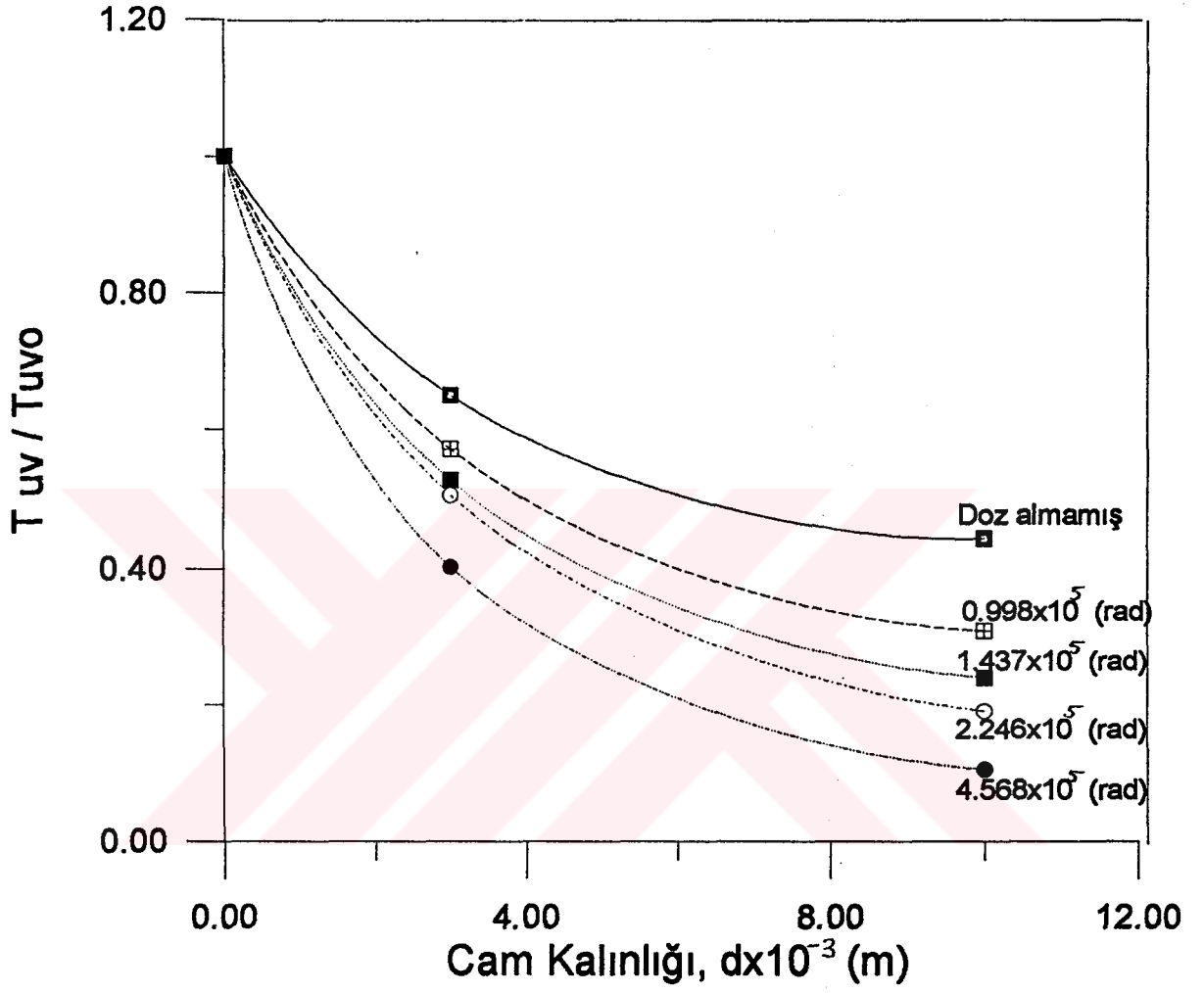




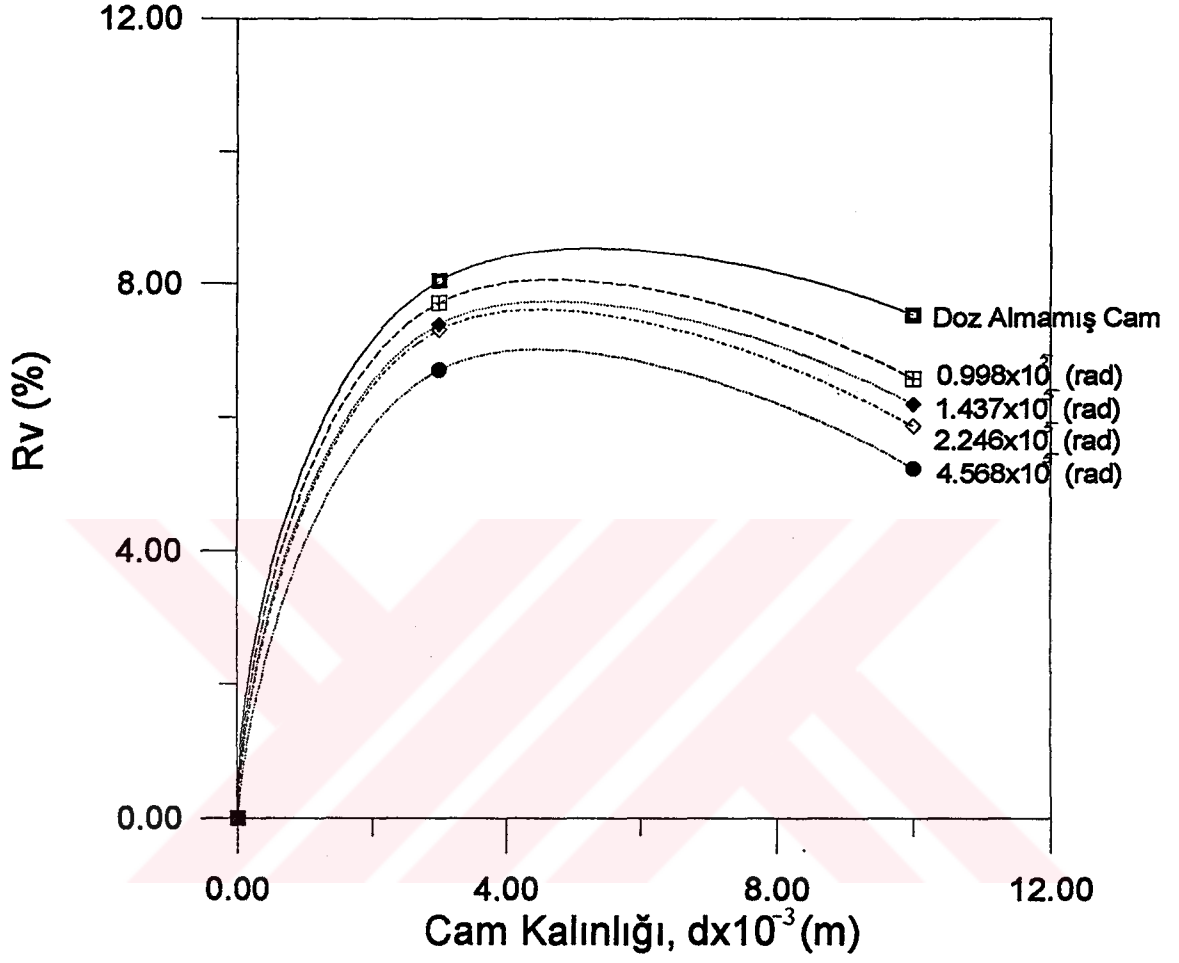
Sekil: 5.34. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Görünür Işık Geçirgenliği



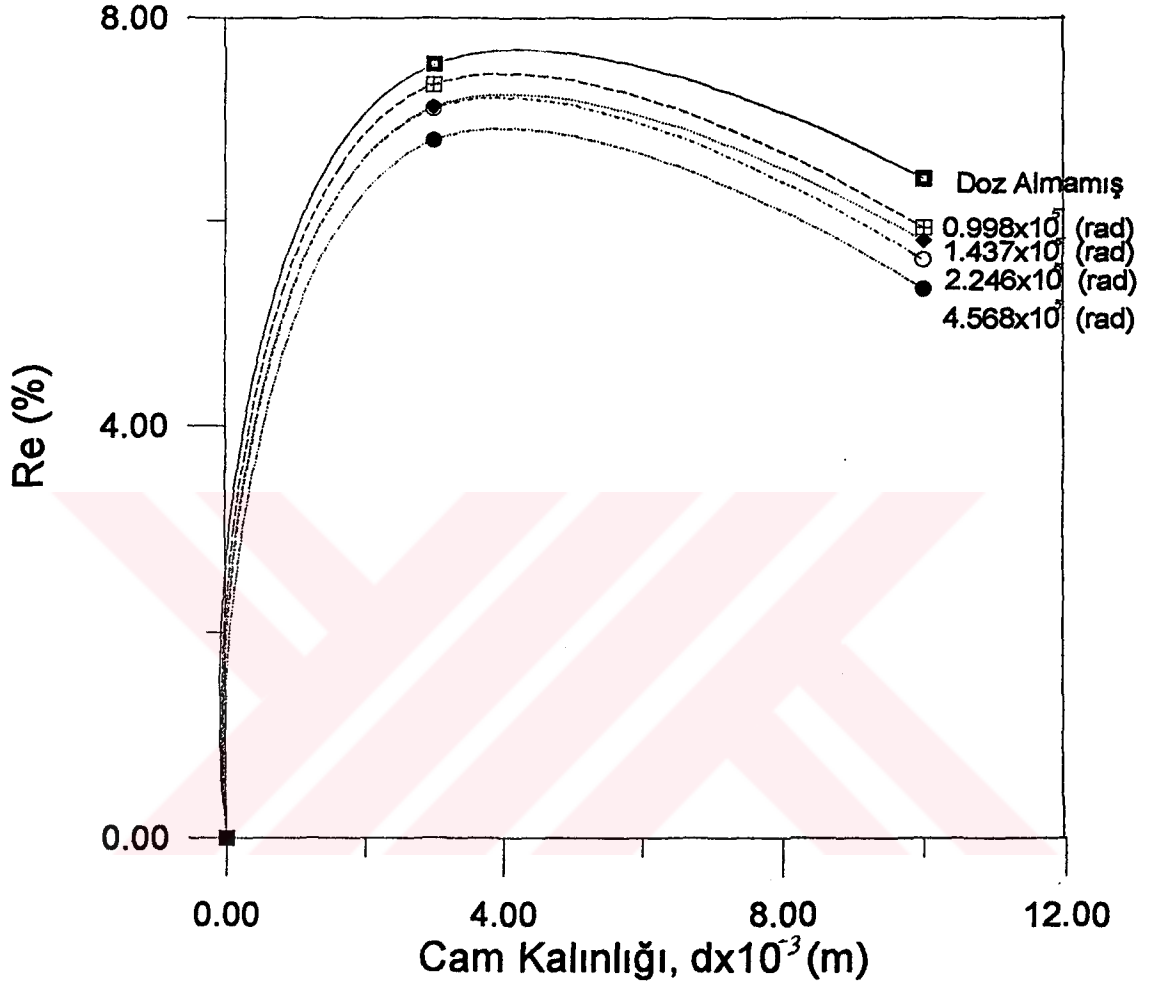
Sekil: 5.35. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Geçirgenlik



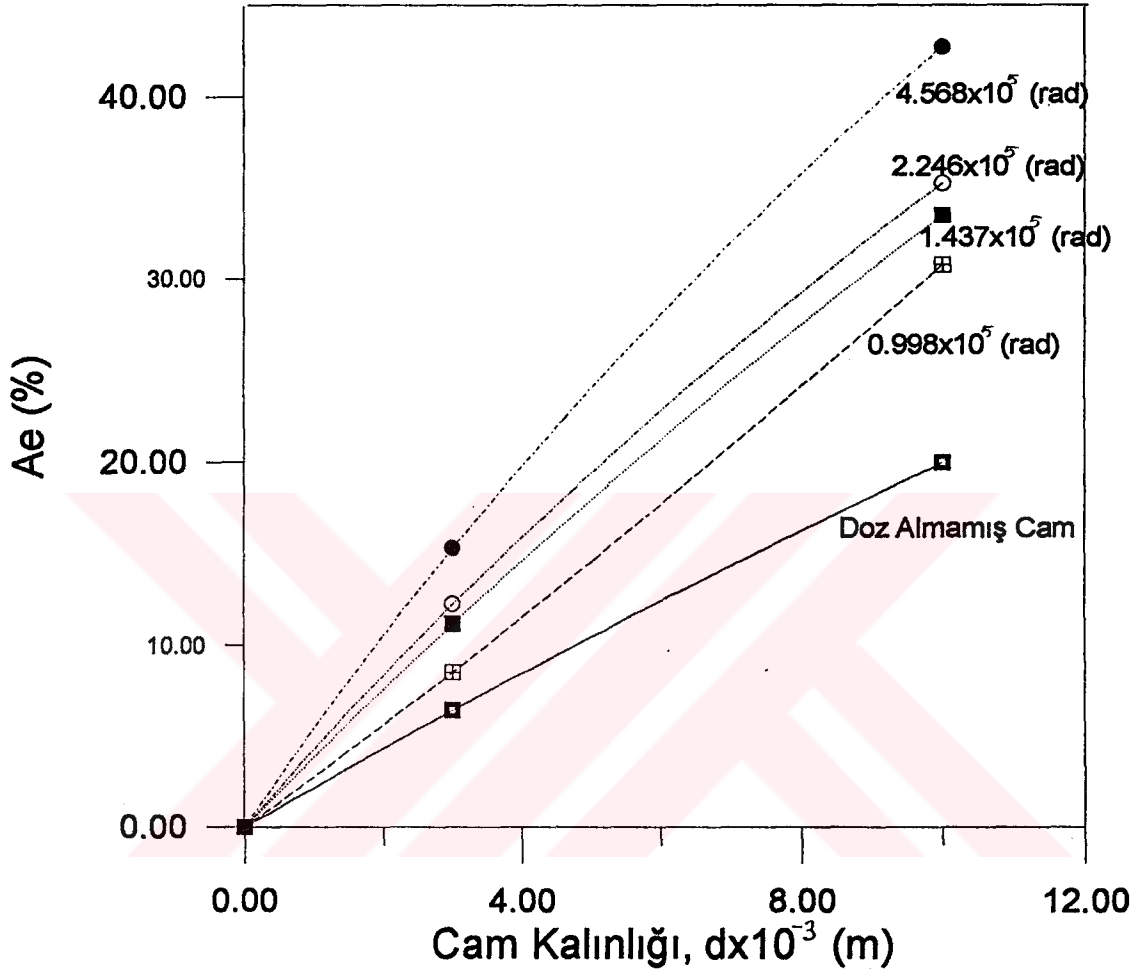
Şekil: 5.36. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak UV Geçirgenliği



Şekil: 5.37. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Görünür Işık Yansıtıcılığı



Sekil: 5.38. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Yansıtıcılığı



Sekil: 5.39. Cam Kalınlılığına Bağlı Olarak Solar Yutulma

Tablo: 5.11.

Renklenmiş 10 mm'lik Camlar İçin Spektrofotometreyle
Elde Edilen Sonuçlar

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	Işık Gec. % T_v ± 0.005	Solar Gec. % T_e ± 0.005	UV Gec. % T_{uv} ± 0.005	Işık Yan. % R_v ± 0.005	Solar Yan. % R_e ± 0.005	Solar Abs. % A_e ± 0.005	Işık Abs. % A_v ± 0.005
4.568	45.480	51.880	10.422	5.240	5.336	42.784	49.280
2.246	59.434	59.130	19.060	5.867	5.617	35.253	34.699
1.437	63.832	60.706	23.949	6.199	5.803	33.491	29.969
0.998	73.448	63.266	30.893	6.580	5.930	30.804	19.972

5.3.3. Ultraviyole (Morötesi) Işınlarla Yapılan Deneysel Çalışmalar

Co-60 radyoizotopu ile yüksek dozda ışınlanarak renklendirilmiş camlar için UV deneyleri Bölüm: 5.2.2 içinde renksiz camlar için yapılanlara benzer şekilde yapılmıştır. Yine ultraviyole siyah lamba ve güneş lambası (Sun lamp) ile çalışılmıştır. 3 mm ve 10 mm camlarla yapılan deneylerimiz sonucunda siyah lamba ve güneş lambası (sun lamp) için elde edilen sonuçlar Tablo:5.12 ve Tablo: 5.13'de ve grafik olarak da Şekil: 5.40 ve Şekil: 5.41'de görülmektedir.

Ayrıca spektrofotometreden elde edilen sonuçlardan çıkarılan ortalama değerler yardımıyla her bir doz almış camın cam kalınlığına bağlı olarak CEN' in belirttiği şekilde, UV geçirgenliği incelenmiştir. İlgili grafik ise Şekil: 5.36' de verilmiştir.

Tablo: 5.12

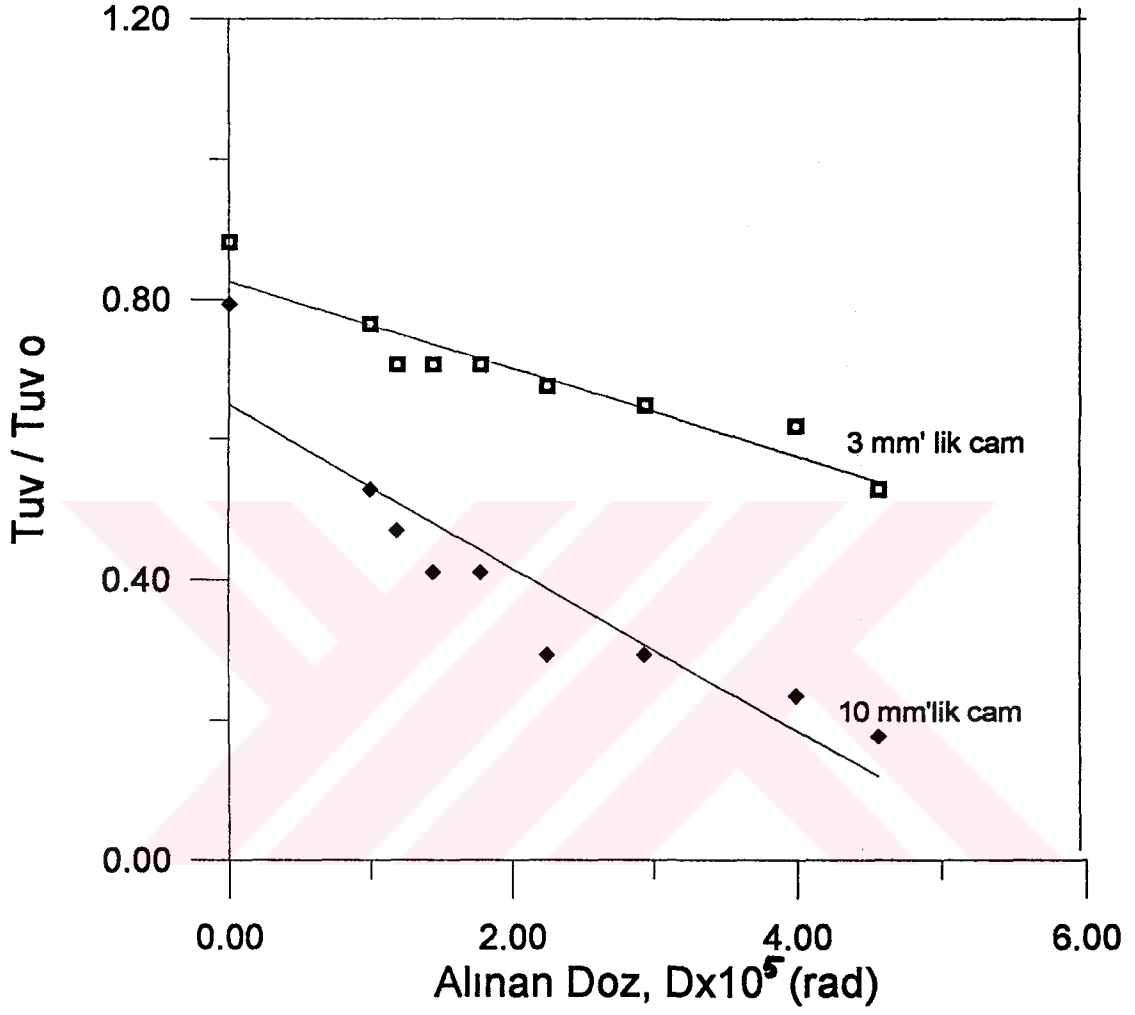
Isınlanmış Camlar İçin Siyah Lamba UV Radyasyonunu
60 cm Mesafeden Geçirgenliği

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	I / I_0	
	3 mm' lik	10 mm' lik
4.568	0.529	0.176
3.993	0.618	0.235
2.934	0.647	0.294
2.246	0.675	0.294
1.774	0.706	0.411
1.437	0.706	0.411
1.188	0.706	0.470
0.998	0.765	0.529

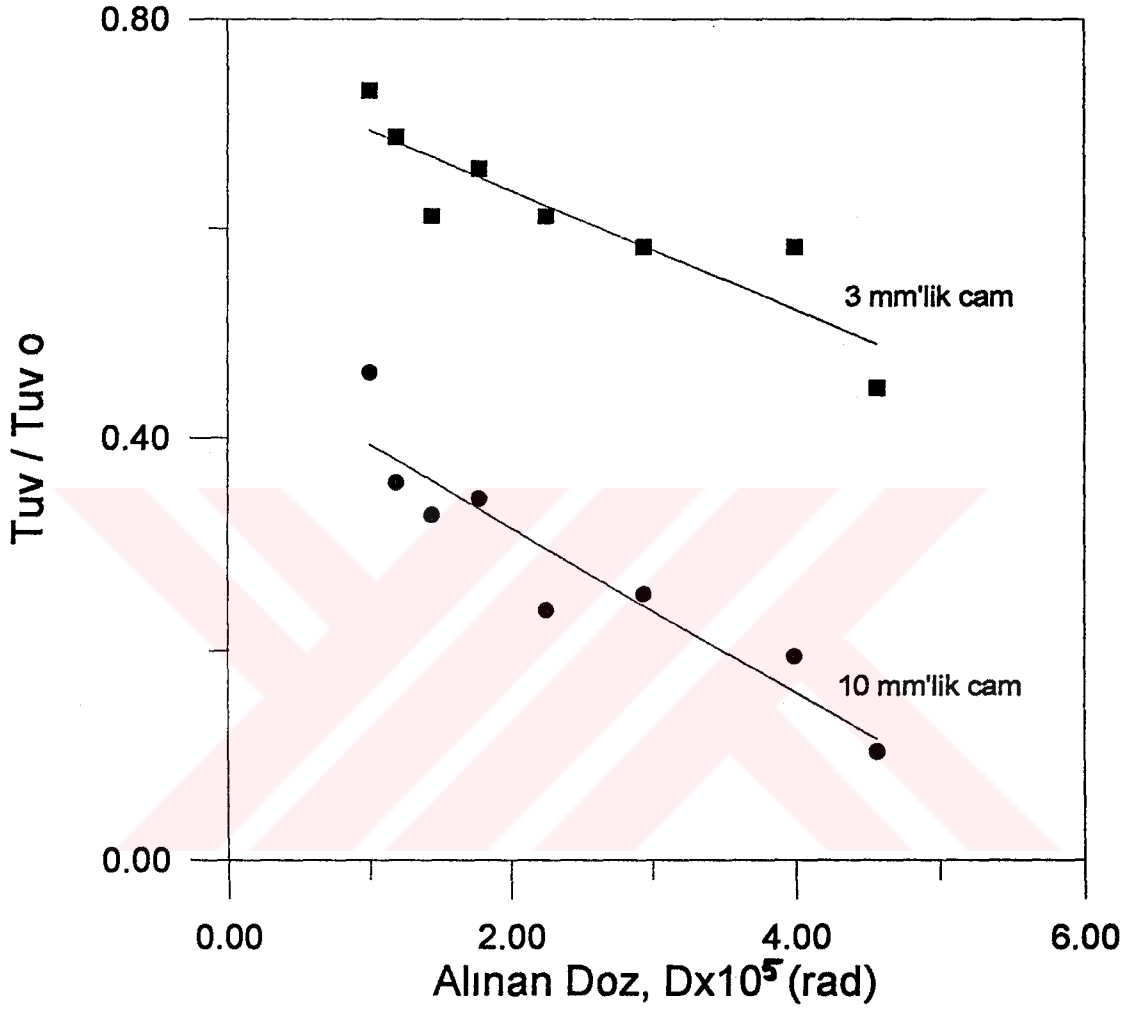
Tablo: 5.13

Isınlanmış Camlar İçin Güneş Lambası (Sun Lamp) UV Radyasyonunu
60 cm Mesafeden Geçirgenliği

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	I / I_0	
	3 mm' lik	10 mm' lik
4.568	0.448	0.104
3.993	0.582	0.194
2.934	0.582	0.254
2.246	0.612	0.239
1.774	0.612	0.328
1.437	0.657	0.343
1.188	0.687	0.358
0.998	0.731	0.463



Sekil: 5.40. Işınlanmış Camlar İçin Siyah Lamba UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği



Sekil: 5.41. Isınlanmış Camlar İçin Güneş Lambası (Sun Lamp)
UV Radyasyonunu 60 cm Mesafeden Geçirgenliği

5.3.4. X- Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

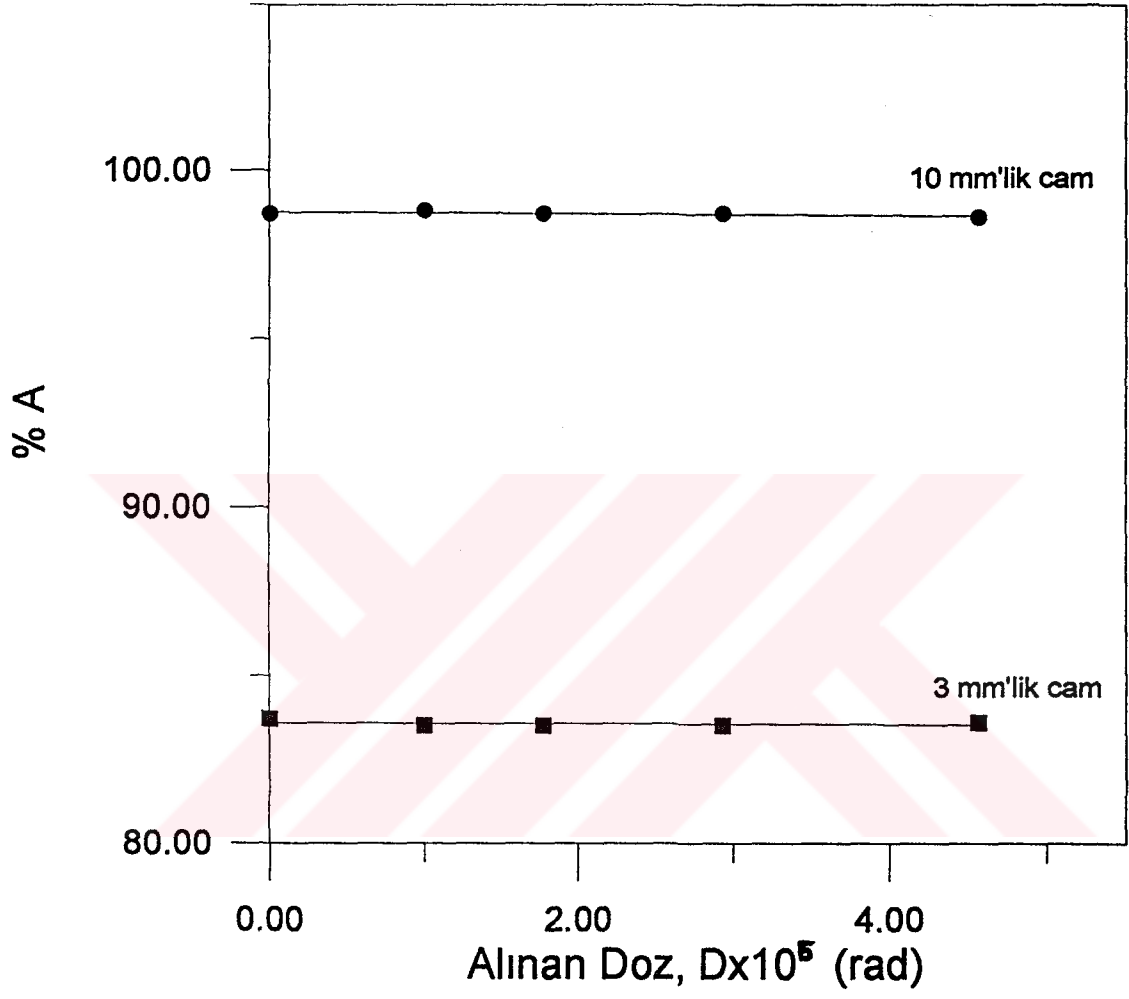
Burada, Co-60 radyoizotopu ile ışınlanarak renklendirilmiş sodalı camların X-ışını absorbantlığı incelenmiştir. Bunun için yine TAEK-ÇNAEM Sağlık Fizigi Bölümü imkanlarından yararlanılmıştır.

X-ışını radyasyonunu, ışınlanarak renklenmiş 3 mm ve 10 mm kalınlığındaki soda-kireç camlarının absorbantlığına ilişkin olarak elde edilen sonuçlar Tablo: 5.14 de çizilen grafik ise Şekil: 5.42'de görülmektedir. İncelemeler 30 kV'da yapılmıştır.

Tablo: 5.14

Renklendirilmiş Camların 30 kV X-ışını Yutma Oranları

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	% A	
	10 mm' lik	3 mm' lik
4.568	98.6	83.6
2.934	98.7	83.5
1.774	98.7	83.5
0.998	98.8	83.5



Sekil: 5.42. Alınan Doza Bağlı Olarak X-ışını Yutulma oranı

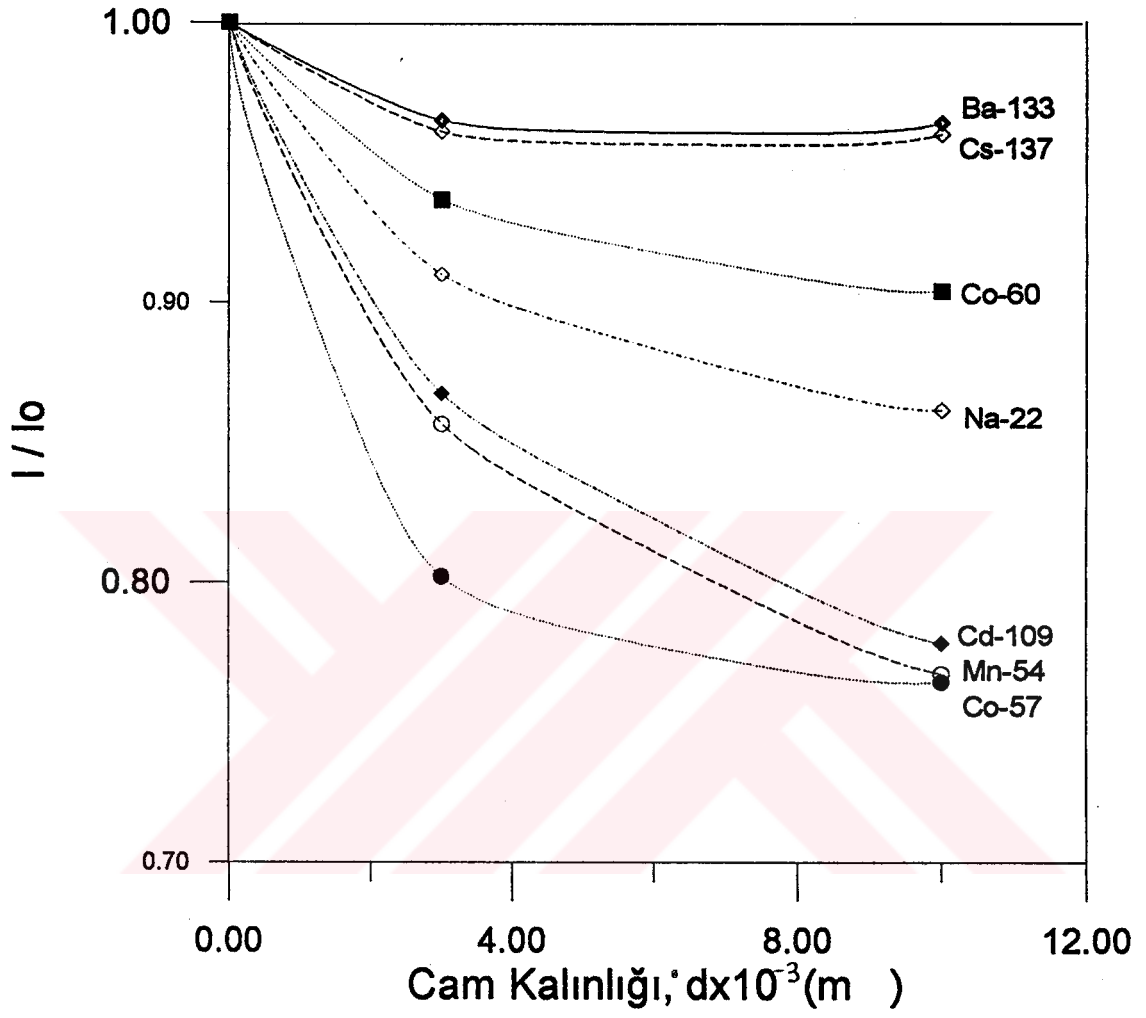
5.3.5. Gama Işınlarıyla Yapılan Deneysel Çalışmalar

Co-60 radyoizotop kaynağı kullanılarak yüksek dozda ışınlanarak renklenmiş sodalı camların gama ışınlarını geçirgenliğini incelemek üzere yine 7 adet gama radyoizotop kaynağı ile çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo: 5.15 'da ve ilgili grafiklerle beraber Şekil: 5.43 - 5.46'da verilmiştir.

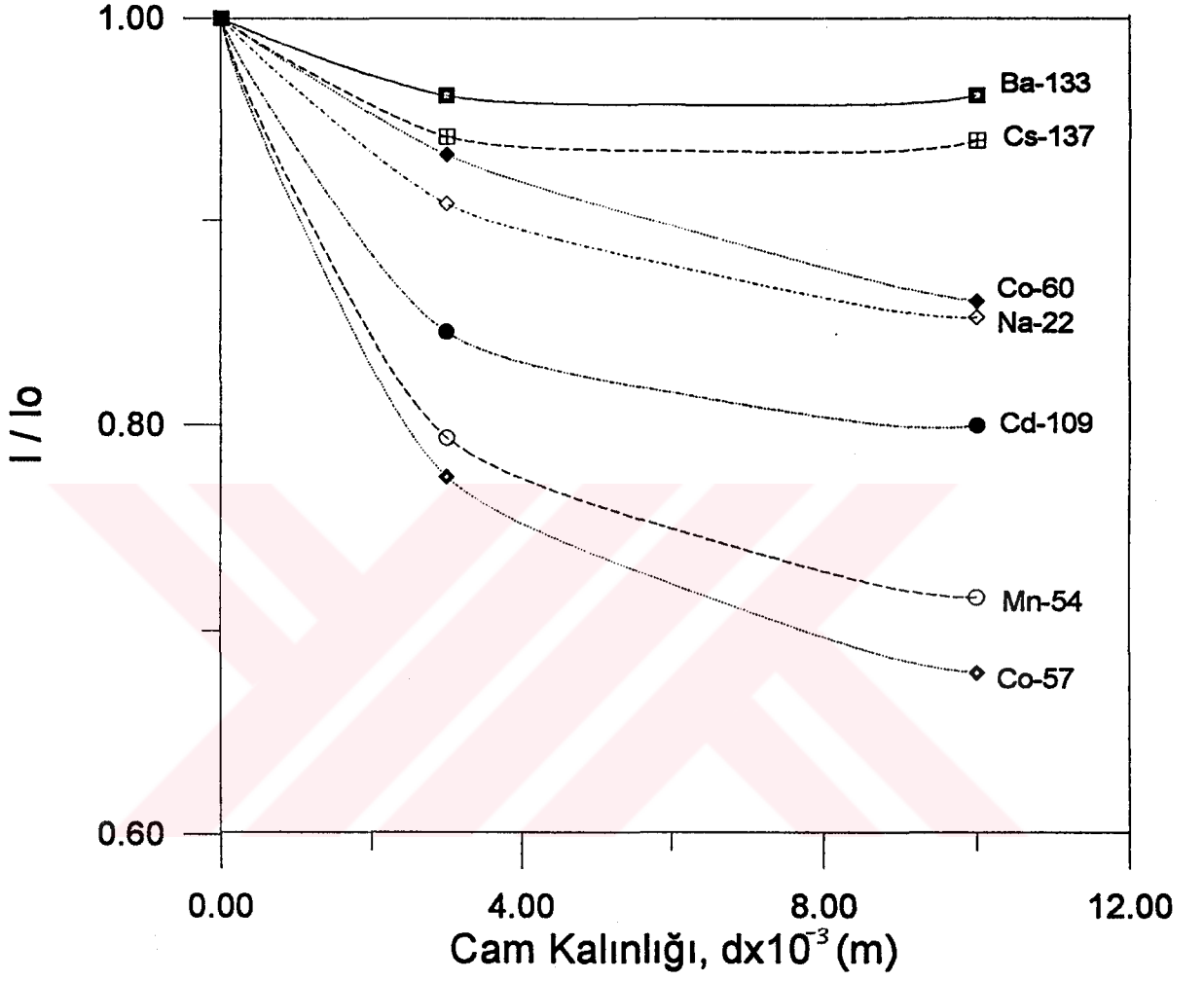
Tablo: 5.15

Işınlanmış Camların Çeşitli Gama Radyoizotopları İçin
Geçirgenlikleri

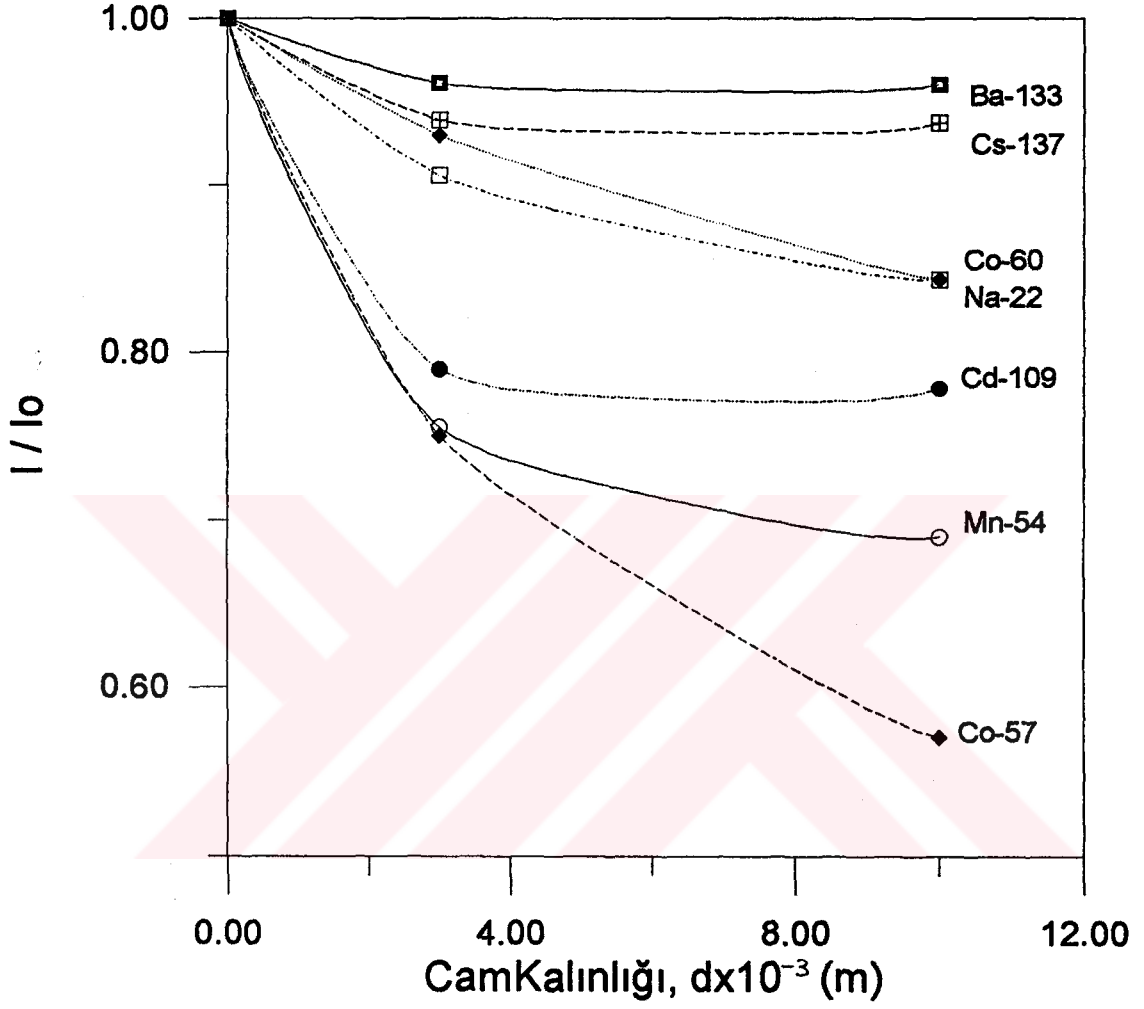
Radyoizotoplar	Gama Geçirgenliği, I / I_0 (± 0.003)							
	Alınan Dozlar, $D \times 10^5$ (rad)							
	0.998		1.437		2.248		4.568	
	3 mm	10 mm	3 mm	10 mm	3 mm	10 mm	3 mm	10 mm
Ba-132	0.035	0.037	0.040	0.039	0.039	0.040	0.040	0.050
Cs-137	0.040	0.041	0.060	0.062	0.062	0.065	0.065	0.068
Co-60	0.065	0.100	0.070	0.150	0.072	0.170	0.078	0.190
Na-22	0.090	0.150	0.096	0.160	0.098	0.170	0.099	0.201
Cd-109	0.142	0.046	0.168	0.130	0.235	0.235	0.350	0.687
Mn-54	0.156	0.265	0.230	0.333	0.280	0.280	0.370	0.529
Co-57	0.221	0.271	0.254	0.386	0.287	0.287	0.380	0.607



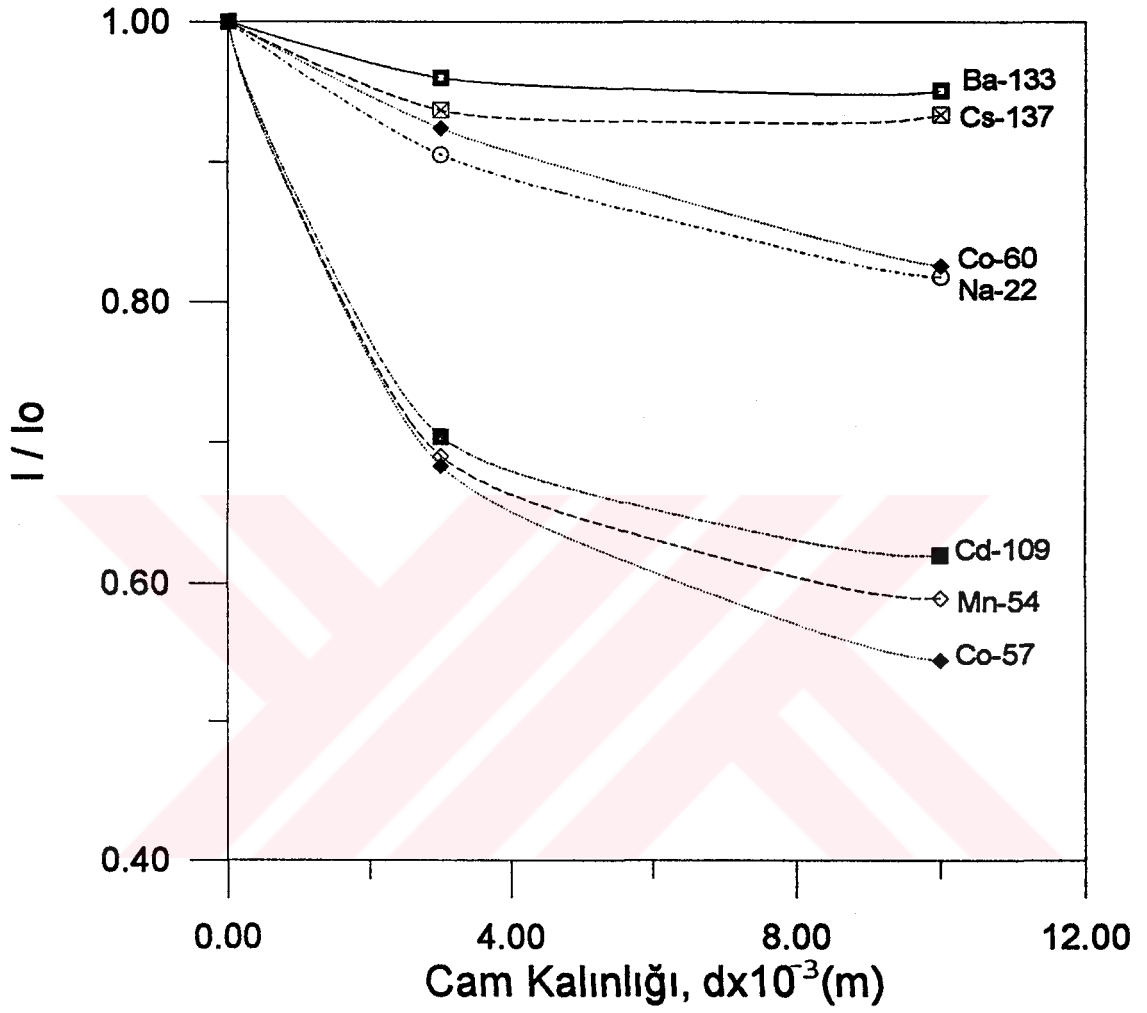
Şekil: 5.43. 0.998×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği



Sekil: 5.44. 1.437×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği



Sekil: 5.45. 2.246×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği



Sekil: 5.46. 4 5.68×10^5 rad Doz Almış Camın Gama Geçirgenliği

5.4. YÜKSEK DOZDA IŞINLANAN SODALI CAMLARIN RENKLENMESİNİN AÇIKLANMASI

Atom ağırlığı 55.84 ve atom numarası 26 olan demirin +2 değerlikli iyonlarına ferro ve +3 değerlikli iyonlarına ferri adı verilmektedir. Burada dikkat edilmesi gerekli bir nokta, ferro iyonlarına ait olan reaksiyonlardır.

Yüksek dozdaki radyasyon karşısında demirin oksijen atomlarıyla yapmış olduğu bağlar hasara uğrayarak kopmaktadır. Böylece Fe^{+2} iyonu, bir elektronunu kaybederek Fe^{+3} iyonuna yükseltgenmektedir.

Lambert Beer Yasasına göre;

$$I_{\gamma}(\lambda) = I_0 e^{-c\mu(\lambda)x} \quad (5.1)$$

formülünden elde edeceğimiz $\mu(\lambda)$ soğurma katsayısının, dalgaboyuna (λ) göre değişimi incelenmelidir. Burada c renk verici konsantrasyonudur.

Burada belirtilen c renk verici konsantrasyonu ise, T_1 izafi geçirgenlik ve T geçirgenlik olmak üzere;

$$\mu = \frac{-\log T_1}{c \cdot x} = \frac{-\log \frac{T}{92}}{c \cdot x} \quad (5.2)$$

şeklinde bulunabilmektedir. Burada Fe^{+2} ve Fe^{+3} 'ün sodalı camlardaki lineer soğurma katsayıları, Fe^{+2} ; için 1000 nm'de $\mu=9$, Fe^{+3} ; için 380 nm'de $\mu=1.27$ olarak bilinmektedir. (Bamford, 1977).

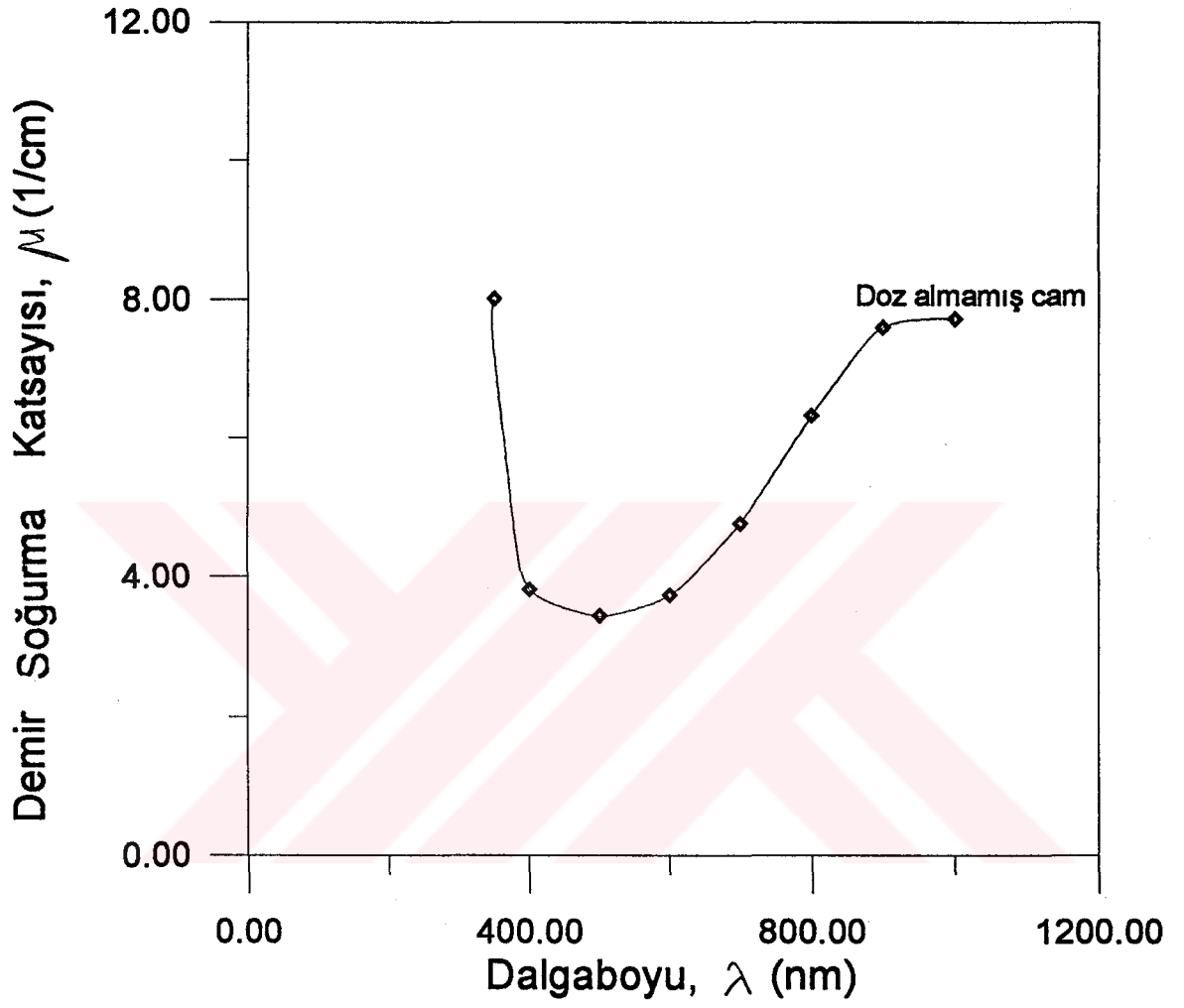
Bu veriler yardımıyla doz almış her bir camın c renk verici konsantrasyonunu bulmak mümkündür. Zaten spektrofotometre, yardımıyla her bir camın bu dalgaboylarındaki % T değerleri belirlenmiş bulunmaktadır. Böylece renk verici konsantrasyonuna ilişkin düzenlenen tablo, Tablo 5.16 de verilmektedir.

Tablo: 5.16

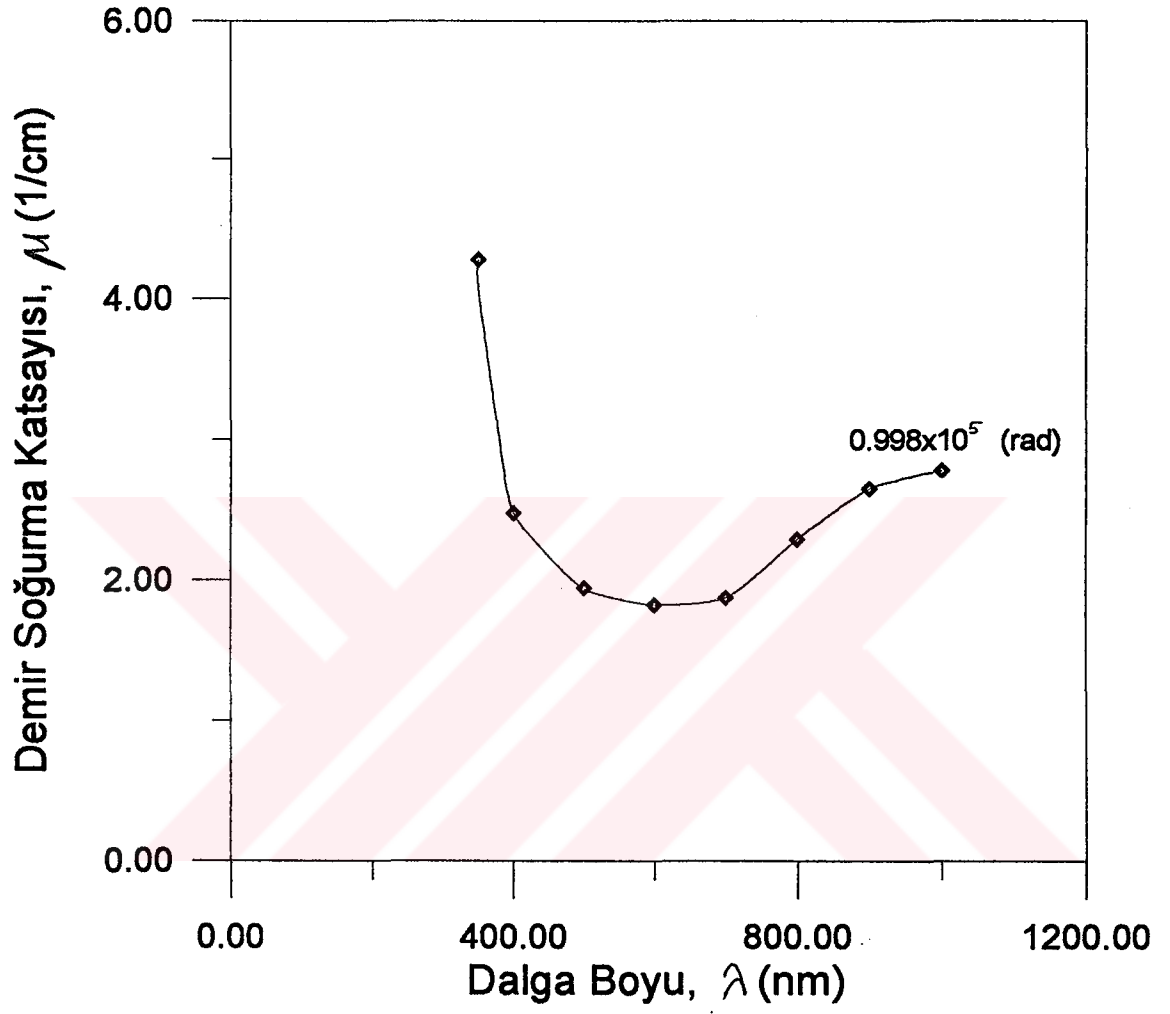
Alınan Doza Bağlı Olarak Belirlenen Renk Verici Konsantrasyon

Alınan Doz $D \times 10^5$ (rad)	Renk Verici Konsantrasyonu, c					
	3 mm			10 mm		
	Fe ⁺²	Fe ⁺³	ΣFeO	Fe ⁺²	Fe ⁺³	ΣFeO
Renksiz	0.0242	0.0748	0.0990	0.0238	0.0367	0.0606
0.998	0.0246	0.2491	0.2737	0.0242	0.2046	0.2288
1.437	0.0250	0.4050	0.4300	0.0244	0.3600	0.3845
2.246	0.0250	0.4480	0.4730	0.0246	0.4530	0.4776
4.568	0.0258	0.8480	0.8738	0.0251	0.7290	0.7541

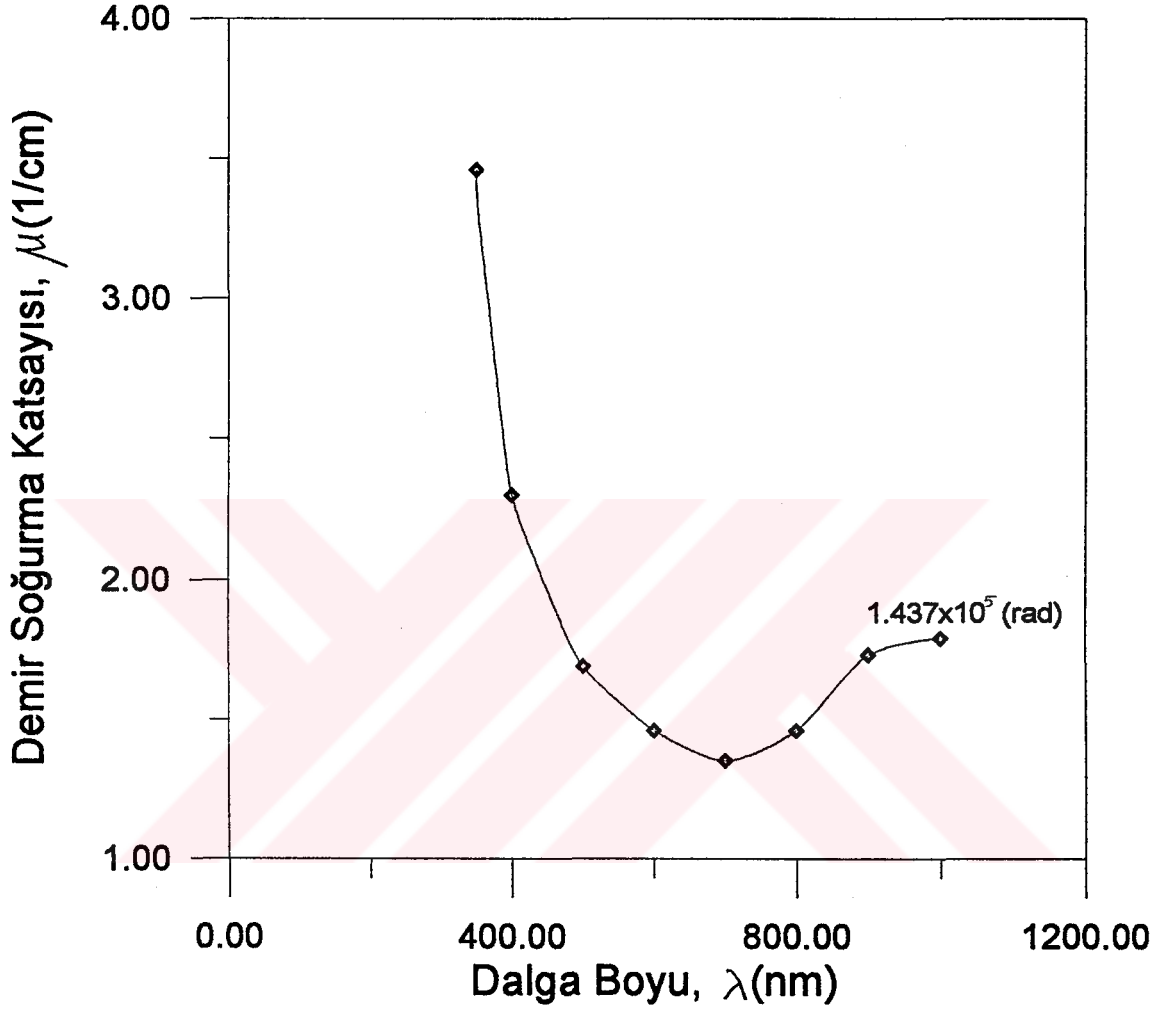
Böylece, demir için toplam renk verici konsantrasyonu bulunmuş olmaktadır. Bütün bu veriler yardımıyla daha önce belirtilen Lambert Beer Yasası'na göre μ yutma katsayısı elde edilir. Böylelikle, demirin radyasyonu yutma grafiği çizilebilir. İlgili grafikler, Şekil: 4.47 - 5.58'de görülmektedir.



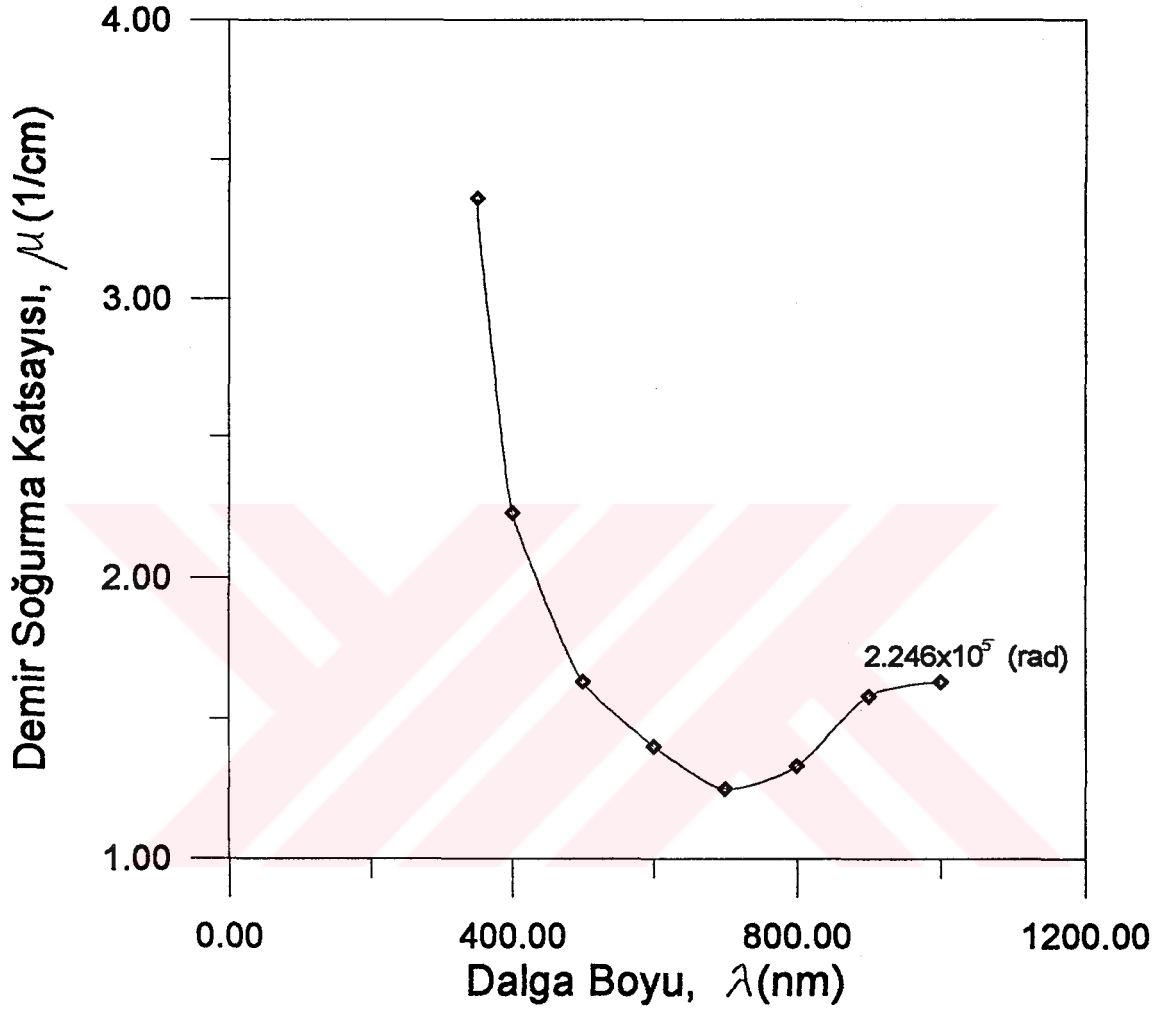
Sekil: 5.47. 3 mm Kalınlığındaki Doz Almamış Camın,
Demir Soğurma Grafiği



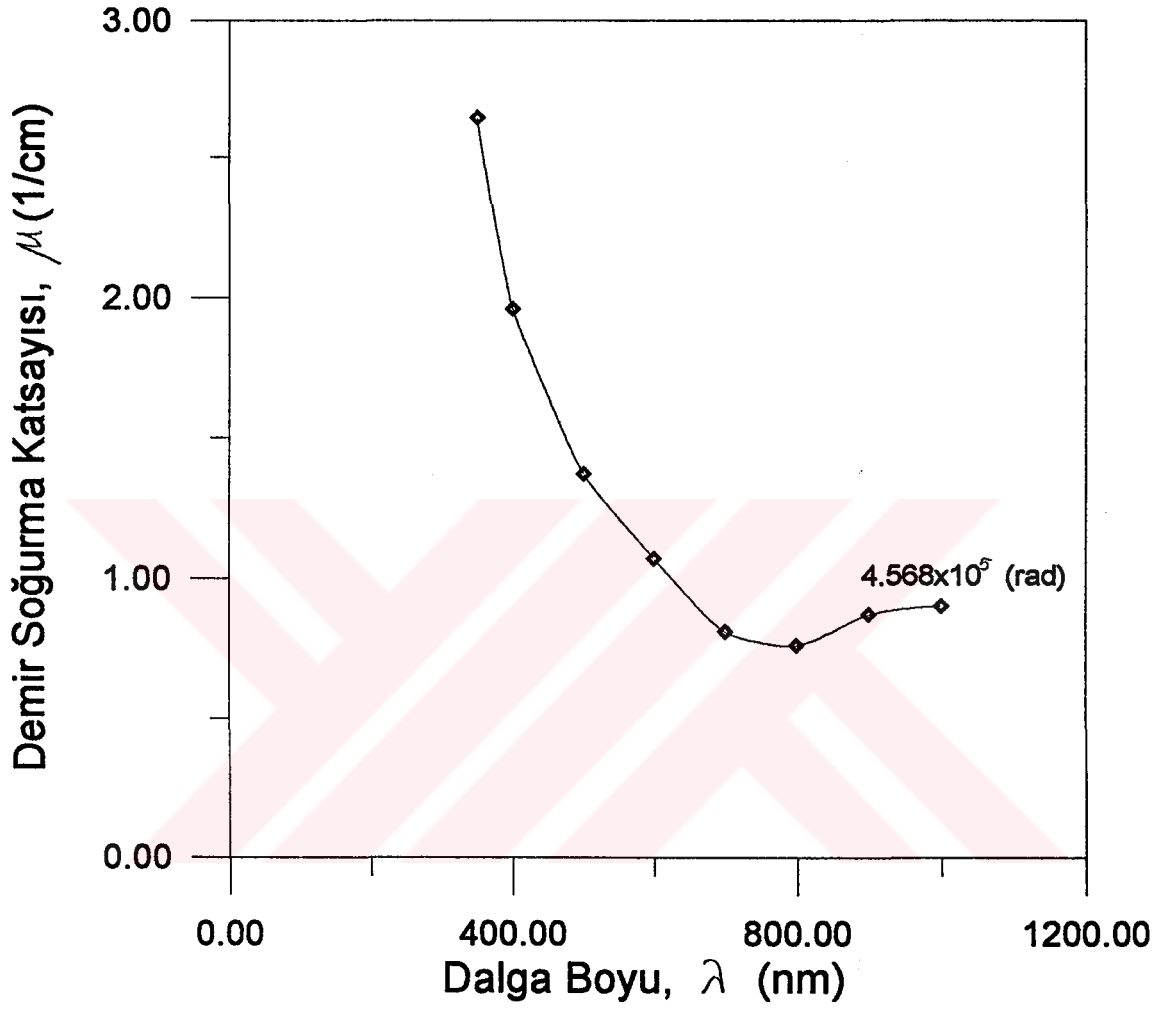
Sekil: 5.48: 3 mm Kalınlığındaki, 0.998×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



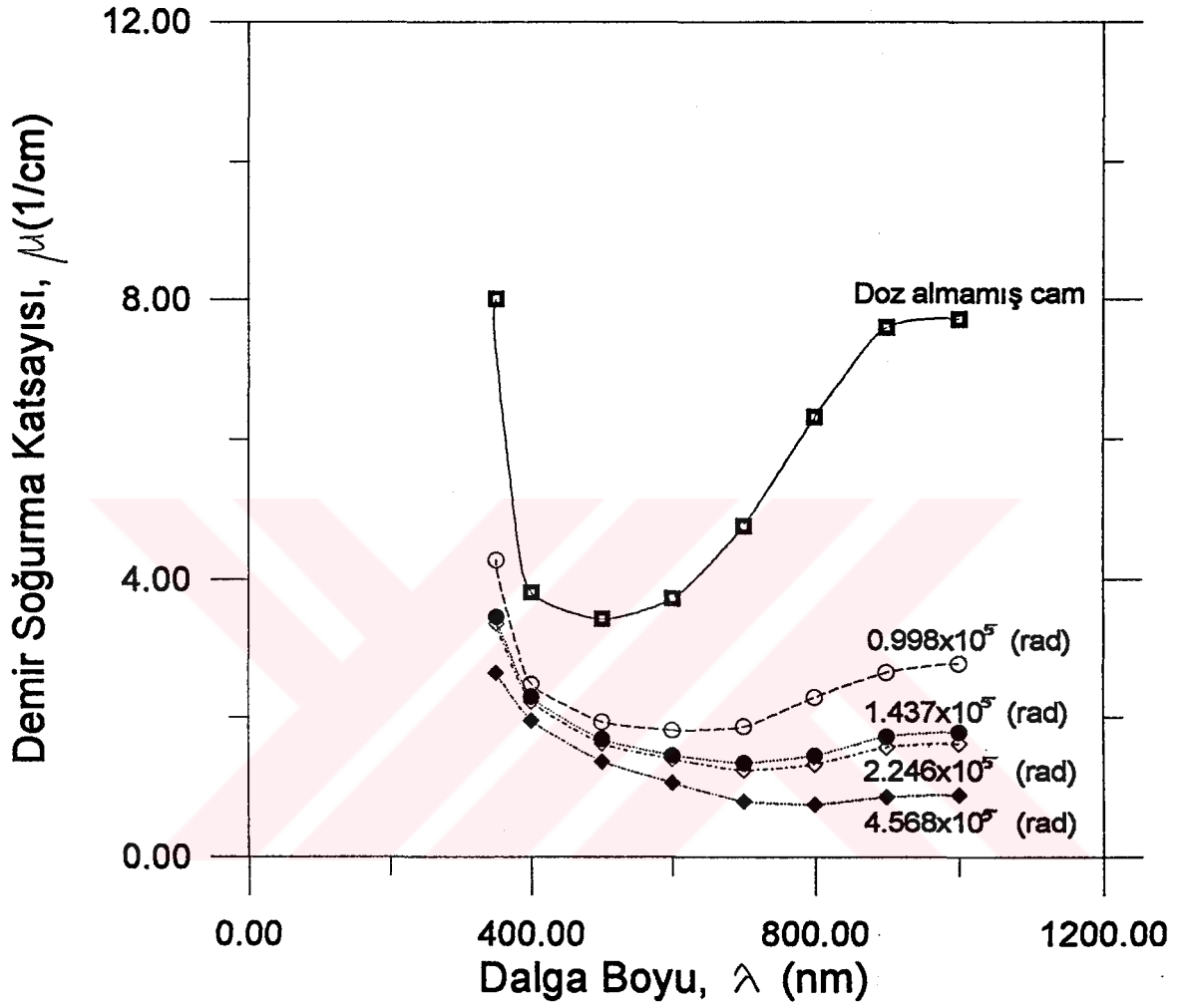
Şekil: 5.49: 3 mm Kalınlığındaki, 1.437×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



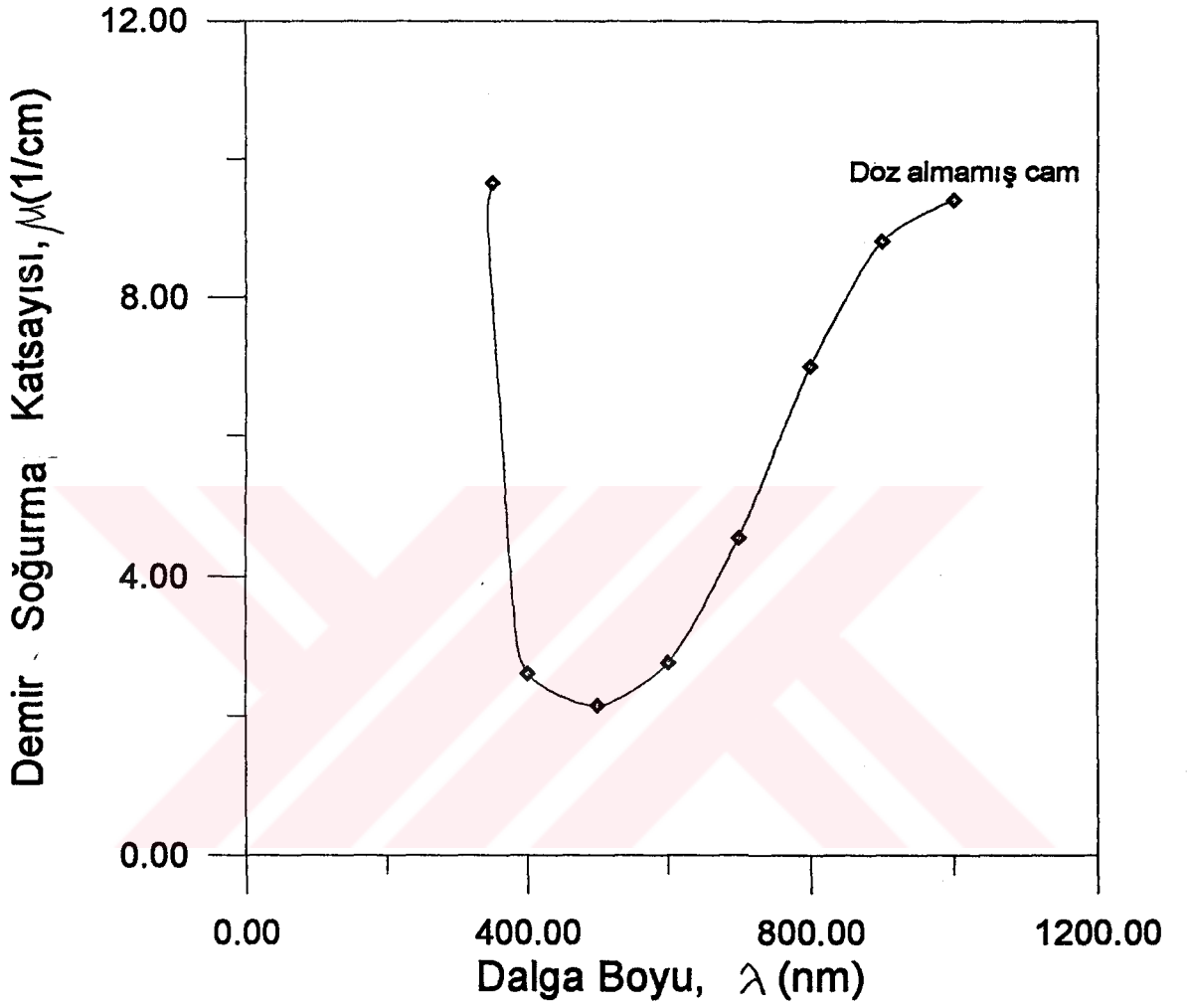
Sekil: 5.50: 3 mm Kalınlığındaki, 2.246×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



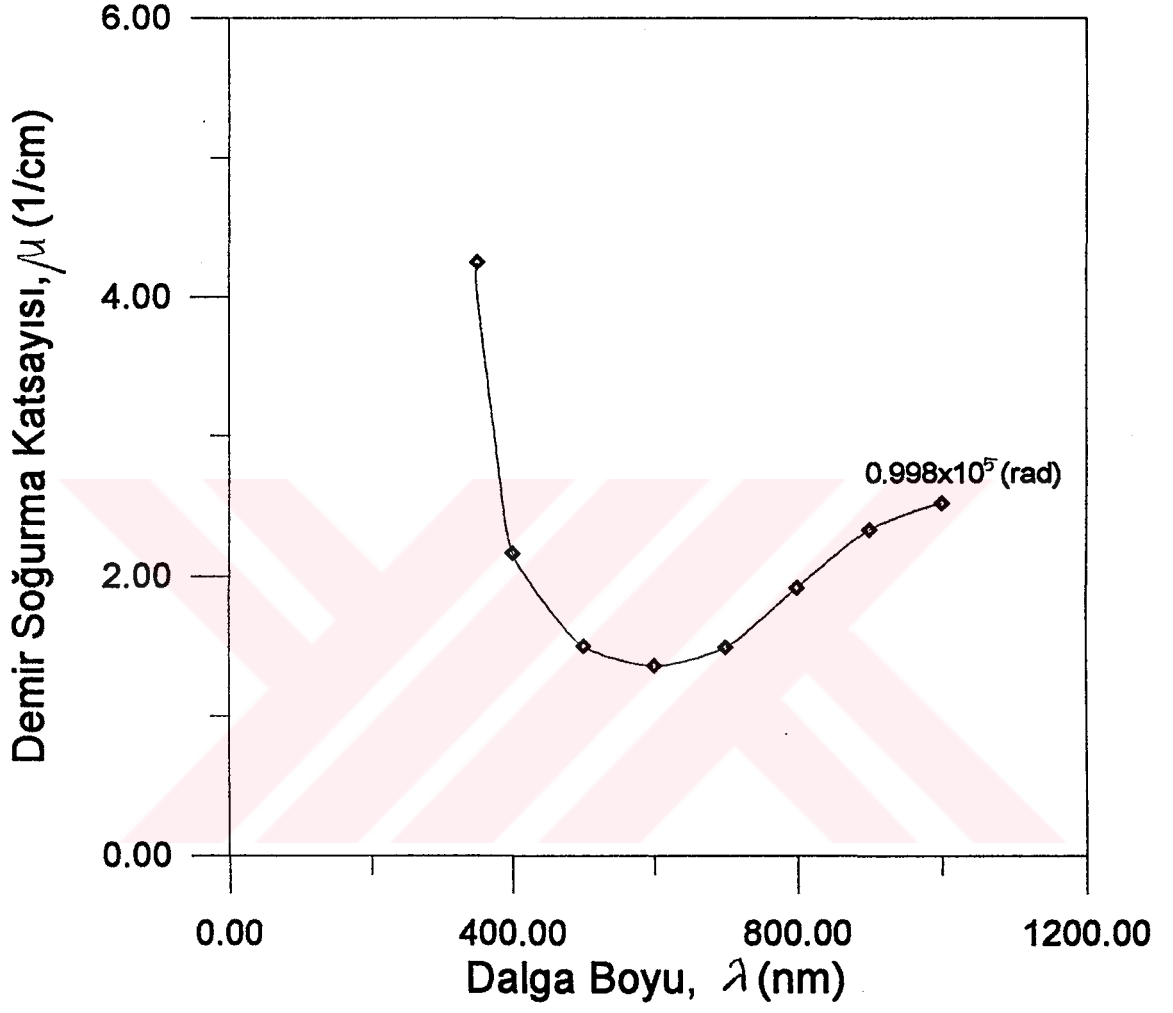
Sekil: 5.51: 3 mm Kalınlığındaki, 4.568×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



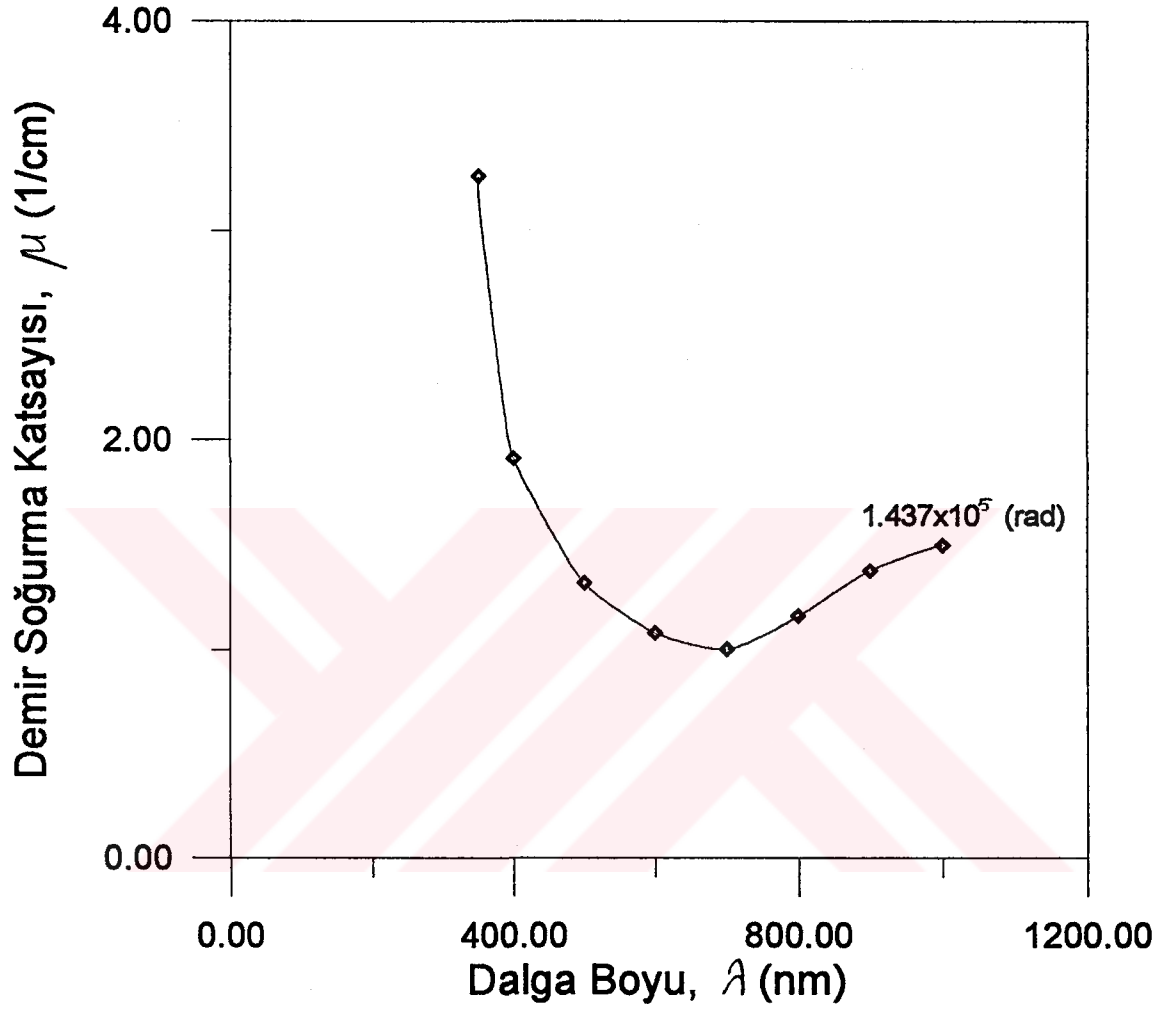
Sekil: 5.52. 3 mm Kalınlığında Doz Almış ve Almamış Camların Soğurma Grafikleri



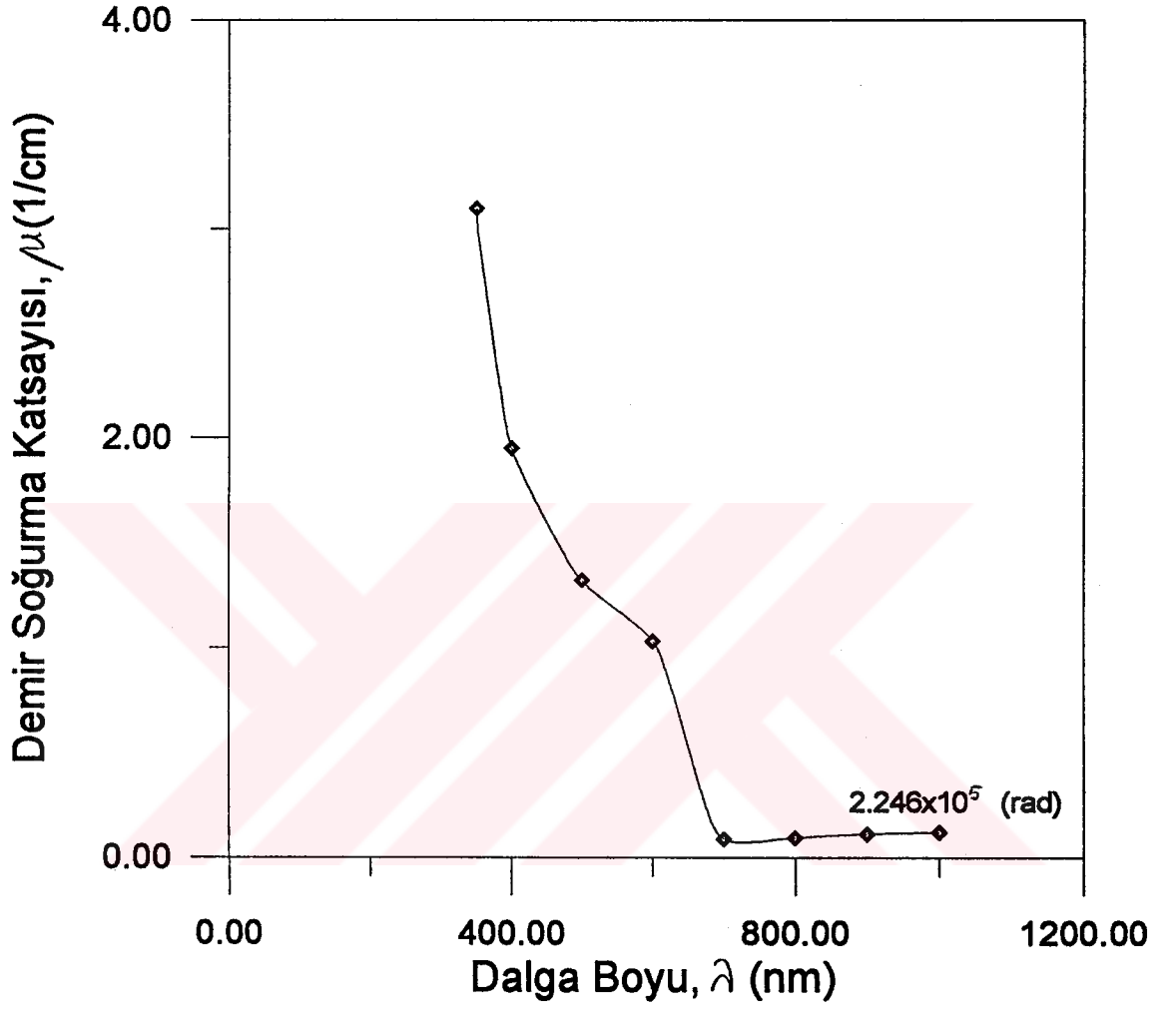
Sekil: 5.53. 10 mm Kalınlığındaki Doz Almamış Camın, Demir Soğurma Grafiği



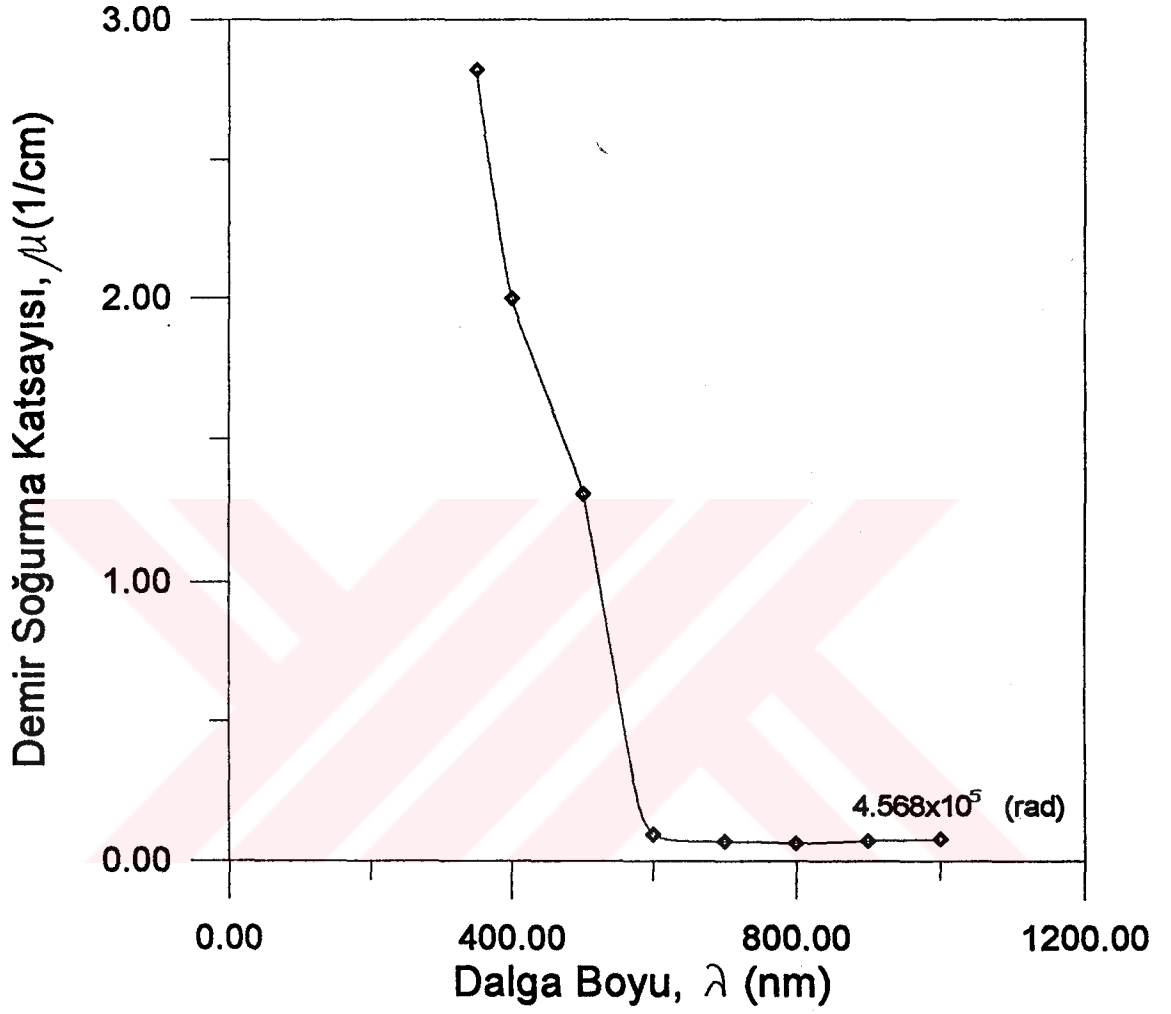
Şekil: 5.54: 10 mm Kalınlığındaki, 0.998×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



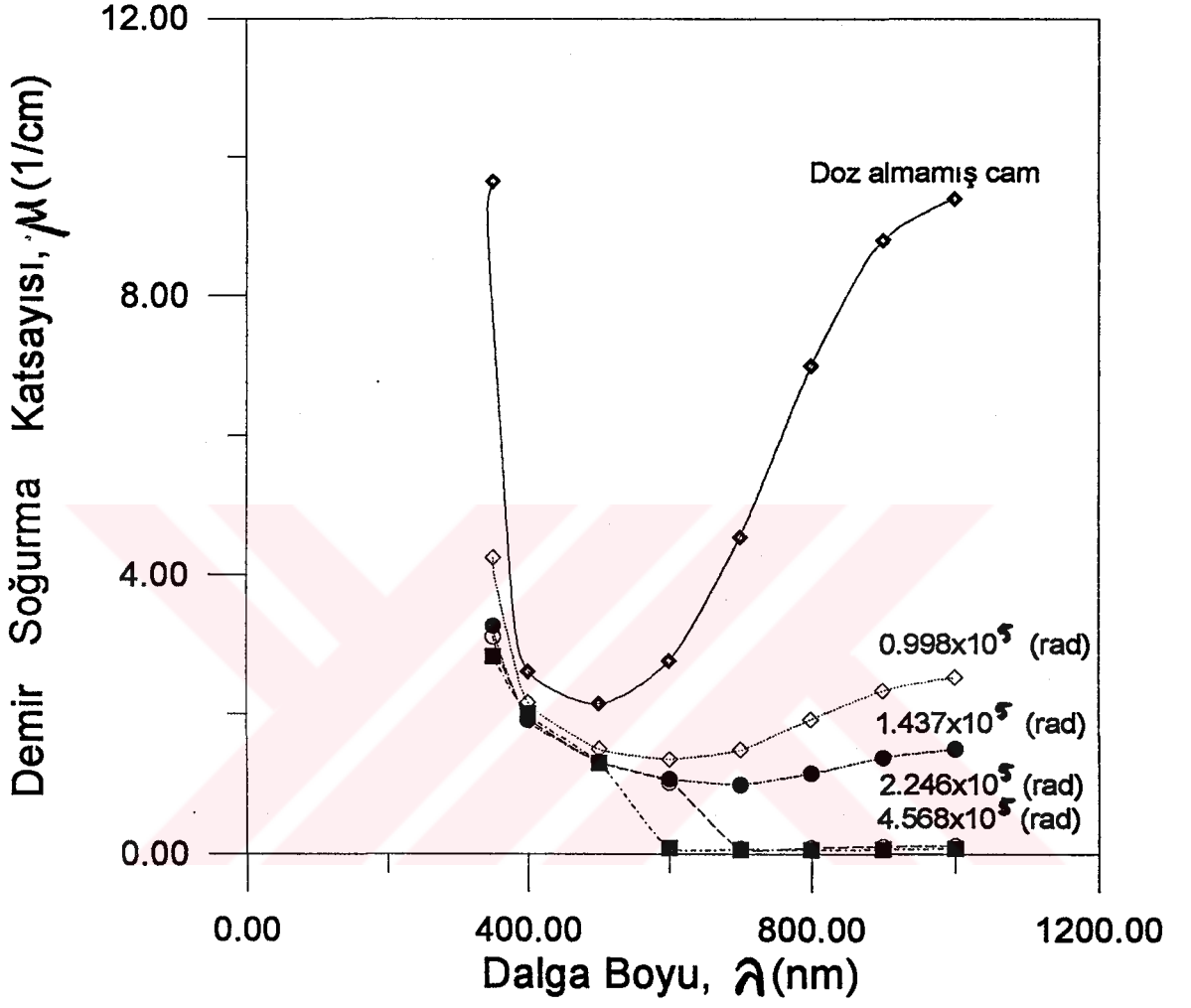
Sekil: 5.58: 10 mm Kalınlığındaki, 1.437×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



Sekil: 5.56: 10 mm Kalınlığındaki, 2.246×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



Şekil: 5.57: 10 mm Kalınlığındaki, 4.568×10^5 rad Doz Almış Camın Demir Soğurma Grafiği



Şekil: 5.58. 10 mm Kalınlığında Doz Almış ve Almamış Camların Soğurma Grafikleri

BÖLÜM: 6

SONUC VE YORUM

Yaygın kullanımı olan sodalı camlar, Türkiye'deki en önemli cam imalatçısı olan Türkiye Şişe Cam Fabrikaları'ndan iki farklı kalınlıkta birbirinin aynı olarak temin edilerek, elektromanyetik radyasyon karşısındaki davranışları, büyüksek Lisans Tezi konusu olarak seçilmiş ve çok sayıda bir dizi deney yapılmıştır. Bir başka deyişle, elektromanyetik radyasyon ailesi içinde yer alan kızıl ötesi (infrared), görünür ışık, morötesi (ultraviyoleet "UV"), X-ışınları ve gama ışınları karşısında söz konusu sodalı camların geçirgenlikleri incelenmiştir.

Geçirgenlik deneylerimiz sonucunda sodalı camların solar ışık içinde UV geçirgenliklerinin olduğu görülmüştür. Öte yandan, görünür ışık geçirgenliğinin de "iyi" olduğu belirlenmiştir. Nitekim, sodalı camlar pencere camı olarak kullanılmaktadır.

Gama ışını geçirgenliğinin, bu ışının enerjisine bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Fazla olarak, gama enerjisinin düşük olmaması halinde geçirgenlik, kalınlığa göre azalmaktadır. Bu ise beklentimiz doğrultusundadır. Zira, gama enerjisi yükseldikçe sodalı camların gama ışınlarını engellemesinin kalınlığa bağlı olarak değişimi azalmaktadır.

Sodali camların X-ışınlarını yutma oranı değerleri, özellikle incelenmiştir ve sodali camların X-ışını absorbantlığının yüksek olduğu görülmüştür. Nitekim, bu camların kimi kez filtre camı olarak ana master cam olarak kullanıldığı bilinmektedir.

UV kaynaklarıyla yapılan deneylerinde geçirgenliğin solar ışık içindeki UV geçirgenliği paralelinde sonuçlar alınmıştır. Sodali cam kalınlığının ise geçirgenliğe farklılık getirdiği gözlenmiştir.

Bunlardan ayrı olarak, yüksek dozda gama ısınlama dozuna maruz kalan camların kahverengi tonlarında renk değiştirdiği kesin olarak gözlenmiş ve etkin doz seviyeleri tesbit edilmiştir. Gözlenen renk değişiminin yaklaşık 100 KRad'dan itibaren önem arzettiği tesbit edilmiştir. Kahverengi tonlamasının koyulaşmaya doğru değişimi, doz artımı ile olmaktadır. Bu da deneylerimizde net şekilde gözlenmiştir.

Kahverengi tonlanmanın, sodali camlardaki Fe^{+2} ,nin Fe^{+3} ,e yükseltgenmesi sonucu meydana gelip gelmediği sınıanmış ve çizilen grafiklerde (Şekil: 5.52 ve Şekil: 5.58) Fe^{+2} tepesinin doza bağlı olarak kaybolduğu görülmüştür. Böylelikle, renklenme mekanizması deneysel olarak belirlenmiştir.

Yüksek gama dozu altında kahverengi tonlaması gösteren camların solar ışığı yutma oranı, geçirgenliği ve yansıtıcılıkları incelendiğinde, yansıtıcılığın diğer faktörlere göre düşük olduğu, geçirgenliğin doz almışlıkla azaldığı buna karşın yutma oranının arttığı gözlenmiştir. Bu husus, beklentimiz doğrultusunda olup, koyu renklenmenin absorbantlığı "hayli" arttırdığı ve doz alımı arttıkça yutma oranının arttığı belirlenmiştir.

Sodali camların X-ışınını yutma oranınının doz almışlarda, almamışlara göre artış olduğu gözlenmiştir. Ancak, buna karşın farklı doz almışların birbirine göre önemli fark göstermediği tesbit edilmiştir. Bir başka deyişle, doz almayla, sodalı camlardaki demir yükseltgenmesinin önemli olduğu, ancak çalışılan dozlardaki yükseltgenme farklılığının X-ışını yutma oranı için o kadar da önemli olmadığı kanaati edinilmiştir.

UV geçirgenliği açısından renklenmenin geçirgenliği azalttığı görülmüştür. Ayrıca, sodalı camların kalınlık farklılığının önem arzettiği gözlenmiştir. Bu husus da beklentimiz doğrultusundadır.

Sonuç olarak; çok farklı amaçlarla günlük hayatımızda kullanılan soda camlarının farklı elektromanyetik radyasyon ailesi ışınlarına karşı, farklı davranışlar gösterdiği ve yüksek gama dozu altında kimyasal yapısında etkilenme meydana gelebildiği tesbit edilmiş ve bu etkilenmenin değerlendirilmesi matematiksel ve mukayeseli olarak belirlenebilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, B., (1984), Optik Ders Notları II. Kısım Dalga Optiği, İstanbul
- Arbuzov, V., I. Tolstoi, M., N., (1990), Journal Of Non-Crystalline Solids 123 (1990) 258-265, Photochemical Properties Of Activated Glass
- Alper, A., (1970), Phase Diagrams, Materials Science And Thecknology, Volum 1, Newyork-London
- Amerikan Makine Mühendisleri Dernegi (ASME), (1963), Nükleer İlim ve Teknoloji Terimleri Sözlüğü, İstanbul
- Atik, S. (1988), İc Kalıp Tekniği İle Yapılmış Anadolu Kaynaklı Cam Kaplar, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s: 16-29, İstanbul
- Bamford, C.R., (1977), Colour Generation And Control In Glass, Glass Science and Technology, 2
- Beiser, A., (1988-1989), Çağdas Fizigin Kavramları, 2.Baskı,
- Bilge, A.N., (1991), Endüstride Nükleer Teknikler, İTÜ Rektörlüğü, İTÜ Yayın No: 1445, İstanbul
- Bilge, A.N., Tugrul, B., (1990), Endüstriyel Radyografinin Esasları, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Genel Yayın No: 20, İstanbul
- Bener, P., (1972), Final Technical Report, Approximate Values Of Intensity Of Natural UV Radiation For Different Amounts Of Atmospheric Ozone
- C.E.N. (Comite Europeen De Normalisation / European Committee For Standardization), (1992), CEN/TC 129/W69/N.4E Rew.7 Glass in Building-Determination of Light Transmittance, Solar Direct Transmittance and Ultraviolet Transmittance, And Related Glazing Characteristics
- Commission of the European Communities, (1983), Industrial Processes Building and Civil Engineering, Flat Glass for Building, Brussels, Belgium

- Dogan, N., Tuğrul, B., (1995), Enerjetik Elektromagnetik Radyasyonun Soda Camlarındaki Etkisinin İncelenmesi, 15. Ulusal Fizik Kongresi, Kaş-Antalya
- Fouche, M., (1949), Fizik Optik Interferans ve Difraksiyon, İstanbul
- Erk, S., (1994), Fizik Ders Notları, Cilt II, Sıcaklık ve Isı İstanbul
- Eyice, S., (1988), Bizans'ta ve Osmanlı Devri Türk Sanatında Aydınlatmada Cam, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s: 51-57, İstanbul
- Gutzow, I., Avramov, I., Kastner, K., (1990), Journal Of Non-Kristaline Solids 123 (1990) 97-113, Glass Formation And Crystallization
- Görsel (1982), Genel Kültür Ansiklopedisi, İstanbul
- Halliday, D., Resnick, R., (1986), Fundamentals of Physics, Second Edition
- Hardy, A., (1966), Handbook of Colorimetry, Prepared By The Staff of The Color Measurement Laboratory Massachusetts Institute of Technology
- Hilger, A., (1973), Colour 73, International Colour Association, London
- Holland, L., (1964), The Properties Of Glass Surfaces, Newyork
- Kaplan, I., (1965), Nükleer Fizik, İ.T.U. Kütüphanesi, Sayı;630
- Keller, F., Gettsys, W., Skove, M., (1996), Fizik, 2. Cilt Birinci Basım
- Kittel, C., (1956), Introduction to Solid State Physics, Second Edition
- Lightfoot, C., (1988), Some Types of Roman Cut-Glass Vessels Found in Turkey, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s: 7-15, İstanbul

- Marchi, G., Mazzoldi, P., Miotello, A., (1990), Journal Of Non-Cristalline Solids 123 (1990) 321-323, Ionic Conductivity In Glass NetWork
- McMaster, R.C., (1963), Nondestructive Testing Handbook, Vol: 1, The Ronald Press Company, New York.
- Meydan Lorousse (1993), Genel KÜltür Ansiklopedisi, İstanbul
- Nassau, K., (1983), The Physics And Chemistry Of Color, The Fifteen Causes Of Color, Newyork
- Özalpan, A. (1980), Radyobiyooloji, İstanbul
- Özdoğan, B., (1973), Kimyada Fiziksel Metodlar (Optik Kısım), İstanbul
- Özemre, A., (1983), Çağdas Fizige Giriş Ders Kitabı, İstanbul
- Rawson, H., (1967), Inorganic Glass-Forming Systems, London And Newyork
- Rawson, H., (1980), Properties and Applications of Glass, Glass Science and Tecology 3, Elsevier Scientific Publishing Company
- Richards-Sears-Wehr-Zenansky, (1982), Modern Universite Fizigi, Cilt 3, Optik ve Modern Fizik
- Rothenberg, G., B., (1976), Glass Thechnology Recent Developments, London
- Stanek, J., (1977), Electric Melting of Glass, Glass Science And Technology 1, Elsevier Scientific Publishing Company
- Suppan, P., (1994), Chemistery And Light, Royal Society of Chemistary
- SiseCam, (1992), Temel Cam Bilimi, İstanbul
- T.S.E. (Türk Standartları Enstitüsü), (1993), UDK 628.925.021: 698.3, Camlar-Isık Geçirgenliği, Direkt Güneş Işını Geçirgenliği, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Ultraviyole Işını Geçirgenliği ve Bunlarla İlişkili Cam Faktörlerinin Tayini

- Tugrul, B., Atik, S. (1988), Bazı Antik Anadolu Opak Cam Eserlerinin X-Işını Radyografi Teknigi İle Değerlendirilmesi, I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s: 37-39, İstanbul
- Tugrul, B., Atik, S. (1989), Evaluation of Ancient Opaque Glasses By X-Ray Radiography, Proc. of Science and Archaeology Conference, s: 145-152, Glasgow
- Tugrul, B. (1992), İleri Nükleer Teknikler Ders Notları, İstanbul
- Ulusoy, E., Başer, İ., (1985), SistematiK Analitik Kimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları
- Yaramış, B., (1985), Nükleer Fizik, Cilt 1, İ.T.U. Fen-Edebiyat Fakültesi
- Yegin, M., (1985), Genel Nükleer Tıp, Erzurum

ÖZGEÇMİŞ

1969'da İstanbul' da doğdu. Lise eğitimini İstanbul Şehremini Lisesi' nde tamamladı. 1992'de İ.U. Fen Fakültesi Fizik Bölümünü bitirdi ve aynı yıl, İ.T.U. Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1993 yılında ise Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Anabilim Dalı' nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen de bu görevini sürdürmektedir.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasına ilişkin olarak, bir ulusal bildiri 1995 yılında yayınlanmıştır. Ayrıca, bu konu uzantısında bir ulusal ve uluslararası bildiri kabul edilmiş olup, 1996 yılında yayın olacaktır.

Nilgün DOĞAN

Mayıs 1996