



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Saydam-İlet- Sıoz Filmi Optik Par. Spek. Gey. Eğr. Bel. Yön.

Yüksek Lisans Tezi

NERİN SERİN

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

1500012

1192

SAYDAM-İLETKEN SnO_2 FİMLERİN OPTİK PARAMETRELERİNİ
SPEKTROFOTOMETRİK GEÇİRGENLİK EĞRİLERİNDEN
BELİRLEME YÖNTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERİH SERİN

İSTANBUL 1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

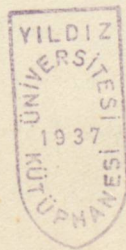
Kot R 210
:.....47.....
Alındığı Yer :.....Fen Bilimleri Enst.....
:.....
Tarih :.....20.03.1992.....
Fatura :.....
Fiyatı :.....15.000.-TL.....
Ayniyat No :.....1/1.....
Kayıt No :.....48237.....
UDC :.....530.....
Ek :.....



SAYDAM-İLETKEN SnO_2 FİLMLERİN OPTİK PARAMETRELERİNİ
SPEKTROFOTOMETRİK GEÇİRGENLİK EĞRİLERİNDEN
BELİRLEME YÖNTEMİ

67

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERİH SERİN



İSTANBUL 1989

TEŞEKKÜR

Y.Ü.Fen Fakültesinde bana bu çalışmayı yapma olanağını tanıyan, destek ve yardımlarını esirgemeyen, ayrıca kendi deneysel çalışmaları sonucu elde ettiği SnO_2 filmlerin geçirgenlik değerlerini sağlayarak da çalışmama katkıda bulunan hocam sayın Yard.Doç.Dr.Süha AKÇİZ ' e ; çalışmalarım sırasında beni yönlendiren hocam sayın Doç.Dr.Bülent AKSOY 'a ; çalışmamı kendi kurumumda yapma imkanı veren hocam sayın Prof.Dr.Şevket ERK 'e ; tüm yardımlarından dolayı arkadaşım Araş.Gör.Kemal TOKMANOĞLU na ; çalışmam süresince bana destek ve moral gücü veren aileme içten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET

1 . GİRİŞ	1
OPTİK SABİTLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN METOTLARIN ÖZETİ VE ÖNERİLEN YÖNTEMİN ÖZELLİKLERİ	1
2 . GENEL BİLGİLER	14
2.1 YÖNTEM	14
2.1.1 KALIN FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASININ YÜZEYLERİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASINA BAĞLI İFADELERİ	15
2.1.2 HAVA-TAŞIYICI SINIR YÜZEYİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	18
2.1.3 İNCE FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI	19
2.1.4 İNCE FİLM-TAŞIYICI SİSTEMİNİN GEÇİRGENLİĞİ	24
2.2 İNCE FİLMİN OPTİK PARAMETRELERİNİN BELİR- LENMESİ	25
2.2.1 İNCE FİLMİN KIRILMA İNDİSİ n 'NİN BULUNMASI	27
2.2.2 İNCE FİLMİN SÖNDÜRME İNDİSİ k 'NİN BULUNMASI	28
2.2.3 İNCE FİLMİN KALINLIĞI d 'NİN BELİRLENMESİ	30
3 . UYGULAMA	33
3.1.1 ÖNCEDEN BELİRLENEN OPTİK PARAMETRELERDEN ELDE EDİLEN TEORİK GEÇİRGENLİK EĞRİSİ	33
3.1.2 YÖNTEMİN GEÇİRGENLİK EĞRİSİNE UYGULANMASI	35

3.2	YÖNTEMİN DENEL GEÇİRGENLİK EĞRİLERİNE UYGU-	
	LANMASI	40
3.2.1	% 0.4 Sb KATKILI SnO ₂ FİLMİNİN OPTİK PARA-	
	METRELERİ	40
3.2.2	SAF SnO ₂ FİLMİNİN OPTİK PARAMETRELERİ	47
4	TARTIŞMA VE SONUÇ	54
	KAYNAKLAR	56
	ÖZGEÇMİŞ	60

ÖZET

Bu çalışmada, saydam taşıyıcılar üzerine kaplanmış saydam ve zayıf absorplayıcı metal-oksit filmlerin kalınlığı ve optik sabitlerinin (kırma ve söndürme indisi) belirlenmesinde kullanılabilecek bir hesaplama yöntemi geliştirilmektedir.

Yöntem ince filmlerin geçirgenlik eğrilerinden yararlanarak kalınlık ve optik sabitlerinin bulunmasını sağlamaktadır.

Bu yöntemde optik parametreleri önceden belirlenerek elde edilen ve girişim ekstremumları gösteren teorik geçirgenlik eğrilerinden yararlanılmaktadır. Optik sabitler geçirgenlik eğrilerinin zarflarından hesaplanıp, geçirgenlik eğrisinin zarflara teğet noktalarına ait dalgaboyları ve kırma indisleri değerlerinden de kalınlık belirlenmektedir. Bulunan bu değerlerle teorik değerler karşılaştırılarak yöntemin duyarlılığı incelenmektedir. Böyle bir uygulamayla kalınlık % 0.2 duyarlılıkla elde edilmekte ve optik sabitler de çok iyi yaklaşıklıkla belirlenebilmektedir.

Ayrıca yöntemin, denel olarak elde edilmiş, farklı optik parametrelere sahip ince filmlerin geçirgenlik eğrilerine ait birkaç uygulaması da verilmektedir. Burada yöntem % 0.4 Sb katkılı ve saf SnO_2 filmlere uygulanmakta ve bu filmlerin optik parametreleri hesaplanmaktadır.

SUMMARY

In this study, we developed a method to determine the thickness and the optical constants (refractive index and extinction coefficient) of a weak absorbing metal-oxide thin film on a non-absorbing substrate.

Method makes it possible to find the thickness and the optical constants from the transmittance curves of thin films.

In this method, we have used theoretical transmission curves which their optical parameters are previously determined and showing interference extremums. The optical constants are calculated from the values of the envelopes of the spectrophotometric transmission curves. And the thickness are determined from the wavelengths and the refractive index of the points where the envelopes tangent to the transmission curve. This calculated values are compared with the theoretical values. Then sensibility of the method is investigated. Thickness of the thin film are calculated with sensibility of % 0.2 and optical constants are determined with very good approximation by the application this method.

We also give a few applications of the method to the transmission curves of thin films which all have different optical parameters. Method are applicated to pure and % 0.4 Sb doped films and optical parameters of this thin films are calculated.

1 . GİRİŞ

OPTİK SABİTLERİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN METOTLARIN ÖZETİ VE ÖNERİLEN YÖNTEMİN ÖZELLİKLERİ

Metal-oksit ince filmlerin kullanım alanları günümüz teknolojisinde geniş bir yer tuttuğundan, bunların çeşitli fiziksel özellikleri üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Metal-oksit ince film veya film sistemlerinin elektrik özelliklerine dayanılarak elektronik ve mikroelektronikte kullanılan elemanlar^[1-2], yansıtmayı arttırıcı ve önleyici sistemler^[3-4], yansıtma ve geçirme filtreleri^[5], elektrik-optik özelliklerine dayanılarak voltaj kontrollü optik geçiriciler^[7-8], dekoratif amaçlı kaplamalar^[14], ısı yansıtıcı filmler^[15] yapılabilmektedir.

Optik amaçla kullanılacak malzeme absorblayıcı değilse kırma indisi, absorblayıcı ise kırma ve söndürme indisi, eğer malzeme film halinde ise film kalınlığı bilinmesi gereken optik parametrelerdir.

Optik parametreler çok değişik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Ancak bu hesaplama yöntemleriyle birlikte filmin hazırlanışı ve hangi ölçü tekniklerinin kullanıldığı da verilmelidir. Film hazırlama teknikleri:^[9-16-32]

1- Vakum Teknikleri:

a- Reactive evaporation: Taşıyıcı üzerine kaplanması istenen metal-oksitin doğrudan buharlaştırılması yerine oksidi oluşturulacak metalin oksitleyici bir ortamda

buharlaştırılması tekniğidir.

b- D.C. sputtering: Doğru gerilim altında katodik sıçratma.

c- R.F. sputtering: Yüksek frekanslı gerilim uygulayarak sıçratma.

2- Kimyasal Yöntemler:

a- Kimyasal buhar gönderme yoluyla kaplama tekniği. (CVD-chemical vapour deposition)

b- Püskürtme yoluyla pirohidroliz. (spray pyrohydrolysis)

Filmler üzerindeki presisyon ölçümleri, üzerine film kaplanan taşıyıcının yüzey düzgünlüğünden etkileneceğinden, taşıyıcıların optik işlenmiş, alevde düzlenmiş veya belirli tercihlili yönlenmeye sahip tek kristal olarak seçilmesi gerekmektedir.

Optik sabitlerin ve film kalınlığının belirlenmesinde kullanılacak metotlar:

a- Mekanik metotlar,

b- Elektriksel metotlar,

c- Optik metotlar

olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır.

Mekanik metotlardan ilki ağırlık ölçüm metodudur. Bu yöntemde, yoğunluğu ρ , kütlesi m olan paralel yüzlü bir filminden alınan A alanı mikroterazide tartılır. Kalınlıkta

$$d = \frac{m}{\rho A} \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir.

Eğer film homojen değilse ve de çok ince ise bu yöntem uygulanamaz. 400-500 Å arasındaki kalınlıklardaki filmler için uygun değildir. Ağırlık ölçüm esasına dayanan bu metotla 1-2 atom katmanı kadar bir alanda, 10^{-7} gm. doğrulukla kalınlık ölçümü yapılabilmektedir.

Mekanik metotlardan Moleküler Işın yöntemiyle sadece kalınlık belirlenebilmekte, atom katmanı parçası kadar bir bölgede ölçüm yapılabilmektedir.

Elektriksel metotlar:

a- Langmuir'in İyonizasyon Metodu

Bu metot kalınlığı belirlemeye yararmaktadır. Alkali ve toprak alkali elementlerden oluşan filmlerle ilgili ölçümlerde kullanılmaktadır. Atom katmanı kadar kalınlıkta ölçüm yapılabilmektedir.

b- Elektrolitik Metot

Film kalınlığı belirlemeye yarayan bu metotta sadece elektrolitler kullanılmaktadır. Atom katmanı kadar bir kalınlıkta ölçüm yapılabilmektedir. Bu metodun pek çok şartlarda güvenilir olmadığı belirlenmiştir. Başlıca problemler yapışma ve kararlılık problemleridir.

c- Rezistans Ölçümleri

Bir başka kalınlık ölçüm metodu olan rezistans ölçümleri metodu ince katmanlar için pek güvenilir sonuçlar vermemektedir.

Optik Metotlar:

Bu metotların uygulanabilmesi için aşağıdaki niceliklerin ölçümlerinden yararlanılmaktadır. (10-18-20)

- interferens franjlarındaki kaymalar.
- Yoğun maksimum ve minimumların olduğu dalga boyları.
- Yansıyan ve geçen ışığın şiddeti.
- Yansıyan ışığın polarizasyon durumu.

Çokkatlı interferens metotları olarak bilinen metotlar yüksek oranda doğrulukla film kalınlığını vermektedir. Bu metotlar ikiye ayrılmaktadır:

- 1- Fizeau franjları (Eş kalınlık franjları)
- 2- F.E.C.O. franjları (Eşit kromatik mertebe franjları)

FIZEAU FRANJLARI

Fizeau franjlarını veren düzende interferens franjları aydınlık zemin üzerinde karanlık ve keskin çizgiler olarak gözlenir. Franj aralığı ve franjlardaki kayma bulunur. İyi bir ölçümde franjlardaki kayma $\lambda/1000$ doğrulukla belirlenebilir. Bu düzeneğin film kalınlığını iyi bir şekilde verebilmesi için kullanılan taşıyıcının pürüzlülüğünün çok az olması gerekmektedir. Bu nedenle taşıyıcı olarak alevde düzlenmiş mikroskop lamaları kullanılır. Bu şekilde hazırlanan camlarda pürüzlülük yerine geniş dalgalanmalar vardır ve lamın belirli bir bölgesi ölçüme uygun olabilir.

Birer yüzü gümüşlenmiş iki cam levhayı gümüşlü yüzleri birbirine bakacak şekilde yerleştirirsek, kama açısı küçük olan bir hava kaması elde ederiz. Böyle bir dizge, monokromatik bir ışıkla aydınlatıldığında, gümüşlü yüzeylerdeki yansımalar nedeniyle girişim meydana gelir. Kama kenarından uzaklaşıldığında, her iki yansıtıcı

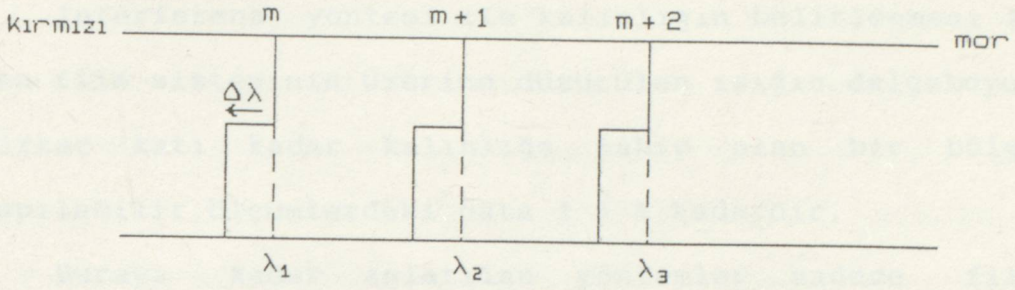
yüzden yansıyan ışınlar arasındaki optik yol farkı kullanılan ışığın λ dalgaboylarının tam katları olduğunda aydınlık franjlar, $\lambda/2$ olduğunda karanlık franjlar elde edilir. Kalınlığı ölçülecek filmlerde önceden oluşturulan set yardımıyla franjlarda bir kayma gözlenecektir. Bir franjdan başka bir franja gittiğimizde optik yol $\lambda/2$ kadar değiştiğinden, d kalınlığına karşın franjlardaki kayma Δd olur. Film kalınlığı da

$$d = \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta d}{\text{Franj aralığı}} \quad (2)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Fizeau franjlarından yararlanılarak yapılan ölçümlerden film kalınlığı $\pm 10 \text{ Å}$ doğrulukla belirlenebilmektedir. Ölçüm alanı 25 Å den birkaç ya kadar olan bölgedir.

F.E.C.O. FRANJLARI

Bu metot '19' için kullanılan düzenek Fizeau franjlarındaki düzenekle aynıdır. Beyaz ışıkla düzenek aydınlatıldığında ve gözlem spektrometre ile yapıldığında spektrumun görünür bölgesinde kırmızıdan mora doğru aydınlık zemin üzerinde siyah franjlar elde edilir. Filmin d kalınlığına karşın m . mertebedeki λ_1 dalgaboyu $\Delta \lambda_1$ kadar kayar ve aşağıdaki şekilde olduğu gibi yivli spektrum elde edilir.



Sekil-1 Yivli spektrum.

m . mertebeye karşın hava kamasının optik yolu ($n=1$)

$$2d = m \lambda_1 \quad (3)$$

ve d kalınlığındaki film nedeniyle aynı mertebedeki kayma

$$2\Delta d = m \Delta \lambda_1 \quad (4)$$

dir.

$$2d = m \lambda_1 = (m+1) \lambda_2 \quad (5)$$

veya

$$m = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

dır. Bu değer (4) denkleminde yerine yazılırsa

$$d = \frac{m}{2} \Delta \lambda_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{\lambda_1}{2} \quad (6)$$

bağıntısı elde edilir. Kullanılan spektrometrenin dalgaboyuna göre ayarlanmış olan tanburu yardımıyla ardarda gelen iki franjin yeri ve franjlardaki kayma miktarı

dalgaboyu cinsinden okunur.

interferens yöntemi ile kalınlığın belirlenmesi 15 Å den film sisteminin üzerine düşürülen ışığın dalgaboyunun birkaç katı kadar kalınlığa sahip olan bir bölgede yapılabilir. Ölçümlerdeki hata $\pm 5 \%$ kadardır.

Buraya kadar anlatılan yöntemler sadece filmin kalınlığını belirlemeye yarayan yöntemlerdir. Kırılma indisi ve film kalınlığını ikisini birden belirlemeye yarayan metotlarda mevcuttur. Abeles-Brewster açısı yöntemi hem filmin kırılma indisinin hem de filmin kalınlığının ölçümünü sağlayan bir metottur. Bu yöntem hassas yansıma değerleri istemekte, kırılma indisi ± 0.002 , film kalınlığı da 1-2 % doğrulukla belirlenebilmektedir. Kalınlık, 100 Å den kullanılan ışığın dalgaboyunun değişik değerlerine kadar olan bir bölge ele alındığında ölçülebilmektedir.

Film kalınlığı yeterince büyükse filmin kırılma indisi ve kalınlığı Fochs 'un Michelson interferometresi metodu ile bulunabilir. Bu metotla kırılma indisi ± 0.003 , filmin kalınlığı da 0.2 % doğrulukla belirlenebilmektedir.

Abbe refraktometresinin kullanıldığı Schulz metodu uniform olmayan filmler için kullanılmaktadır. Film kalınlığı kullanılan ışığın dalga boyunun birkaç katı kalınlıkta ölçülmektedir. Bu metot filmin kırılma indisini, 0.001 doğrulukla bulmaya yarar.

Film kalınlığı ve kırılma indisini belirlemeye

yarayan diğler bir metotta polarimetrik metottur. Metot absorblayıcı materyallerin optik sabitlerinin belirlenmesinde kolaylıkla uygulanabilmekte, normalden farklı gelişlerde ışığın geçirgenliği ve yansıtmasının polarizasyon durumunun gözden geçirilmesini sağlamaktadır. Hesaplamalar oldukça zahmetli olmaktadır. Bu metotla kırılma indisi 0.0005, kalınlık ± 0.2 % doğrulukla bulunabilmektedir.

Film kalınlığı ve kırılma indisini belirleme metotları ile ilgili bir özet aşağıdaki gibi bir tablo halinde verilebilmektedir.



TABLO - 1

Metot	Yapılan Ölçümler	Ölçüm Alanı	Doğruluk Oranı
Ağırlık ölçme	d	1-2 atom katmanı	10^{-7} gm.
Moleküler Işın	d	Atom katmanı parçası	
İyonizasyon	d	"	
Elektroliz	d	"	
Rezistans Ölçümü	d	"	
Fizeau Franjları	d	25 Å den birkaç λ ya	± 10 Å
FECO Franjları	d	15 Å den birkaç λ ya	± 5 Å
Michelson Interferometresi	n , d	1-2 λ dan değişik dalgaboylarına	n : ± 0.003 d : ± 2 %
Polarimetri	n , d	< 100 Å den değişik dalgaboylarına	n : ± 0.0005 d : ± 2 %
Brewster Açısı	n , d	birkaç 100 Å den değişik dalgaboylarına	n : ± 0.002 d : 1-2 %
Abbe Refraktometresi	n	2 μ dan yukarısı	n : ± 0.001

Optik parametrelerin tek tek bulunduğu yöntemlerin yanı sıra tüm optik parametrelerin birlikte elde edildiği yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemler:

1- Geçirgenliğin veya yansıtmanın veya her ikisinin birden ölçüldüğü "şiddet yöntemleri" ⁽²¹⁻²²⁾,

2- Geçen ya da yansıyan ışığın polarizasyon durumunda oluşan değişikliğin ölçüldüğü "elipsometrik yöntemler" dir.

Bir filmin optik parametrelerinin tümünün birlikte ya da interferometrik yöntemlerle bulunmuş olan kalınlığın dışındaki (kırma ve söndürme indisinin) belirlenmesinde kullanılan, geçirgenlik veya yansıtmanın ya da her ikisinin birden ölçüldüğü şiddet yöntemlerinde filmin geçirgenlik ve yansıtması kullanılan ışığın dalga boyunun fonksiyonları olarak ölçülür.

Geçirgenlik ve yansıtma, kullanılan ışığın λ dalga boyunun, φ_0 geliş açısının, üzerine film kaplanmış taşıyıcının s kırma indisinin, dış ortamın n_0 kırma indisinin ve ince filmin n kırma indisi, k söndürme indisi, d kalınlığının fonksiyonudur. Geçirgenlik ve yansıtma bu parametrelerin fonksiyonu olarak

$$T=T(\lambda, s, n_0, n, k, d)$$

$$R=R(\lambda, s, n_0, n, k, d)$$

bağıntılarıyla ifade edilirler.

Kalınlık interferometre ile belirlenmişse, herhangi bir dalga boyuna ait geçirgenlik ve yansıtmadan, bu dalga

boyuna ait n ve k indislerinin belirlenebilmesi için hızlı bilgisayarlar ve uygun bilgisayar programlarına ihtiyaç vardır.

Uygun kalınlık ve film indisi değerleri için geçirgenlik ve yansıtma eğrileri çok sayıda interferens maksimumu ve minimumu vermektedirler. Bu eğrilerin ekstremumlarından yararlanılan yöntemler geliştirilmiştir. Spektrofotometrik geçirgenlik ve yansıtma eğrilerinin ekstremumlarından yararlanılarak geliştirilen yöntemlerden^[23-24] sonra, ince filmin optik parametrelerinin tümünün yalnızca geçirgenlik eğrilerinin analizinden yararlanarak elde edilebileceğini gösteren yöntemler ortaya atılmıştır. Daha gelişmiş bir yöntemde^[13] ise ekstremumlardan geçen eğriler gözönüne alınmaktadır.

Bu çalışmada geliştirdiğimiz yöntemde $T(\lambda)$ geçirgenlik eğrisine çizilen yardımcı eğrilerden yararlanılmaktadır. Bu eğriler $T(\lambda)$ eğrisinin zarf eğrileridir. Eğrinin zarf eğrisine değdiği noktalardan yararlanılarak hesap yapılmaktadır. Ayrıca sistemimiz iki tabakalı dört fazlı bir sistemden (dış ortam-film-taşıyıcı-dış ortam)^[25] oluşmaktadır.

Optik parametreleri bilinmeyen bir filme ait geçirgenlik eğrisinden hareketle bu parametrelerin hesaplanmasına yönelik yöntemimiz:

1- n, k, d optik parametrelerinin hepsinin birden belirlenmesini sağlar:

Mekanik ve elektriksel metotlarla, optik metotlardan

bazıları (Fizeau ve FECO franjları) sadece filmin kalınlığını belirlemeye yaramaktadır. Abbe refraktometresi metodu ile de yalnızca kırma indisi belirlenebilmektedir.

Yöntemimizde ise n , k , d değerlerinin hepsini birden hesaplamak mümkündür. Geçirgenlik eğrisinden n ve k değerleri belirlenmekte ve bu eğriye çizilen zarf eğrisinin eğriye teğet olduğu noktalara ait kırma indisi ve dalga boylarından d kalınlığı hesaplanabilmektedir.

2- Yeterli sayıda interferens ekstremumu gesteren geçirgenlik eğrilerinin analizine dayanır.

Yöntemde geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrilerinin eğriye teğet olduğu noktalardan yararlanılmaktadır. Bu nedenle sağlıklı sonuç alınabilmesi için geçirgenlik eğrisinin yeterli sayıda interferens ekstremumu içermesi gerekmektedir.

3- n ve k indislerini dalga boyuna bağlı değişimleri ile verir.

4- Hesaplamalar zahmetli değildir. Kolaylıkla hesaplanabilecek pratik ve sade bağıntılar mevcuttur.

5- Önyaklaşım gerektirmeden elde edilmiş bağıntılar içerir.

II.Bölümde önerilen yöntemde, ince filme ve ince film-taşıyıcı sistemine ait geçirgenlik ve yansıtma bağıntıları temel alınarak kullanılacak olan diğer bağıntıların elde edilişi gösterilecektir.

III.Bölümde yöntemin uygulamasına geçilecektir. Optik

parametreleri önceden belirlenen filme ait geçirgenlik eğrisi, $T(\lambda)$ elde edilecek ve yöntem bu eğriye uygulanarak başlangıçtaki optik parametreler hesaplanacak ve çok iyi bir yaklaşıklıkla teorik değerlere ulaşıldığı görülecektir. Bu teorik eğriyle yapılan çalışmadan yararlanarak değişik kalınlıkta kaplanmış filmlerle ilgili geçirgenlik değerlerinden hareketle çizilmiş geçirgenlik eğrilerinden bu filmlere ait n kırma indisi, α absorpsiyon katsayısı dolayısıyla k söndürme indisi ve d film kalınlığı belirlenecektir.

2 . GENEL BİLGİLER

2.1 YÖNTEM

Bu bölümde zayıf absorblayıcı ince bir film ile saydam taşıyıcıdan oluşan "ince film-taşıyıcı" sisteminin geçirgenlik bağıntısı elde edilecektir. Önceden belirlediğimiz $n(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$ ve d ifadelerini bu geçirgenlik bağıntısında kullanarak geçirgenliğin dalga boyuna bağlı değişimini veren grafik çizilecektir.

Daha sonra geçirgenlik eğrilerine çizilen zarf eğrilerini geçirgenlik eğrisine teget noktalarından ince filmlerin optik parametrelerinin belirlenmesini sağlayan bağıntılar türetilecektir.

Sözkonusu sistemimiz iki tabakalı bir sistemdir. Sistem bir eşdeğer tabakaya indirgenebilir. Bunun için hava ve taşıyıcı ortamla sınırlandırılmış ince film, eşdeğer tabakanın bir yüzeyi gibi ele alınır. Eşdeğer tabakanın ikinci yüzeyi yine taşıyıcı ortam-hava ara yüzeyidir. Buna göre, eşdeğer tabakanın 1. yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayıları olarak ince filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları, tabakanın 2. yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayıları olarak da taşıyıcı ortam-hava ara yüzeyi için geçerli olan geçirgenlik ve yansıtma katsayıları alınır.

"ince film-taşıyıcı" sisteminin geçirgenlik ve yansıtma bağıntılarının elde edilmesinde şu sıra izlenecektir:

1- Kalın filmin her iki sınır yüzeyine ait

1- Kalın filmin her iki sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayılarına bağlı olarak kalın filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayılarını veren ifadeler çıkarılacaktır.

2- Taşıyıcı ortam-hava sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayılarının, Fresnel katsayılarından yararlanarak indislere bağlı bağıntıları verilecektir.

3- Hava ve taşıyıcı ortamlar sınırlandırılmış filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayılarının indislere, ince filmin kalınlığına bağlı ifadeleri verilecektir.

4- (2) ve (3) de elde edilen bu ifadeler (1) deki bağıntıda kullanılacak ve böylece "ince film-taşıyıcı" sisteminin geçirgenlik ve yansıtmasının indislere bağlı ifadeleri elde edilecektir.

2.1.1 KALIN FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASININ YÜZEYLERİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASINA BAĞLI İFADELERİ.

Kalın bir filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayılarının belirlenmesinde, filme giren ışına ait geçen ve yansıyan parçalarla yaptığımız hesaplamaları kullanırız. Bir geliş yüzeyinde ışınların yüzeye çarpması olayı sonucunda bölünmeler oluşur, böylece meydana gelen çokkatlı yansıma ve çokkatlı geçme elemanları toplanarak geçirgenlik ve yansıtmanın elde edilmesi sağlanır. Tek tabaka hali için toplama kolaylıkla sonuçlandırılır. Sonuçlar Fresnel sabitleri terimlerine bağlı olarak yazılır.

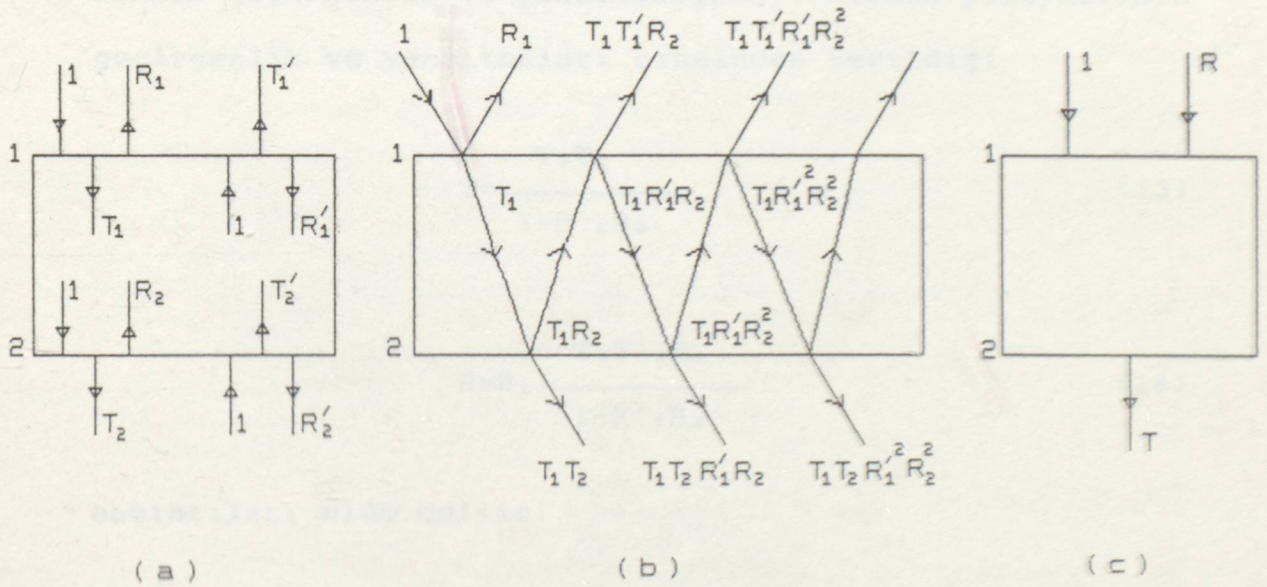
yansıtma katsayıları, yöne bağlı olarak T_1, R_1, T'_1, R'_1 , 2. yüzeyin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları da T_2, R_2, T'_2, R'_2 olarak adlandırılırsa, çokkatlı yansımalarla yararlanılarak, 1. yüzeye düşen birim şiddetteki ışığın 2. yüzeyden çıkan kısmı (Şekil-2 b) ye göre

$$T_1 T_2 + T_1 T_2 R'_1 R_2 + T_1 T_2 R'_1 R_2^2 + \dots \quad (7)$$

birinci yüzeyden dönen kısmı da aynı şekle göre

$$R_1 + T_1 T'_1 R_2 + T_1 T'_1 R'_1 R_2^2 + T_1 T'_1 R'_1 R_2^3 + \dots \quad (8)$$

biçiminde ifade edilebilirler. [27]



Şekil.2 a - Kalın filmin I. ve II. yüzeylerinin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları. b- I. yüzeye birim şiddette gelen ışığın, çokkatlı yansımalar sonucu oluşan bileşenlerinin şiddetleri. c- Kalın filmin geçirgenlik ve yansıtması.

(Şekil 2.c) ye göre kalın filmin geçirgenliğini veren (7) serisi ile yansıtmasını veren (8) serisi düzenlenerek

$$T=T_1T_2[1+R'_1R_2+R'^1_1R_2{}^2+-----] \quad (9)$$

$$R=R_1+T_1T'_1R_2[1+R'_1R_2+R'^1_1R_2{}^2+---] \quad (10)$$

ifadeleri

$$1+(R'_1R_2)+(R'_1R_2)^2+(R'_1R_2)^3+--- \quad (11)$$

geometrik serisinin limiti olan

$$\frac{1}{1-R'_1R_2} \quad (12)$$

nin (9) ve (10) bağıntılarında yerine yazılmasıyla kalın filmin geçirgenlik ve yansıtmasının, filmin yüzeylerinin geçirgenlik ve yansıtmaları cinsinden verildiği

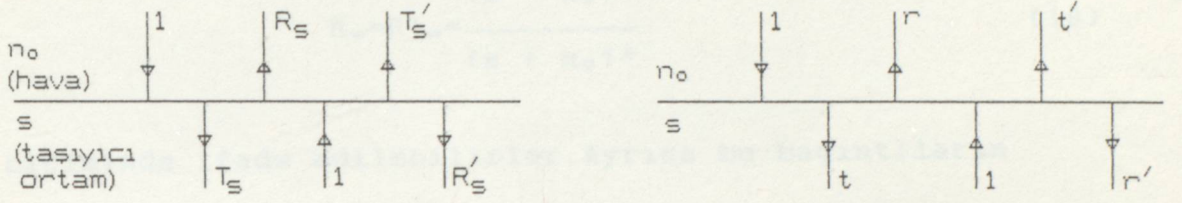
$$T=\frac{T_1T_2}{1-R'_1R_2} \quad (13)$$

$$R=R_1+\frac{T_1T'_1R_2}{1-R'_1R_2} \quad (14)$$

bağıntıları elde edilir.

2.1.2 HAVA-TAŞIYICI SINIR YÜZEYİNİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI.

Hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayıları, Fresnel katsayıları cinsinden (Şekil 3)



Sekil.3 (a)- Hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyinin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları. (b)- Hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyinin Fresnel katsayıları.

$$T_{\perp} = T'_{\perp} = tt'$$

$$R_{\perp} = r^2 \quad (15)$$

$$R'_{\perp} = r'^2$$

bağıntıları ile yazılabilir. Fresnel katsayılarının ortamların indislerine bağlı ifadeleri

$$t = \frac{2n_0}{s + n_0}$$

$$t' = \frac{2s}{n_0 + s} \quad (16)$$

$$r = \frac{s - n_0}{s + n_0}$$

$$r' = \frac{n_0 - s}{n_0 + s} = -r$$

şeklinde verilebilir^[27]. Hava-taşıyıcı ortam ara yüzeyi için, geçirgenlik ve yansıtma, bu ortamların indisleri cinsinden

$$T_{\perp}=T'_{\perp}=\frac{4sn_0}{(s+n_0)^2} \quad (17)$$

$$R_{\perp}=R'_{\perp}=\frac{(s-n_0)^2}{(s+n_0)^2} \quad (18)$$

biçiminde ifade edilebilirler. Ayrıca bu bağıntıların

$$r+t=1 \quad (19)$$

$$r'+t'=1$$

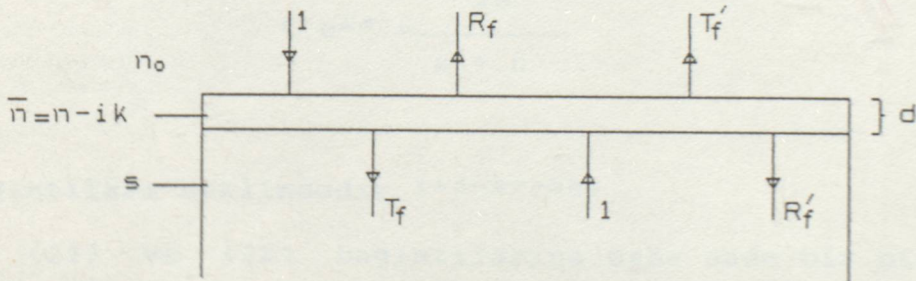
ve

$$T_{\perp}+R_{\perp}=1 \quad (20)$$

bağıntılarını sağladıkları görülür.

2.1.3 İNCE FİLMİN GEÇİRGENLİK VE YANSITMASI

Hava-taşıyıcı ortam ile sınırlanmış, kompleks kırma indisine sahip ince filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları (Şekil-4) birinci ve ikinci sınır yüzeyine



Şekil.4 Hava (n_0) ve taşıyıcı ortam (s) ile sınırlanmış kompleks kırma indisi $\bar{n} = n - ik$, kalınlığı d olan ince filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları.

ait kompleks Fresnel katsayılarının modül ve argümanları cinsinden

$$T = \frac{s}{n_0} \frac{t' t''}{1 + r' r'' e^{-2\alpha d} + 2r' r'' e^{-\alpha d} \cos[\varphi - \delta' - \delta'']} \quad (21)$$

$$R = \frac{r'^2 + r''^2 e^{-2\alpha d} + 2r' r'' e^{-\alpha d} \cos[\varphi + \delta' - \delta'']}{1 + r' r'' e^{-2\alpha d} + 2r' r'' e^{-\alpha d} \cos[\varphi - \delta' - \delta'']} \quad (22)$$

olarak verilmektedir. Kompleks Fresnel katsayılarının ortamların indisleri cinsinden ifadeleri de

$$\begin{aligned} r' e^{i\delta'} &= \frac{\bar{n} - n_0}{\bar{n} + n_0} \\ r'' e^{i\delta''} &= \frac{s - \bar{n}}{n_0 + \bar{n}} \\ t' e^{i\delta'} &= \frac{2n_0}{\bar{n} + n_0} \\ t'' e^{i\delta''} &= \frac{2\bar{n}}{s + \bar{n}} \end{aligned} \quad (23)$$

bağıntıları şeklindedir. [10-27-28]

(21) ve (22) bağıntılarına daha sade bir biçim kazandırmak amacıyla

$$\alpha = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (24)$$

$$\varphi = \frac{4\pi nd}{\lambda}$$

kısaltmaları kullanılmıştır.

$$A_+ = \frac{n_o}{s} \frac{1}{t'^2 t''^2}$$

$$A_- = \frac{n_o}{s} \frac{r'^2 r''^2}{t'^2 t''^2}$$

$$B_+ = \frac{n_o}{s} \frac{r'^2}{t'^2 t''^2}$$

(25)

$$B_- = \frac{n_o}{s} \frac{r''^2}{t'^2 t''^2}$$

$$C = 2 \frac{n_o}{s} \frac{r' r''}{t'^2 t''^2}$$

$$\delta_+ = \delta'' + \delta'$$

$$\delta_- = \delta'' - \delta'$$

ve

$$C_1 = -C \cos \delta_+$$

$$C_2 = C \sin \delta_+$$

(26)

$$D_1 = -C \cos \delta_-$$

$$D_2 = C \sin \delta_-$$

tanımları yapılabilir. Bu tanımlar hava ve taşıyıcı orta-

mın indisleriyle, ince filmin kompleks kırma indisinin gerçel ve sanal bileşenlerine bağlı olarak elde edilebilirler. (28)

$$A_+ = \frac{[(n+n_0)^2+k^2][(n+s)^2+k^2]}{16sn_0(n^2+k^2)}$$

$$A_- = \frac{[(n-n_0)^2+k^2][(n-s)^2+k^2]}{16sn_0(n^2+k^2)}$$

$$B_+ = \frac{[(n+s)^2+k^2][(n-n_0)^2+k^2]}{16sn_0(n^2+k^2)}$$

$$B_- = \frac{[(n-s)^2+k^2][(n+n_0)^2+k^2]}{16sn_0(n^2+k^2)}$$

(27)

$$C_1 = \frac{[n^2-n_0^2+k^2][n^2-s^2+k^2]-4sn_0k^2}{8sn_0(n^2+k^2)}$$

$$C_2 = k \frac{s[n^2-n_0^2+k^2]+n_0[n^2-s^2+k^2]}{4sn_0(n^2+k^2)}$$

$$D_1 = \frac{[n^2-n_0^2+k^2][n^2-s^2+k^2]+4sn_0k^2}{8sn_0(n^2+k^2)}$$

$$D_2 = k \frac{s[n^2-n_0^2+k^2]-n_0[n^2-s^2+k^2]}{4sn_0(n^2+k^2)}$$

Böylece (21) ve (22) bağıntıları bu katsayılar yardımıyla aşağıdaki gibi verilebilirler.

$$T_x = \frac{1}{A_+ e^{\alpha d} + A_- e^{-\alpha d} - C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi}$$

$$R_x = \frac{B_+ e^{\alpha d} + B_- e^{-\alpha d} - D_1 \cos \varphi + D_2 \sin \varphi}{A_+ e^{\alpha d} + A_- e^{-\alpha d} - C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi} \quad (28)$$

Işığın taşıyıcı ortamdan gelişine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayıları olan (Şekil-4) T'_x ve R'_x bağıntılarının elde edilebilmesi için, T_x ve R_x ifadelerinde

$$s \longrightarrow n_0$$

$$n_0 \longrightarrow s \quad (29)$$

dönüşümünü yapmak yeterli olacaktır. Böylece

$$T'_x = \frac{1}{A_+ e^{\alpha d} + A_- e^{-\alpha d} - C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi} = T_x$$

$$R'_x = \frac{B_- e^{\alpha d} + B_+ e^{-\alpha d} - D_1 \cos \varphi - D_2 \sin \varphi}{A_+ e^{\alpha d} + A_- e^{-\alpha d} - C_1 \cos \varphi + C_2 \sin \varphi} \neq R_x$$

bağıntıları elde edilebilmektedir.

Buradan görüldüğü gibi geçirgenlik ışığın her iki yönü için aynı kalırken, yansıtma değişim göstermektedir.

(27) bağıntısıyla verdiğimiz tanımları (30) ifadesinde yerine yazdığımızda ve

$$x = \exp(-\alpha d) \quad (31)$$

dönüşümünü yaptığımızda filmin geçirgenliğini veren ifade

daha düzenli olarak

$$T_x = \frac{A''x}{B'' - C''x + D''x^2} \quad (32)$$

haline dönüşecektir. ⁽¹²⁾ Burada ($n_0=1$ alındığında)

$$A'' = 16s(n^2 + k^2)$$

$$B'' = [(n+1)^2 + k^2][(n+s)^2 + k^2]$$

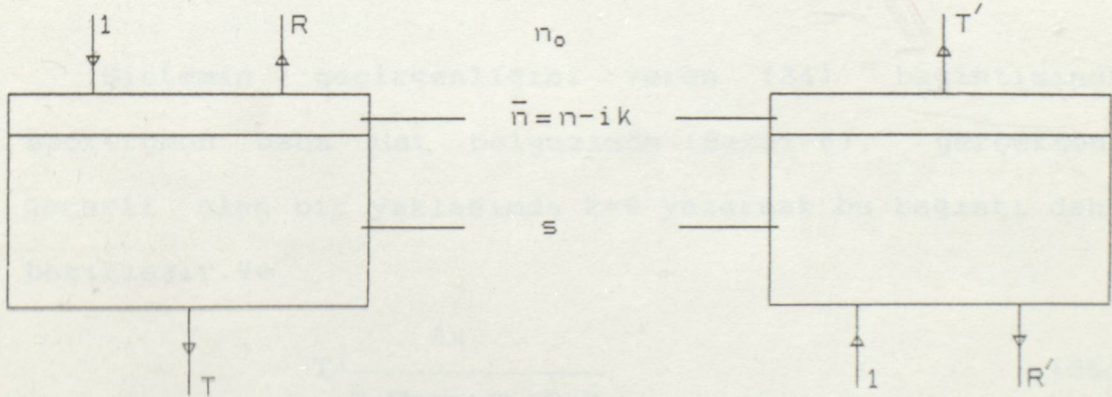
$$C'' = [(n^2 - 1 + k^2)(n^2 - s^2 - k^2) + 4k^2s]2\cos\varphi \\ - k[2(n^2 - s^2 + k^2 + 2s(n^2 - 1 + k^2))]2\sin\varphi$$

$$D'' = [(n-1)^2 + k^2][(n-s)^2 + k^2]$$

kısaltmaları yapılmaktadır.

2.1.4 İNCE FİLM-TAŞIYICI SİSTEMİNİN GEÇİRGENLİĞİ

İnce film-taşıyıcı sisteminin geçirgenliğini (Şekil-5) elde edebilmek için (13) bağıntısında yer alan T_1 , R'_1 yerine, ince filmin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları olan T_x , R'_x ve T_2 , R_2 yerine de hava-taşıyıcı ortam sınır yüzeyine ait geçirgenlik ve yansıtma katsayıları olan T_2 , R_2 almak yeterli olacaktır.



Şekil-5 İnce film-taşıyıcı sisteminin geçirgenlik ve yansıtma katsayıları.

Böylece ince film-taşıyıcı sisteminin geçirgenlik bağıntısı

$$T = \frac{T_m T_r}{1 - R'_r R_m} \quad (33)$$

biçiminde yazılabilir. (17,18,30,32) bağıntıları yardımıyla ve (33) eşitliği

$$T = \frac{A'x}{B' - C'x + D'x^2} \quad (34)$$

şeklini alabilmektedir. ⁽¹²⁾ Burada

$$A' = 16s(n^2 + k^2)$$

$$B' = [(n+1)^2 + k^2][(n+1)(n+s)^2 + k^2]$$

$$C' = [(n^2 - 1 + k^2)(n^2 - s^2 + k^2) - 2k^2(s^2 + 1)]2\cos\varphi \\ - k[2(n^2 - s^2 + k^2) + (s^2 + 1)(n^2 - 1 + k^2)]2\sin\varphi$$

$$D' = [(n-1)^2 + k^2][(n-1)(n-s^2) + k^2]$$

kısaltmaları kullanılmaktadır.

2.2 İNCE FİLMİN OPTİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Sistemin geçirgenliğini veren (34) bağıntısında spektrumun daha üst bölgesinde (Şekil-6), gerçekten geçerli olan bir yaklaşımda $k=0$ yazarsak bu bağıntı daha basitleşir. Ve

$$T = \frac{Ax}{B - Cx\cos\varphi + Dx^2} \quad (35)$$

şeklini alır. ⁽¹²⁾

$$A=16n^2s$$

$$B=(n+1)^2(n+s^2)$$

$$C=2(n^2-1)(n^2-s^2)$$

$$D=(n-1)^2(n-s^2)$$

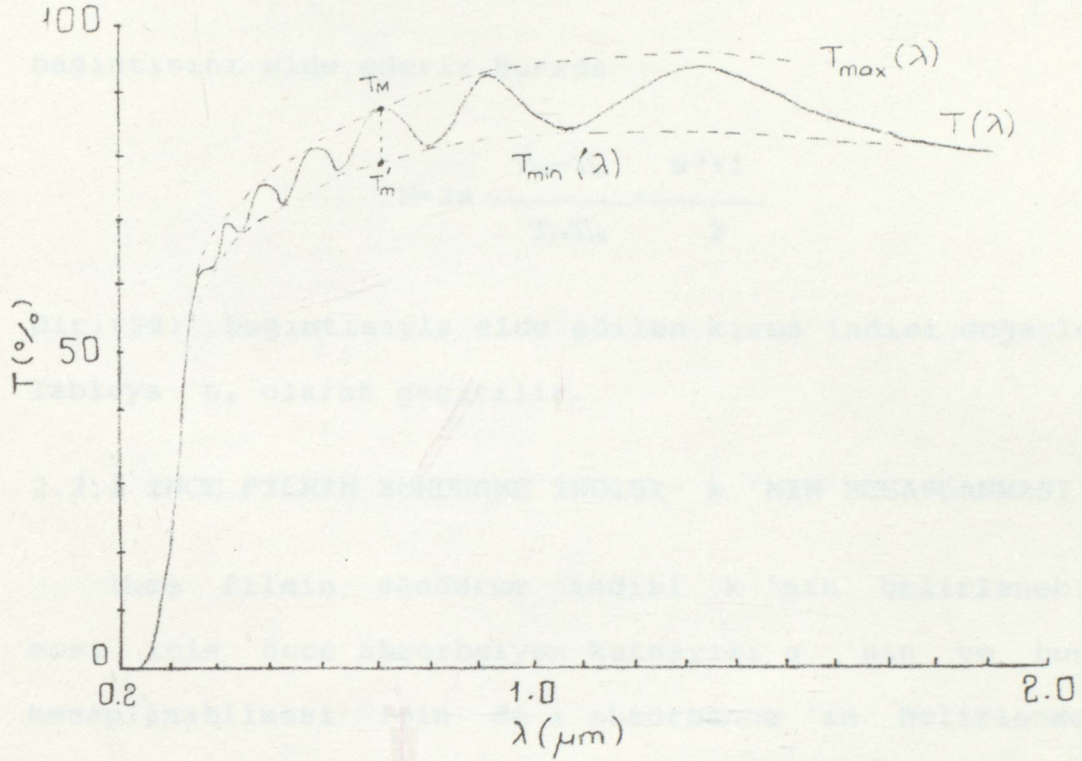
$$\varphi = \frac{4\pi nd}{\lambda} \quad x = \exp(-\alpha d)$$

Bu bağıntılardan girişim saçaklarının maksimum ve minimum ifadeleri de

$$T_M = \frac{Ax}{B-Cx+Dx^2} \quad (36)$$

$$T_m = \frac{Ax}{B+Cx+Dx^2} \quad (37)$$

şeklinde yazılabilir. Herhangi bir λ için her T_M bir T'_m değerine sahiptir. Şekil-6 da T_M in bir T'_m ye karşılık geldiği görülebilir. Geçirgenliğin maksimum ve minimum değerlerine ait bu ifadelerden de ince filmin kırma indisi n ve x absorbance, dolayısıyla (31) bağıntısından α absorpsiyon katsayısı ve (24) bağıntısından filmin k söndürme indisi bulunabilir.



Şekil.6 $0.9 \pm 0.04 \mu\text{m}$. kalınlığındaki bir SnO_2 film için elde edilmiş olan geçirgenlik eğrisi.^[13]

2.2.1 İNCE FİLMİN KIRMA İNDİSİNİN BULUNMASI

İnce filmin kırma indisi^[12] zayıf ve orta absorbsiyon bölgesinde ($\alpha \neq 0$ ve $x < 1$ olan bölge) geçirgenlik eğrisine çizilen yardımcı eğrilerden yararlanarak bulunabilir.(36) ve (37) bağıntıları kullanılarak

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} = \frac{2C}{A} \quad (38)$$

ifadesi elde edilir.C ve A değerleri yerine yazılıp, elde edilen ifadeyi ince filmin kırma indisi n için çözersek

$$n = [N + (N^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (39)$$

bağıntısını elde ederiz. Burada

$$N = 2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2}$$

dir. (39) bağıntısıyla elde edilen kırma indisi değerleri Tabloya n_1 olarak geçirilir.

2.2.2 İNCE FİLMİN SÖNDÜRME İNDİSİ k 'NİN HESAPLANMASI

İnce filmin söndürme indisi k 'nın belirlenebilmesi için önce absorpsiyon katsayısı α 'nın ve bunun hesaplanabilmesi için de x absorbance 'ın belirlenmesi gerekmektedir. x absorbance değerini verecek olan ifade geçirgenlik eğrisine çizilen yardımcı eğrilerden yararlanarak bulunur. [12]

(36) bağıntısı x için çözülürse

$$x = \frac{E_M - [E_M^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n - 1)^3 (n - s^2)} \quad (40)$$

denklemini elde edilir. Burada

$$E_M = \frac{8n^2 s}{T_M} + (n^2 - 1)(n^2 - s^2)$$

dir. (37) bağıntısının çözümünden de

$$x = \frac{E_m - [E_m^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3 (n-s^2)} \quad (41)$$

ifadesi bulunur. Yapılan kısaltma

$$E_m = \frac{8n^2 s}{T_m} - (n^2 - 1)(n^2 - s^2)$$

şeklindedir. (36) ve (37) bağıntılarının toplanmasıyla

$$\frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} = \frac{Ax}{B + Dx^2} \quad (42)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı x için çözülürse

$$x = \frac{F - [F^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - s^4)]^{1/2}}{(n-1)^3 (n-s^2)} \quad (43)$$

ifadesi bulunur. Burada

$$F = \frac{8n^2 s}{T_1}$$

ve

$$T_1 = \frac{2T_M T_m}{T_M + T_m} \quad (44)$$

dir. T_1 , franjların büküm noktalarından geçen bir eğriyi ifade etmektedir.

Interference-free transmission T_α dan

$$T_\alpha = \sqrt{T_M T_m} \quad (45)$$

olmak üzere

$$x = (P + [P^2 + 2QT_\alpha(1 - R_2R_3)]^{1/2}) / Q \quad (46)$$

$$Q = 2T_\alpha(R_1R_2 + R_1R_3 - 2R_1R_2R_3)$$

$$P = (R_1 - 1)(R_2 - 1)(R_3 - 1)$$

$$R_1 = [(1 - n)/(1 + n)]^2$$

$$R_2 = [(n - s)/(n + s)]^2$$

$$R_3 = [(s - 1)/(s + 1)]^2$$

bağıntıları verilmektedir.

Bu farklı (40,41,43,46) ifadelerinden x absorbance değerleri,

$$x = \exp(-\alpha d) \quad (31)$$

bağıntısı ile de α absorpsiyon katsayısı bulunur. α bu bağıntıdan bilindiğine göre ince filmin k söndürme indisi

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (47)$$

bağıntısından hesaplanır.

2.2.3 İNCE FİLMİN d KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

Girişim franjları için temel eşitlik

$$2nd = m\lambda \quad (48)$$

şeklindedir.^[12] Burada m maksimumlar için tamsayılar, minimumlar içinse $1/2$ nin tam katlarıdır. n_1 ve n_2 eğer iki yakın maksimumun (veya minimumun) kırılma indisleri ise (λ_1 ve λ_2 dalgaboylarındaki) (48) eşitliğinden kalınlık

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (49)$$

olarak bulunur. Bu bağıntıdan hesaplanan kalınlık değerleri d_1 olarak Tabloya yazılır. Ayrıca (39) eşitliğinden hesaplanan kırma indisi değerleri (48) eşitliğinde kullanılarak

$$d = \frac{m\lambda}{2n_1} \quad (50)$$

bağıntısından kalınlık yeniden hesaplanarak d_2 olarak Tabloya işlenir. Hesaplanan bu değerlerin ortalaması, $\bar{d}_2$ bulunur ve filmin kırılma indisi (48) eşitliğinden yararlanılarak

$$n = \frac{m\lambda}{2\bar{d}_2} \quad (51)$$

bağıntısıyla belirlenir ve bulunan değerler Tabloya n_2 olarak işlenir.

m ve d nin değerleri basit grafik metoduyla da belirlenebilir. m_1 en uçtaki ilk değer farzedilerek (48) eşitliği

$$2nd = \left(m_1 + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad l = 0, 1, 2, 3, \dots$$

gibi verilebilir. Böylece

$$\frac{1}{2} = 2d \left(\frac{n}{\lambda} \right) - m_1 \quad (52)$$

bağıntısı yazılabilir. Eğer $1/2$ nin n/λ ya bağlı grafiği çizilirse $2d$ eğimli bir düz doğru oluşacaktır. Bu doğru y

eksenini m_1 de kesecektir. Tablo daki n_1 ve λ değerleri için (52) bağıntısının bir grafiği Sekil-8 de gösterilmektedir.

3 . UYGULAMA

Bu bölüm Yöntem'in uygulanmasına ayrılmaktadır. Önce optik parametreleri önceden belirlenen bir ince film-taşıyıcı sistemine ait teorik geçirgenlik eğrisi elde edilecektir. Daha sonra Yöntem bu geçirgenlik eğrisine uygulanarak, optik parametreler yeniden belirlenecektir. Belirlenen bu değerlerle, önceden bilinen değerler karşılaştırılarak önerilen Yöntem sınanacaktır. Son olarak farklı optik parametrelere sahip, sadece geçirgenlik değerleri belli olan ince filmlere ait geçirgenlik eğrilerine Yöntem uygulanarak, bu filmlerin n , k , d optik parametreleri belirlenecektir.

3.1.1 ÖNCEDEN BELİRLENEN OPTİK PARAMETRELERDEN ELDE EDİLEN TEORİK GEÇİRGENLİK EĞRİSİ

Sekil.7 de verilen geçirgenlik eğrisi (SnO_2 filmler için tipik değerler olmak üzere) şu şartlarda elde edilmiştir:

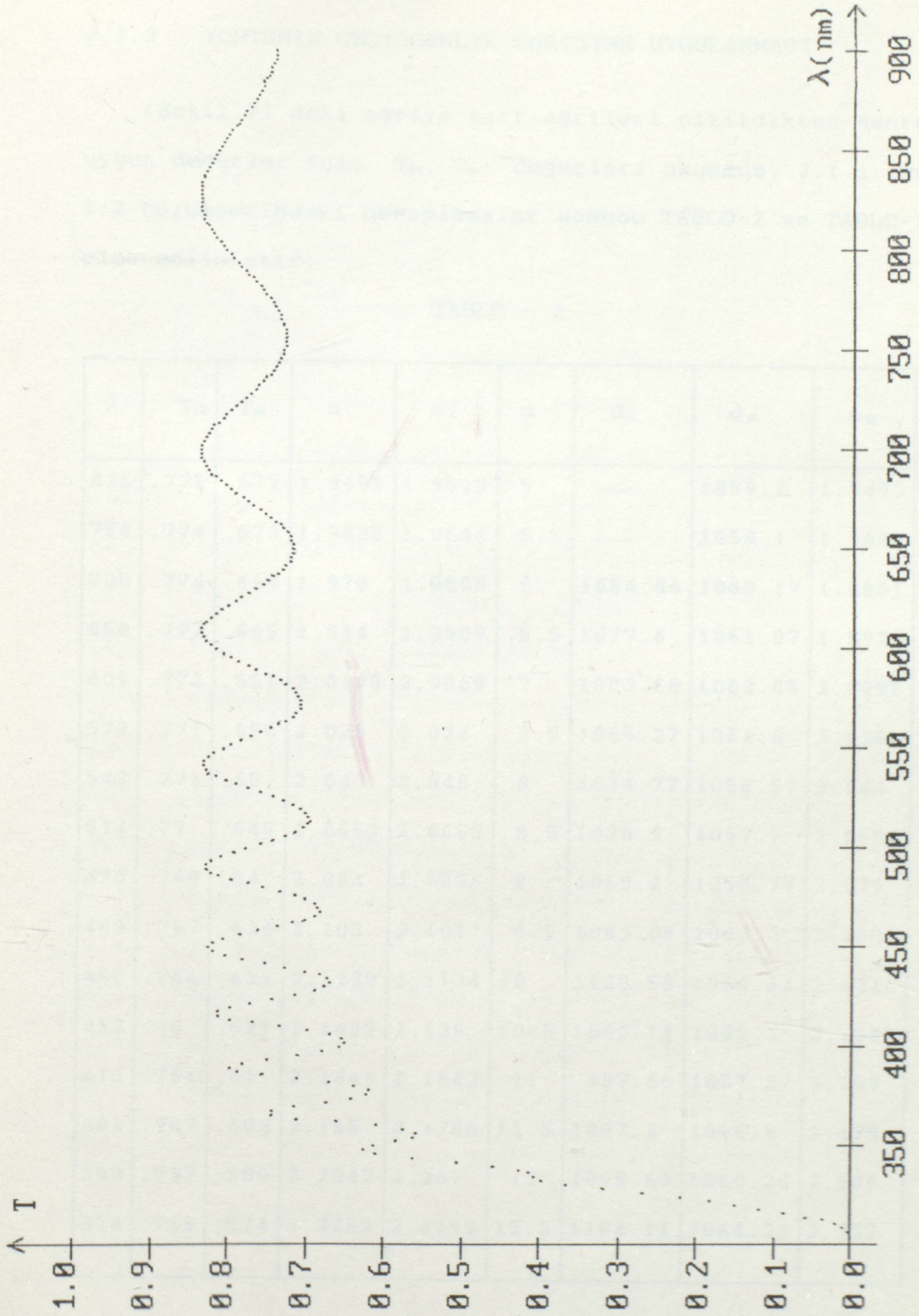
- 1- Taşıyıcı indisisi sabit ve 1.51 olarak alınmıştır.
- 2- Film kalınlığı için 1060 nm değeri seçilmiştir.
- 3- Filmin kırma indisinin dalgaboyuna bağlı değişimi

$$n(\lambda) = 1.876 + 50000/\lambda^2 \quad (53)$$

ve absorpsiyon katsayısının dalgaboyuna bağlı değişimi de

$$\alpha(\lambda) = \exp[(1.2 \cdot 10^8/\lambda^3) - 6.5]/.4343 + .00015 \quad (54)$$

olarak alınmıştır.



Sekil.7 Önceden belirlenen parametrelerle elde edilen

3.1.2 YÖNTEMİN GEÇİRGENLİK EĞRİSİNE UYGULANMASI

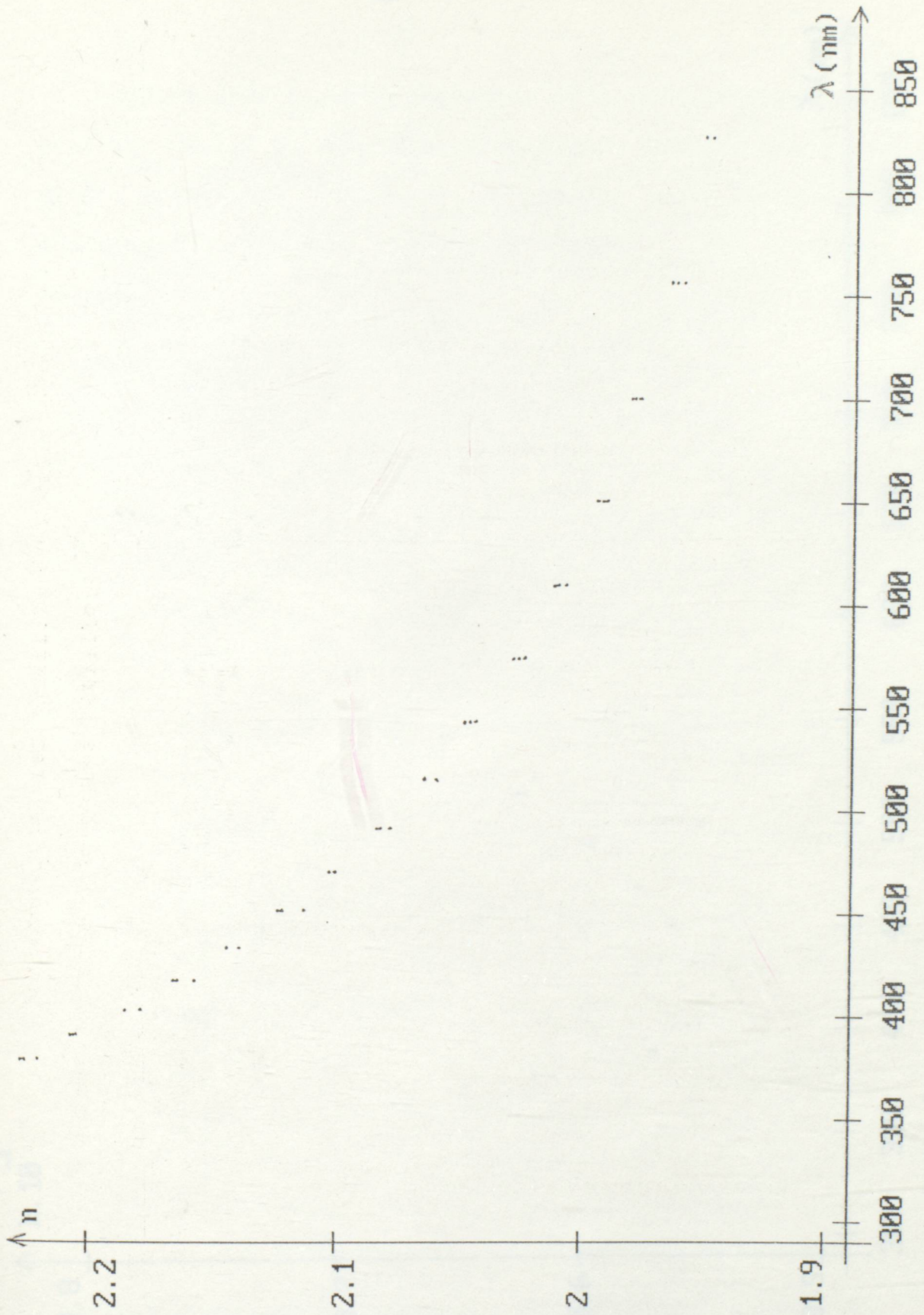
(Şekil.7) deki eğriye zarf eğrileri çizildikten sonra uygun değerler için T_M , T_m değerleri okunmuş, 3.1.1 ve 2.2 bölümlerindeki hesaplamalar sonucu TABLO-2 ve TABLO-3 elde edilmiştir.

TABLO - 2

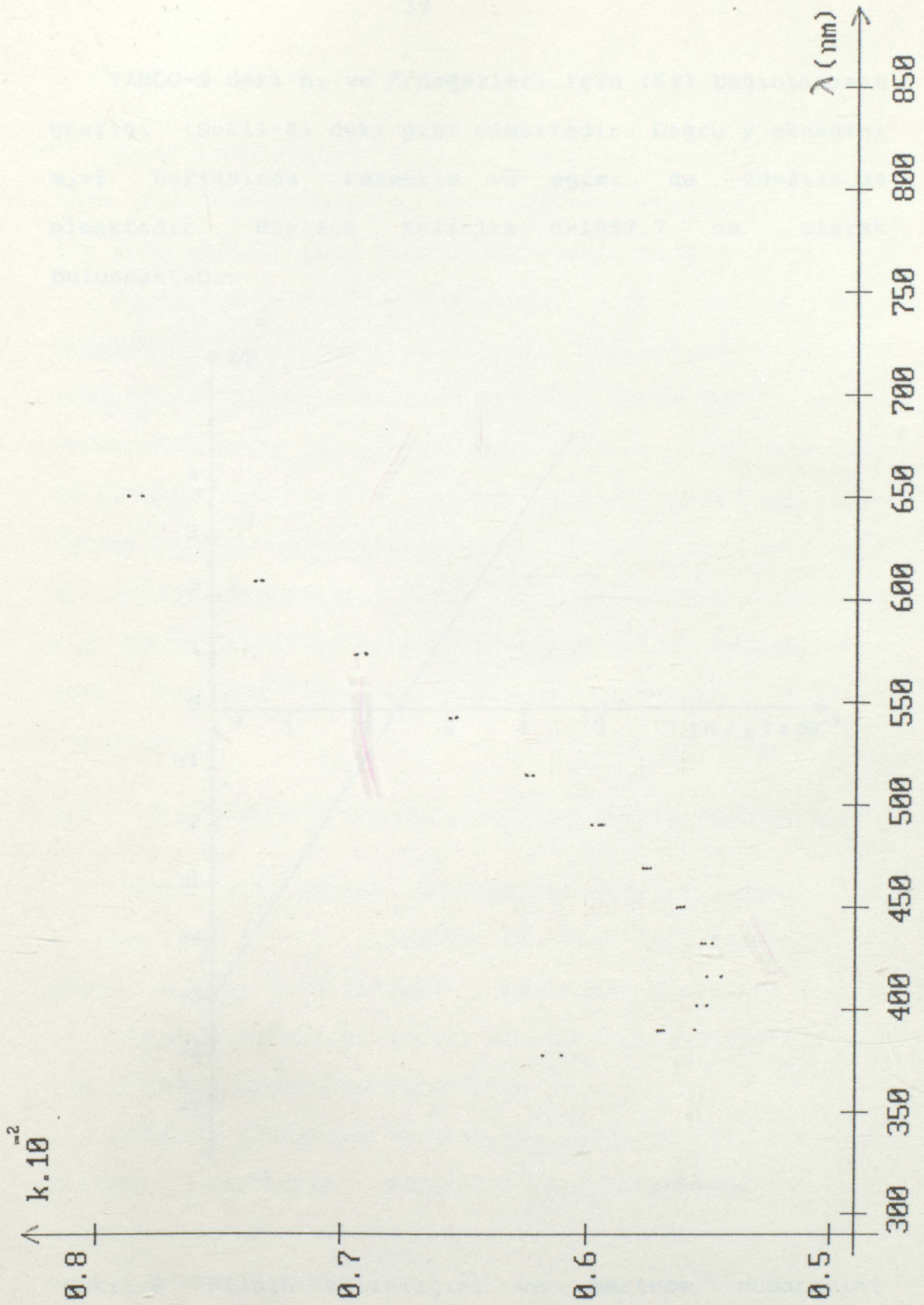
λ	T_M	T_m	n	n_1	m	d_1	d_2	n_2
825	.775	.677	1.9491	1.9518	5	—	1059.2	1.9495
756	.774	.673	1.9635	1.9648	5.5	—	1058.1	1.9603
700	.774	.669	1.978	1.9808	6	1064.86	1060.17	1.9801
650	.772	.665	1.994	1.9909	6.5	1077.6	1061.07	1.992
609	.772	.661	2.0108	2.0069	7	1073.68	1062.08	2.0098
573	.771	.656	2.028	2.024	7.5	1065.27	1061.6	2.026
542	.771	.65	2.046	2.048	8	1034.77	1058.59	2.044
514	.77	.645	2.0652	2.0653	8.5	1029.2	1057.7	2.0598
490	.769	.64	2.084	2.0826	9	1060.2	1058.77	2.079
469	.767	.634	2.103	2.101	9.5	1083.06	1060.3	2.1006
450	.764	.629	2.1229	2.1134	10	1120.58	1064.64	2.1216
432	.76	.62	2.1439	2.139	10.5	1060.11	1060.3	2.1386
416	.754	.61	2.1649	2.1643	11	987.66	1087.3	2.157
402	.747	.602	2.185	2.1788	11.5	1067.2	1060.9	2.179
390	.737	.589	2.2047	2.207	12	1095.69	1060.26	2.206
378	.718	.574	2.2259	2.2199	12.5	1104.11	1064.23	2.227

TABLO-3

λ	k	k_1	k_2	k_3	k_4
827	.00991	.009872	.009872	.009872	.009874
756	.00906	.009066	.009065	.009065	.009070
700	.00840	.008369	.008370	.0083704	.0083706
650	.00781	.007868	.0078691	.0078688	.0078732
609	.00733	.007353	.0073459	.0073540	.0073517
573	.00690	.006941	.0069415	.0069417	.0069434
542	.00655	.00653	.0065276	.006531	.006534
514	.00624	.006217	.0062185	.006218	.0062199
490	.00598	.005944	.0059452	.005945	.00595
469	.00577	.005748	.0057477	.005748	.0057557
450	.00561	.005625	.0056244	.0056246	.0056275
432	.00549	.005526	.005517	.005526	.005524
416	.00545	.005508	.005508	.005508	.005512
402	.00551	.005555	.005555	.005555	.005555
390	.00569	.00556	.005704	.005705	.005711
378	.00610	.006177	.00618	.006178	.006176



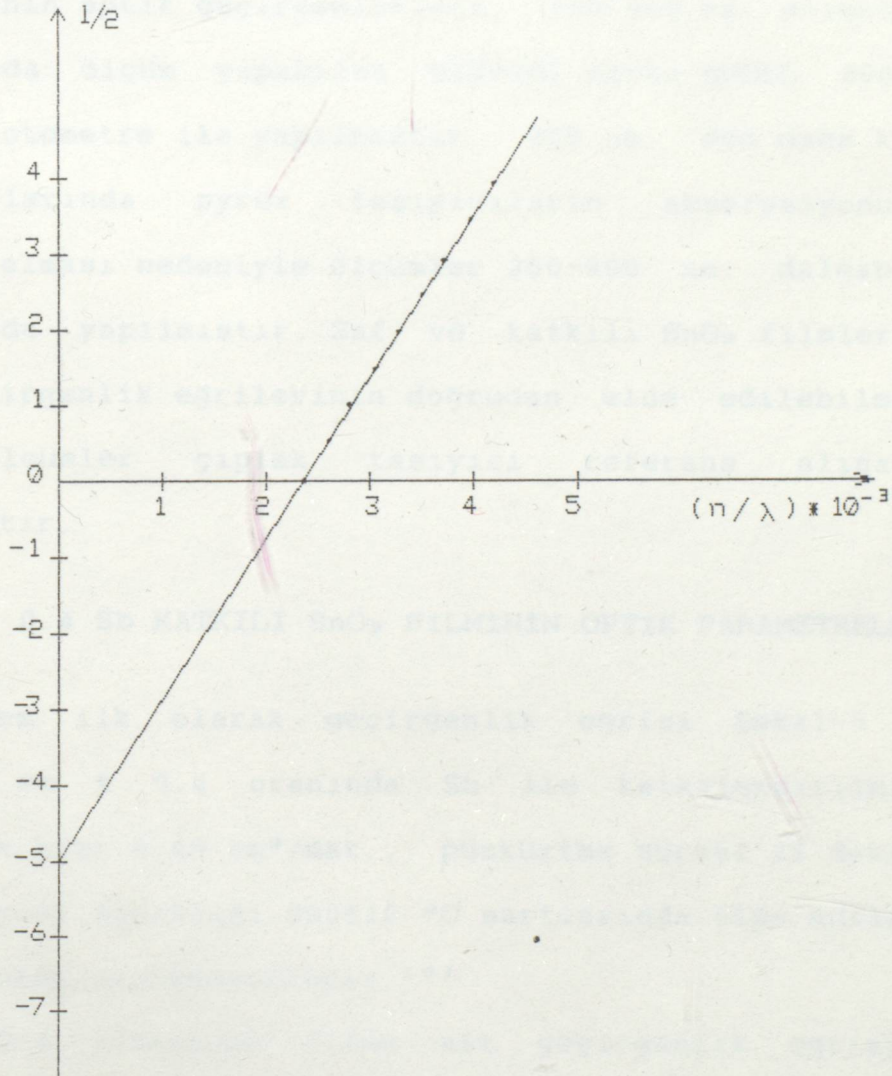
Sekil.7.1 Geçirgenlik eğrisi (Sekil.7) de verilen filmin n kırma indisinin dalgaboyuna bağlılığı.



Sekil.7.2 Geçirgenlik eğrisi (Sekil.7) de verilen filmin

k söndürme indisinin dalgaboyuna bağıllığı.

TABLO-2 deki n_1 ve λ değerleri için (52) bağıntısının grafiği (Şekil-8) deki gibi olmaktadır. Doğru y eksenini $m_1=5$ noktasında kesmekte ve eğimi de $2d=2115.38$ olmaktadır. Böylece kalınlık $d=1057.7$ nm olarak bulunmaktadır.



Şekil.8 Filmin kalınlığını ve mertebe numarasını belirlemek üzere çizilen $1/2$ ye karşı n/λ grafiği.

3.2 YÖNTEMİN DENEL GEÇİRGENLİK EĞRİLERİNE UYGULANMASI

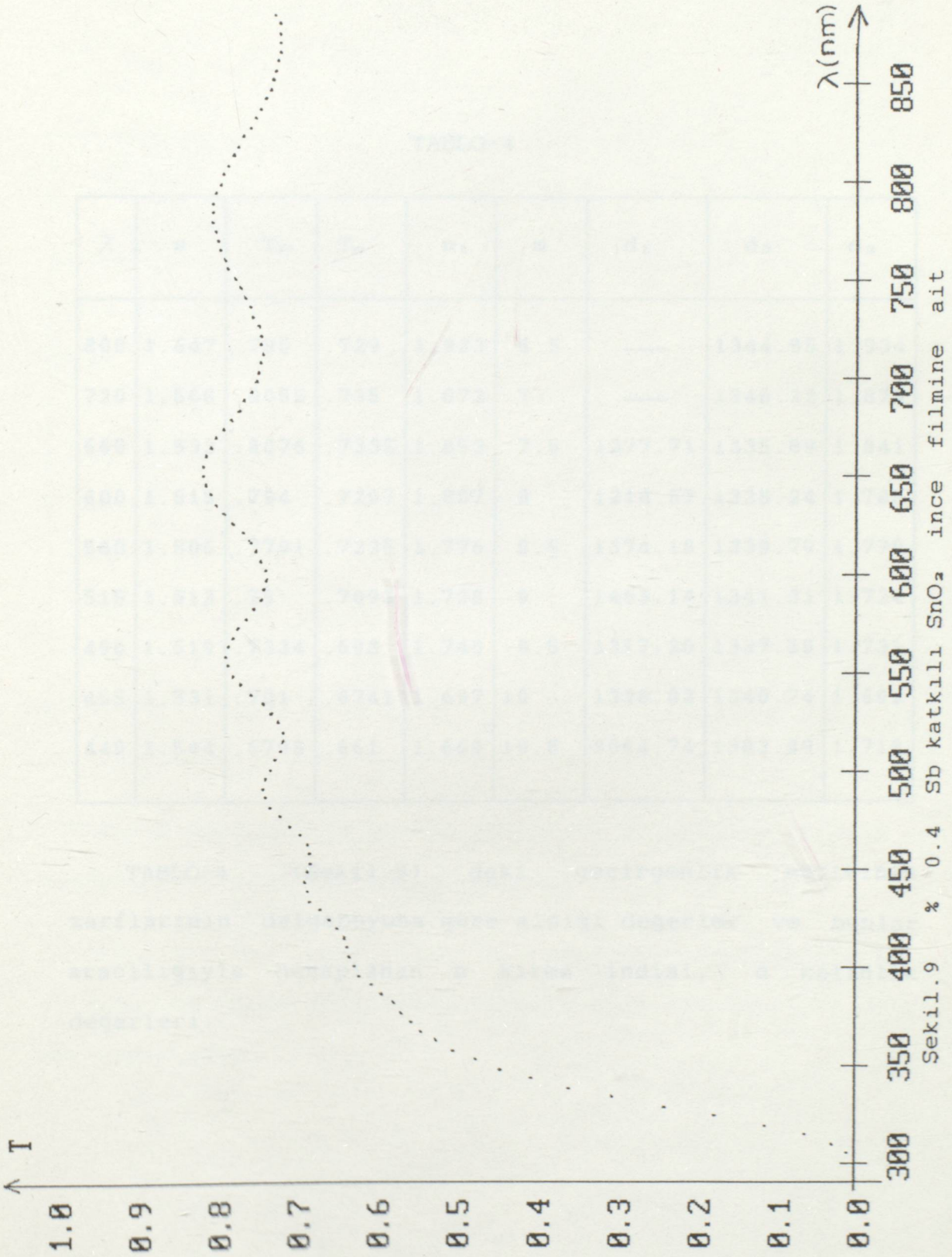
Bu bölümde Yöntem'in farklı optik parametrelere sahip ince filmlere uygulanışı verilmektedir. Püskürtme tekniği ile elde edilmiş ince filmlerden yararlanılmaktadır.

Pyrex taşıyıcılar üzerinde elde edilen SnO_2 filmlerinin optik geçirgenlikleri, 200-900 nm. dalgaboyu aralığında ölçüm yapabilen HITACHI marka MODEL 200 A spektrofotometre ile yapılmıştır. 300 nm. den daha kısa dalgaboylarında pyrex taşıyıcıların absorpsiyonunun yüksek olması nedeniyle ölçümler 300-900 nm. dalgaboyu aralığında yapılmıştır. Saf ve katkılı SnO_2 filmlerine ait geçirgenlik eğrilerinin doğrudan elde edilebilmesi için ölçümler çıplak taşıyıcı referans alınarak yapılmıştır.

3.2.1 % 0.4 Sb KATKILI SnO_2 FİLMİNİN OPTİK PARAMETRELERİ

Yöntem ilk olarak geçirgenlik eğrisi Şekil-9 da verilen ve % 0.4 oranında Sb ile katkılılandırılmış, püskürtme hızı $0.40 \text{ cm}^3/\text{dak.}$, püskürtme süresi 25 dakika ve taşıyıcı sıcaklığı $380 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ şartlarında elde edilmiş SnO_2 filmine uygulanmaktadır.⁽⁹⁾

TABLO-4 sözkonusu filme ait geçirgenlik eğrisine çizilen zarfların değerlerinin dalgaboyuna göre değişimleri ve bunlar yardımıyla hesaplanan optik parametreleri içermektedir. Ayrıca yine zarfların eğriye değdiği noktalardaki değerlerden yararlanarak hesaplanan söndürme indisi değerleri TABLO-5 de yer almaktadır.



TABLO-4

λ	s	T_M	T_m	n_1	m	d_1	d_2	n_2
800	1.647	.795	.729	1.933	6.5	—	1344.85	1.934
720	1.568	.8055	.735	1.872	7	—	1346.22	1.875
660	1.533	.8076	.7335	1.853	7.5	1277.71	1335.89	1.841
600	1.515	.794	.7297	1.807	8	1214.57	1328.24	1.785
560	1.506	.7791	.7225	1.776	8.5	1374.18	1339.79	1.770
515	1.513	.75	.7093	1.728	9	1463.14	1341.31	1.724
490	1.519	.7334	.693	1.740	9.5	1317.20	1337.58	1.731
455	1.531	.701	.6741	1.697	10	1328.82	1340.74	1.692
440	1.544	.6798	.661	1.669	10.5	2064.74	1383.89	1.718

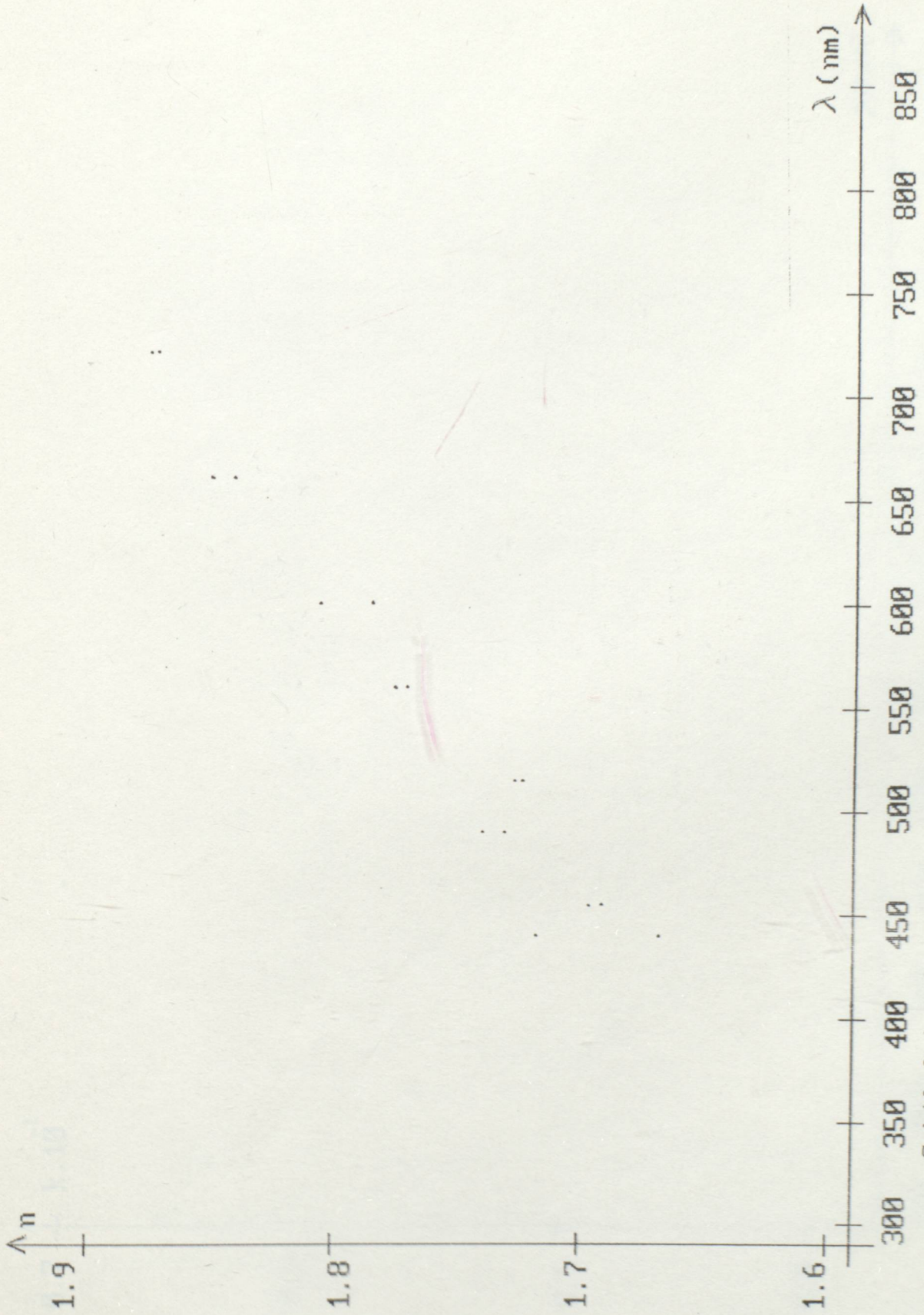
TABLO-4 (Şekil-9) daki geçirgenlik eğrisinin zarflarının dalgaboyuna göre aldığı değerler ve bunlar aracılığıyla hesaplanan n kırma indisi, d kalınlık değerleri.

TABLO-5

λ	k_1 (10^{-3})	k_2 (10^{-3})	k_3 (10^{-3})	k_4 (10^{-3})
800	4.9131	4.9133	4.9132	4.9162
720	4.7725	4.7728	4.7726	4.7721
660	4.6154	4.6158	4.6155	4.6157
600	4.9547	4.9549	4.9548	4.9554
560	5.3187	5.3189	5.3188	5.3201
515	6.0127	6.0129	6.0129	6.0131
490	6.3035	6.2985	6.2983	6.2997
455	7.0067	7.0067	7.0067	7.0059
440	7.5190	7.5191	7.5192	7.5182

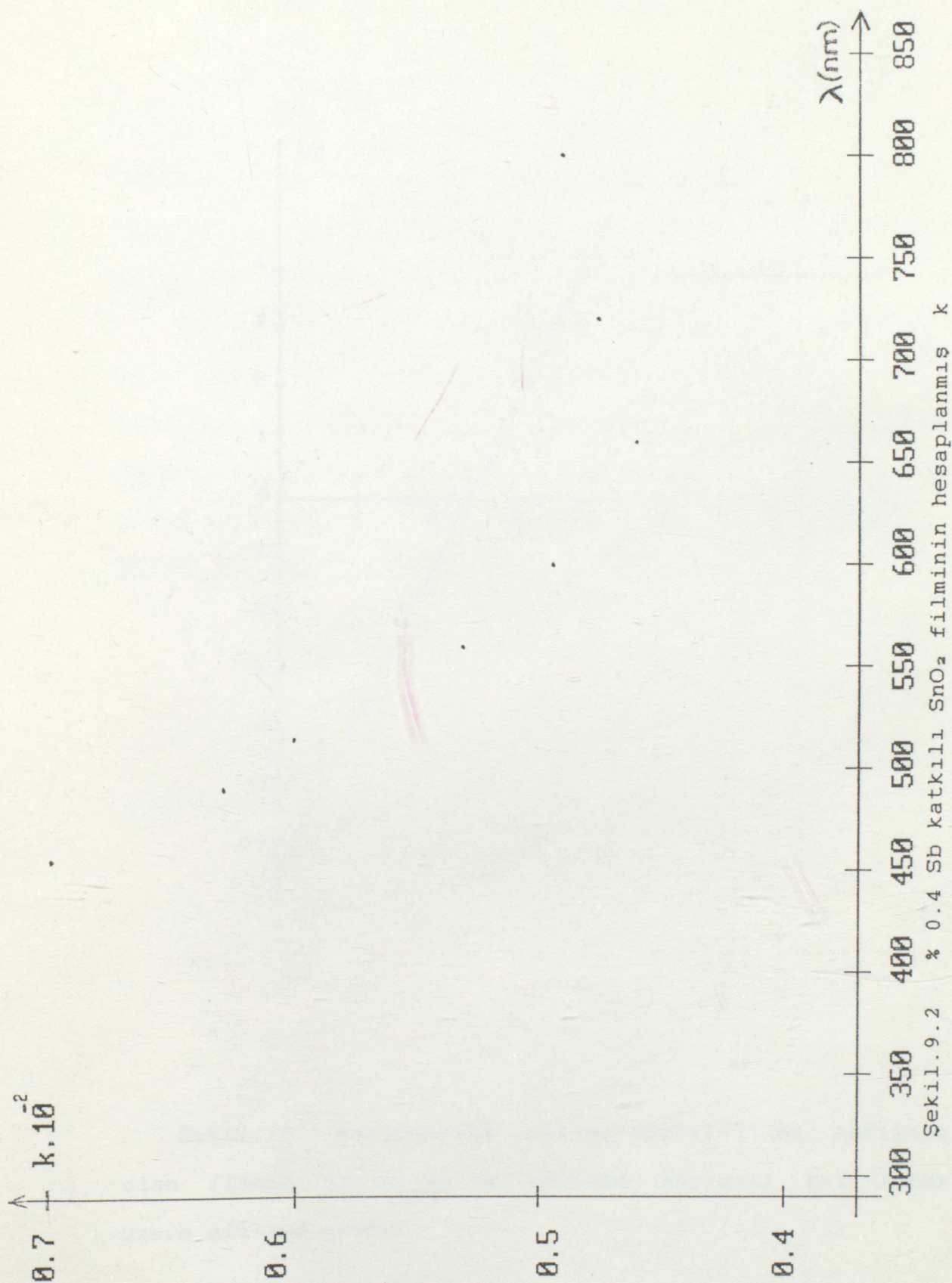
TABLO-5 geçirgenlik eğrisi (Şekil-9) da verilen filmin hesaplanan k söndürme indisi değerlerini içermektedir.

TABLO-5 te yer alan k söndürme indislerinin dalgaboyuna göre değişimini veren grafik (Şekil.9.2) de yer almaktadır.



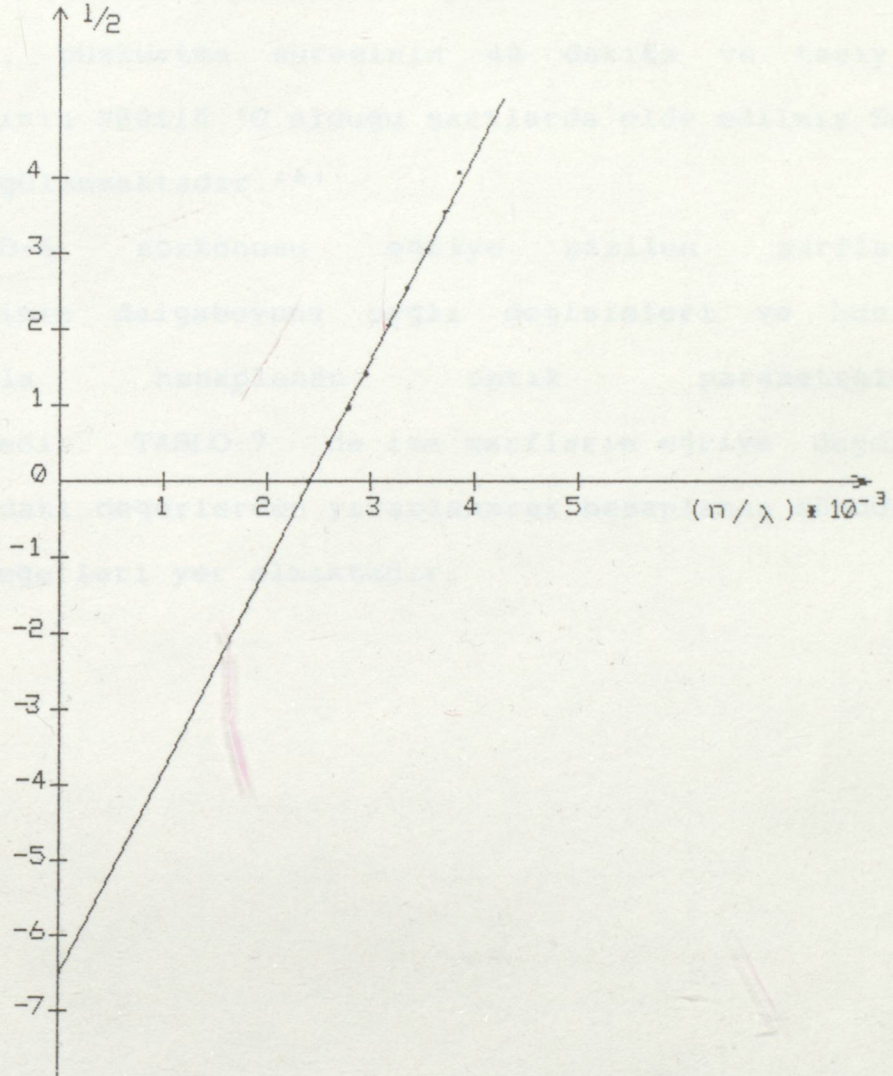
Sekil.9.1 % 0.4 Sn katkılı SnO_2 filminin kırma indisi

değerlerinin dalgaboyuna bağlı değişimi.



Sekil.9.2 % 0.4 Sb katkılı SnO_2 filminin hesaplanmış k

söndürme indisinin dalgaboyuyla değişimi.

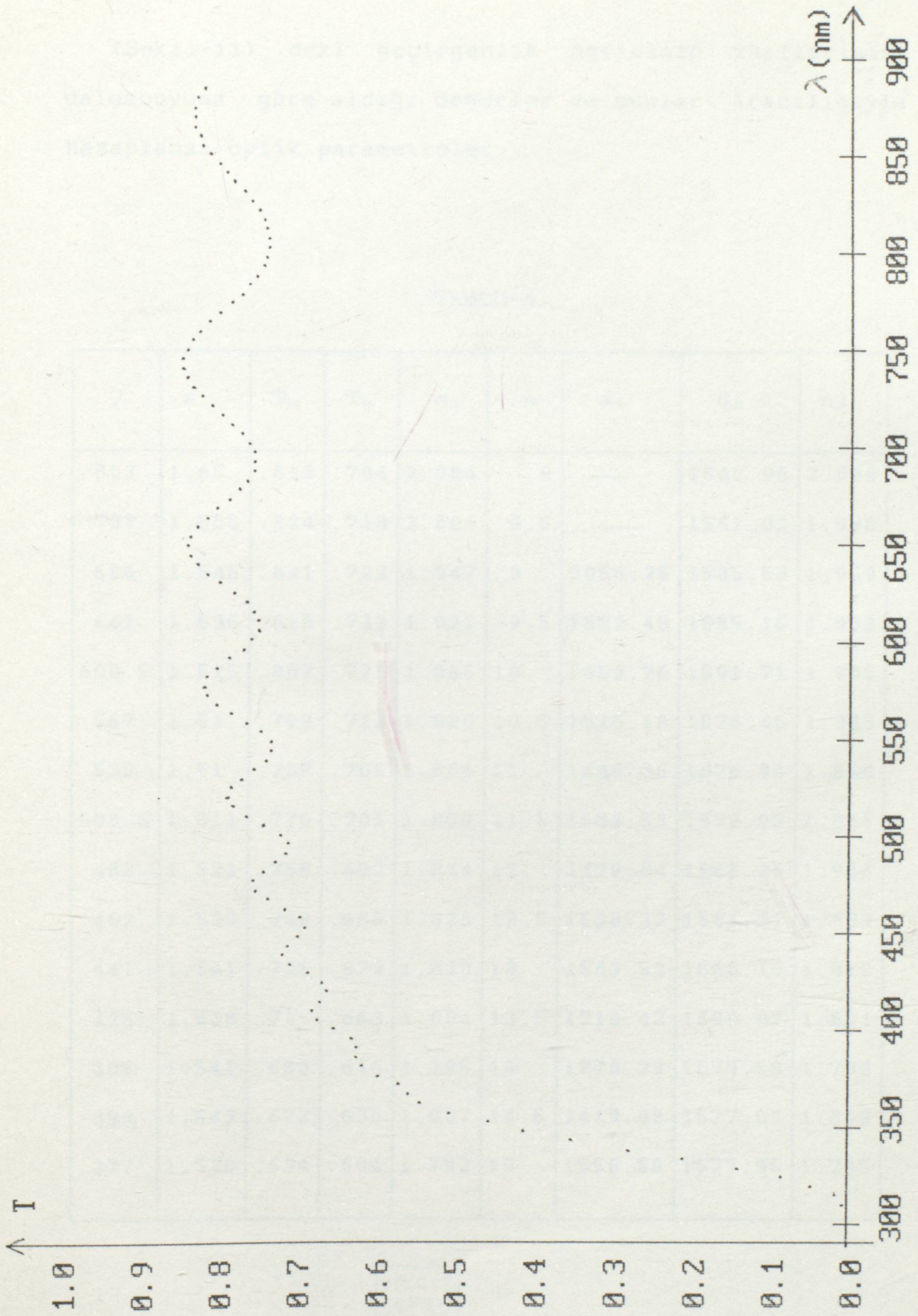


Sekil.10 Geçirgenlik eğrisi (Şekil-9) da verilmiş olan filmin kalınlığı ve mertebe sayısını belirlemek üzere çizilen grafik.

3.2.2 SAF SnO₂ FİLMİN OPTİK PARAMETRELERİ

Yöntem ikinci olarak geçirgenlik eğrisi (Şekil-11) de verilen, katkı yapılmadan, püskürtme hızının 0.35 cm³/dak., püskürtme süresinin 40 dakika ve taşıyıcı sıcaklığının 380±10 °C olduğu şartlarda elde edilmiş SnO₂ filme uygulanmaktadır.⁽⁹⁾

TABLO-6 sözkonusu eğriye çizilen zarfların değerlerinin dalgaboyuna bağlı değişimleri ve bunlar yardımıyla hesaplanan optik parametreleri içermektedir. TABLO-7 de ise zarfların eğriye değdiği noktalardaki değerlerden yararlanarak hesaplanan söndürme indisi değerleri yer almaktadır.



Sekil.11 Saf SnO_2 filmin geçirgenlik eğrisi.

(Şekil-11) deki geçirgenlik eğrisinin zarflarının dalgaboyuna göre aldığı değerler ve bunlar aracılığıyla hesaplanan optik parametreler.

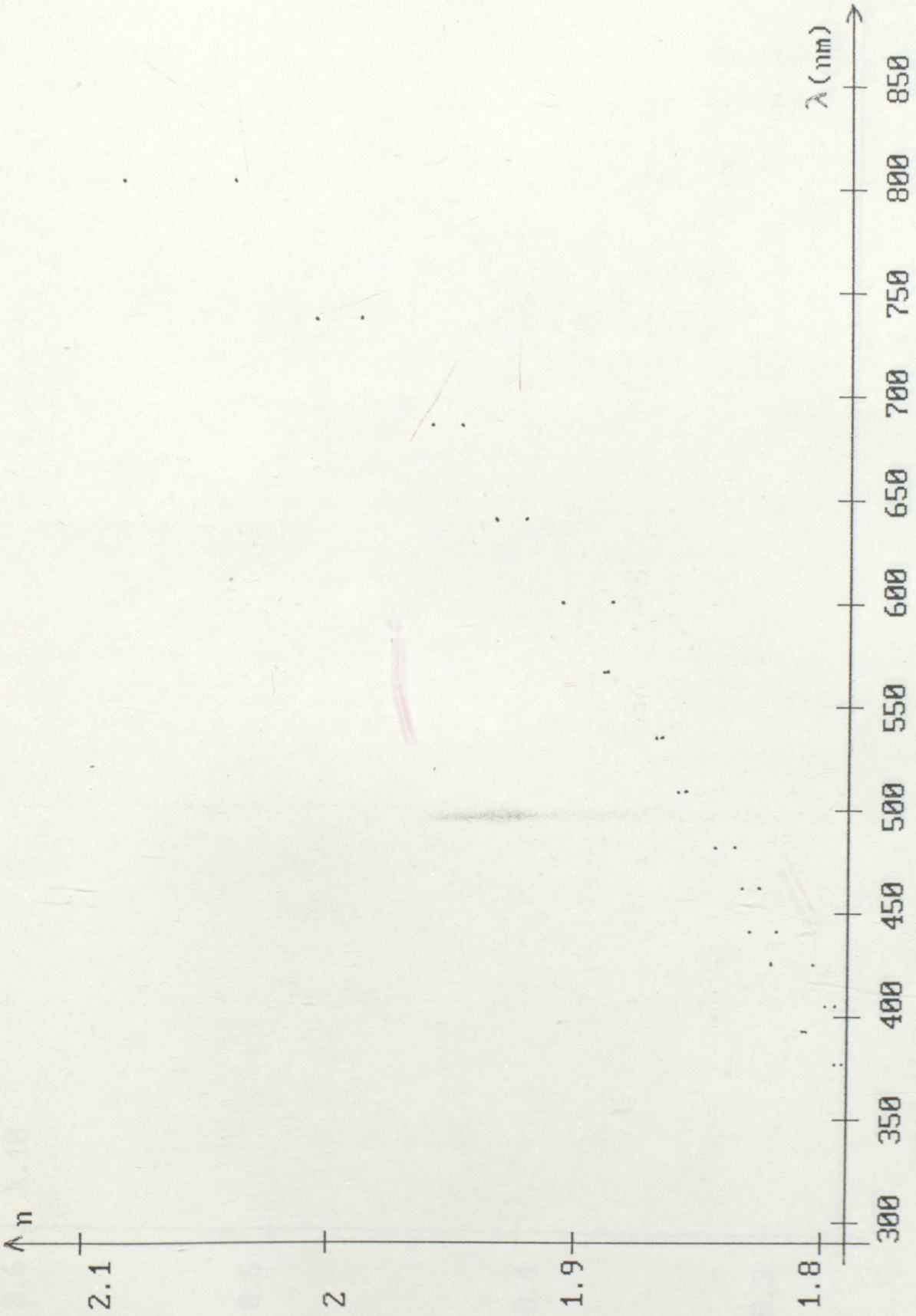
TABLO-6

λ	s	T_M	T_m	n_1	m	d_1	d_2	n_2
803	1.65	.812	.704	2.084	8	—	1540.96	2.039
737	1.585	.824	.718	2.006	8.5	—	1561.02	1.988
686	1.545	.821	.722	1.947	9	2058.25	1585.53	1.959
641	1.526	.818	.722	1.921	9.5	1822.45	1585.15	1.933
600.5	1.515	.807	.72	1.886	10	1652.76	1591.71	1.906
567	1.51	.799	.712	1.888	10.5	1515.18	1576.45	1.889
535	1.51	.787	.708	1.866	11	1440.36	1576.98	1.868
508.5	1.511	.776	.701	1.859	11.5	1533.53	1572.96	1.866
482	1.521	.758	.692	1.844	12	1479.84	1568.26	1.936
462	1.529	.743	.685	1.826	12.5	1638.33	1581.31	1.833
441	1.541	.726	.672	1.830	13	1543.52	1566.16	1.819
425	1.538	.71	.663	1.804	13.5	1710.42	1590.07	1.821
405	1.541	.688	.646	1.795	14	1770.29	1579.58	1.799
393	1.543	.672	.630	1.807	14.5	1419.48	1577.05	1.809
377	1.578	.634	.604	1.792	15	1556.58	1577.95	1.795



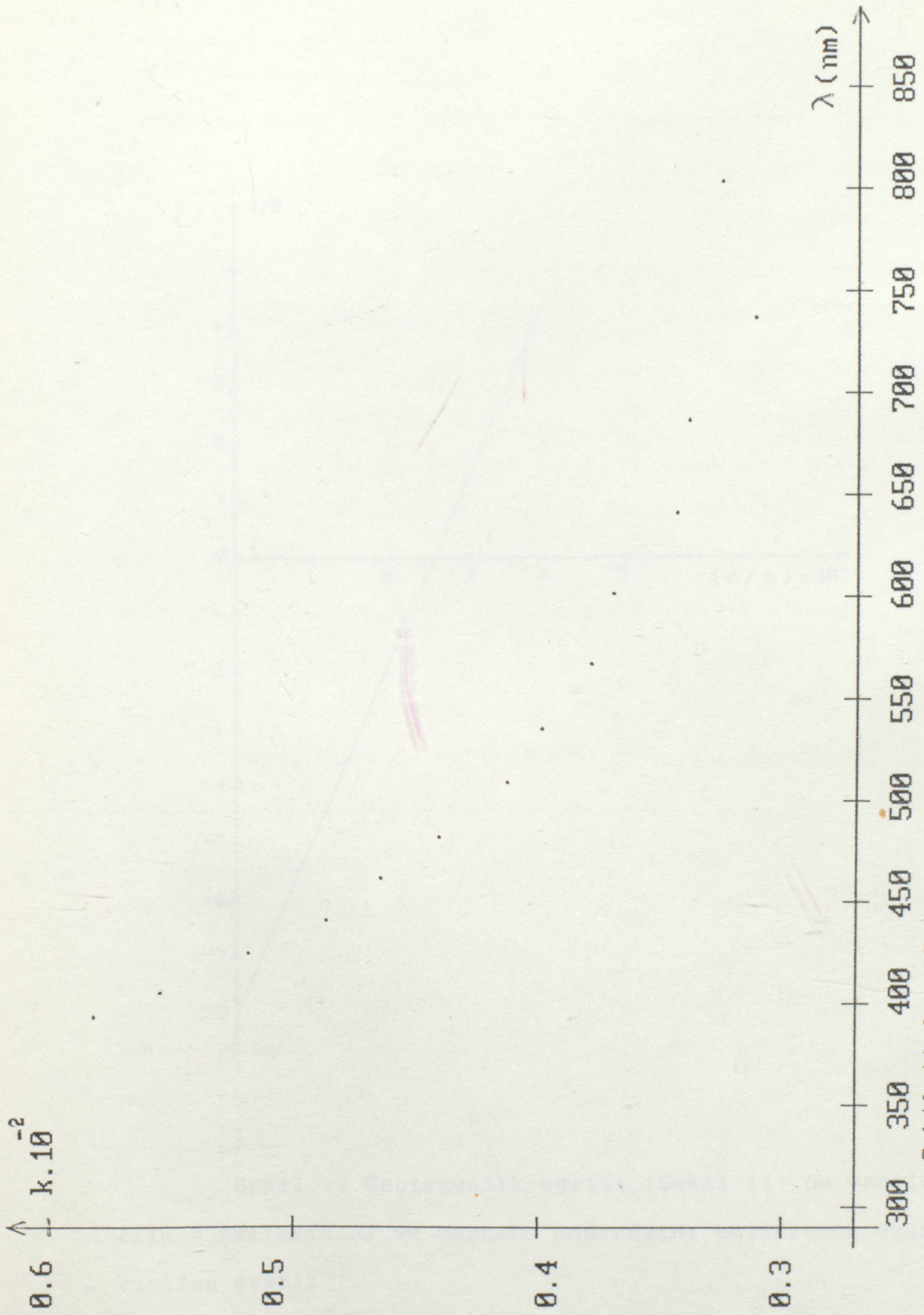
TABLO-7

λ	k_1 (10^{-3})	k_2 (10^{-3})	k_3 (10^{-3})	k_4 (10^{-3})
803	3.259	3.259	3.259	3.264
737	3.121	3.119	3.119	3.124
686	3.388	3.388	3.388	3.390
641	3.441	3.441	3.441	3.440
600.5	3.704	3.702	3.702	3.704
567	3.795	3.795	3.795	3.795
535	3.988	3.988	3.988	3.986
508.5	4.130	4.130	4.130	4.131
482	4.410	4.410	4.410	4.412
462	4.650	4.650	4.650	4.650
441	4.868	4.868	4.868	4.868
425	5.190	5.190	5.190	5.188
405	5.561	5.561	5.561	5.562
393	5.828	5.828	5.828	5.829
377	5.536	5.536	5.536	5.535

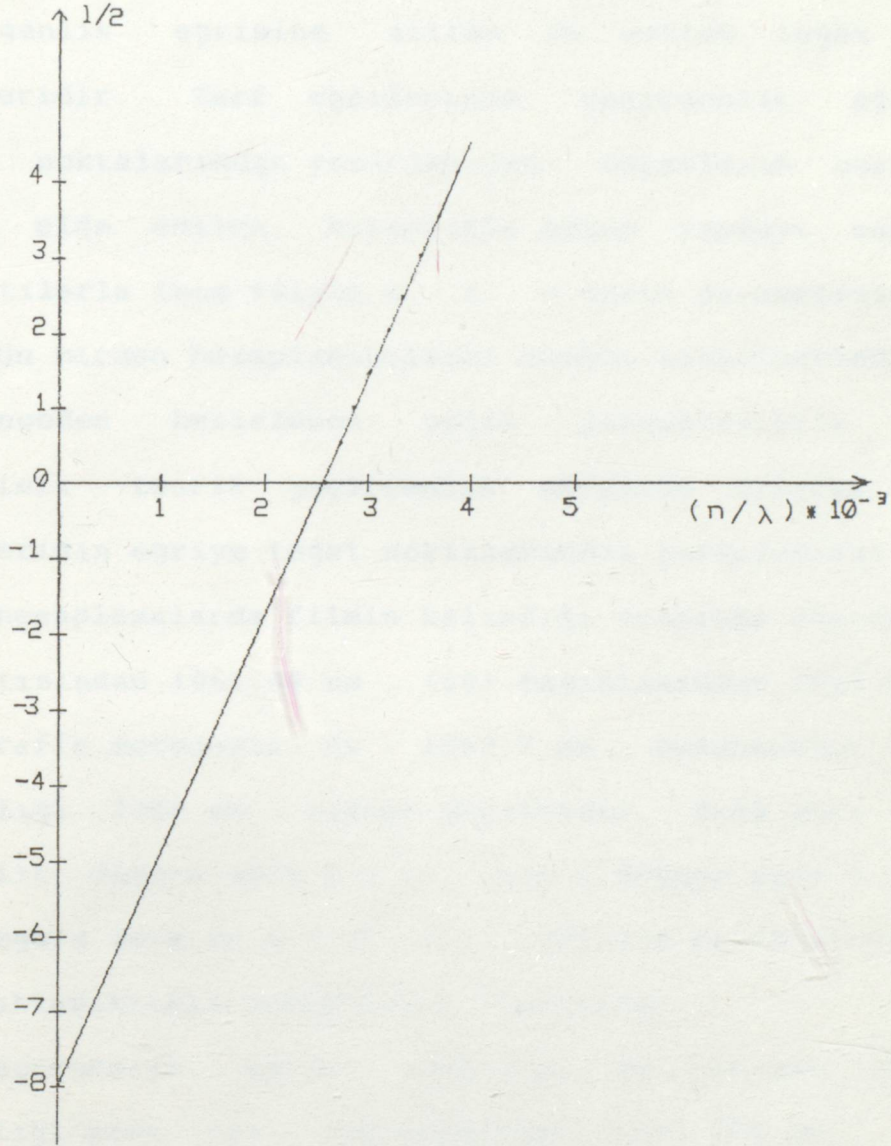


Sekil.11.1 Geçirgenlik eğrisi (Şekil.11) de verilen

filminin kırma indisinin dalgaboyuna göre değişimi.



Sekil.11.2 (Sekil.11) deki geçirgenlik egrisine sahip
film k söndürme indisi degerleri.



Sekil.12 Geçirgenlik eğrisi (Şekil-11) de verilen filmin kalınlığını ve mertebe numarasını belirlemek üzere çizilen grafik.

4 . TARTIŞMA VE SONUÇ

Yöntemimizde geçirgenlik eğrisine çizilen yardımcı eğrilerden yararlanılmaktadır. Bu yardımcı eğriler geçirgenlik eğrisine alttan ve üstten teğet zarf eğrileridir. Zarf eğrilerinin geçirgenlik eğrisine teğet noktalarından yararlanılan; önyaklaşım gerektirmeden elde edilen, kolaylıkla hesap yapmayı sağlayan bağıntılarla ince filmin n , k , d optik parametrelerinin tümünün birden hesaplanabilmesi mümkün olabilmektedir

Önceden belirlenen optik parametrelerle elde ettiğimiz teorik geçirgenlik eğrisine çizilen zarf eğrilerinin eğriye teğet noktalarından yararlanarak yapılan hesaplamalarda filmin kalınlığı ortalama olarak (49) bağıntısından 1061.69 nm , (50) bağıntısından 1060.52 nm ve grafik metoduyla da 1057.7 nm bulunmuştur. Film kalınlığı 1060 nm olarak seçilmişti. Buna göre bağıl hata ilk değere göre $\% 0.15$, ikinci değere göre $\% 0.049$, son değere göre de $\% 0.21$ dir. Böylece kalınlık çok iyi bir yaklaşıklıkla hesaplanmış olmaktadır.

Geçirgenlik eğrisi (Şekil-9) da verilen filmin kalınlığı yine (49) bağıntısından 1329.272 nm , (50) bağıntısından 1344.28 nm , grafik metoduyla da 1354.2 nm olarak bulunmuştur.

Geçirgenlik eğrisi (Şekil-11) de verilen filmin kalınlığı ise (49) bağıntısından 1569.1 nm , (50) bağıntısından 1575.4 nm ve grafik metoduyla da 1574 nm olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde filmin kırma indisi ve söndürme indisi değerleri de çok iyi yaklaşıklıklarla bulunabilmektedir.

1- J. D. LUCKY and J. E. WILKINSON, *Journal of Polymer Science*,

29 (1958) 444

2- J. WILKINSON, *Thin Solid Films*

45 (1977) 24

3- J. WILKINSON and J. E. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

1 (1964) 124

4- J. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

8 (1971)

5- J. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

6- J. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

5 (1969) 47

7- J. WILKINSON and J. E. WILKINSON, *Journal of Polymer Science*

27 (1958) 441

8- J. E. WILKINSON and J. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

20 (1967) 251

9- J. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

10- J. WILKINSON, *Optical Properties of Thin Solid Films*

(1974) 49

11- J. WILKINSON, J. WILKINSON and J. E. WILKINSON, *Journal of Thin Films*

17 (1965) 409

KAYNAKLAR

- 1- J.B.DUBOW and D.E.BURK, APPLIED PHYSICS LETTER,
29 (1976) 494
- 2- J.SPITZ, THIN SOLID FILMS
45 (1977) 34
- 3- J.THOMAS COX and G.HASS, PHYSICS OF THIN FILMS
2 (1964) 239
- 4- E.RITTER, PHYSICS OF THIN FILMS
8 (1975)
- 5- E.AKTULGA, DOKTORA TEZİ
- 6- A.THELEN, PHYSICS OF THIN FILMS
5 (1969) 47
- 7- S.HACKWOOD at al., APPLIED PHYSICS LETTER
37 (1980) 965
- 8- S.K.MOHAPATA and S.WAGNER, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS
50 (1979) 5001
- 9- S.AKÇİZ, DOKTORA TEZİ
- 10- O.S.HEAVANS, OPTICAL PROPERTIES OF THIN SOLID FILMS
(1955) 49
- 11- E.ELIZALDE, F.RUEDA at al, SOLAR ENERGY MATERIALS
13 (1986) 407

- 12- R.SWANEPOEL, JOURNAL OF PHYSICS E: SCI. INSTRUMENT
16 (1983) 1214
- 13- J.C.MANIFACIER at al., J. PHYS. E:SCI. INSTRUMENT
9 (1976) 1002
- 14- C.J.DELLOCA at al., PHYSICS OF THIN FILMS
6 (1971)
- 15- A.HJORTSBERG at al., THIN SOLID FILMS
90 (1982) 323
- 16- H.E.BENNET at al., JOUR. OF OPTICAL SOCIETY AMERICAN
52 (1962) 1245
- 17- L.I.MEISSEL, PHYSICS OF THIN FILMS
3 (1966) 61
- 18- O.S.HEAVENS, PHYSICS OF THIN FILMS
2 (1964) 193
- 19- G.D.SCOTT at al., JOURNAL OF APPLIED PHYSICS
21 (1950) 843
- 20- H.E.BENNET and J.M.BENNET, PHYSICS OF THIN FILMS
4 (1967)
- 21- W.N.HANSEN, ANALYTIC CHEMISTRY
37 (1965) 1142

- 22- N.J.HARRICK, JOUR. OF OPTICAL SOCIETY AMERICAN
55 (1965) 851
- 23- J.F.HALL and W.C.FERGUSON, JOUR. OPT. SOC. AM.
45 (1955) 714
- 24- L.G.SCHULTZ, JOURNAL OF CHEMISTRY PHYSICS
17 (1949) 1153
- 25- J.M.BENNET at al., JOUR. OPT. SOC. AM.
60 (1970) 224
- 26- H.BIREY, İ.Ü.FEN FAK. MEC. SERİ C
44 (1979) 185
- 27- A.VASICĚK, OPTICS OF THIN FILMS
(1960)
- 28- P.H.BERNING, PHYSICS OF THIN FILMS
1 (1963)
- 29- H.BIREY, İNCE FİLM OPTİĞİ
- 30- D.LASER, THIN SOLID FILMS
90 (1982) 317
- 31- F.RUBIO, J.DENIS at al., THIN SOLID FILMS
90 (1982) 405

32- L.HOLLAND, VACUUM DEPOSITION OF THIN FILMS

(1970) 491

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Edirne de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul da, 1980 yılında tamamladı. Aynı yıl İ.Ü.Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne girdi ve 1985 yılında Fizik Lisans Bölümünden mezun oldu. 1986 dan beri Y.Ü.Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



