

# KIZILÖTESİ GEÇİRGENLİK VE YANSIMA ÖLÇÜMLERİ İÇİN BASİT SPEKTROMETRE DÜZENEGİ

İzmir MAMEDBEYLİ, Fahrettin ÇAKIROĞLU, Zafer ÜREY, Cem GEZER  
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

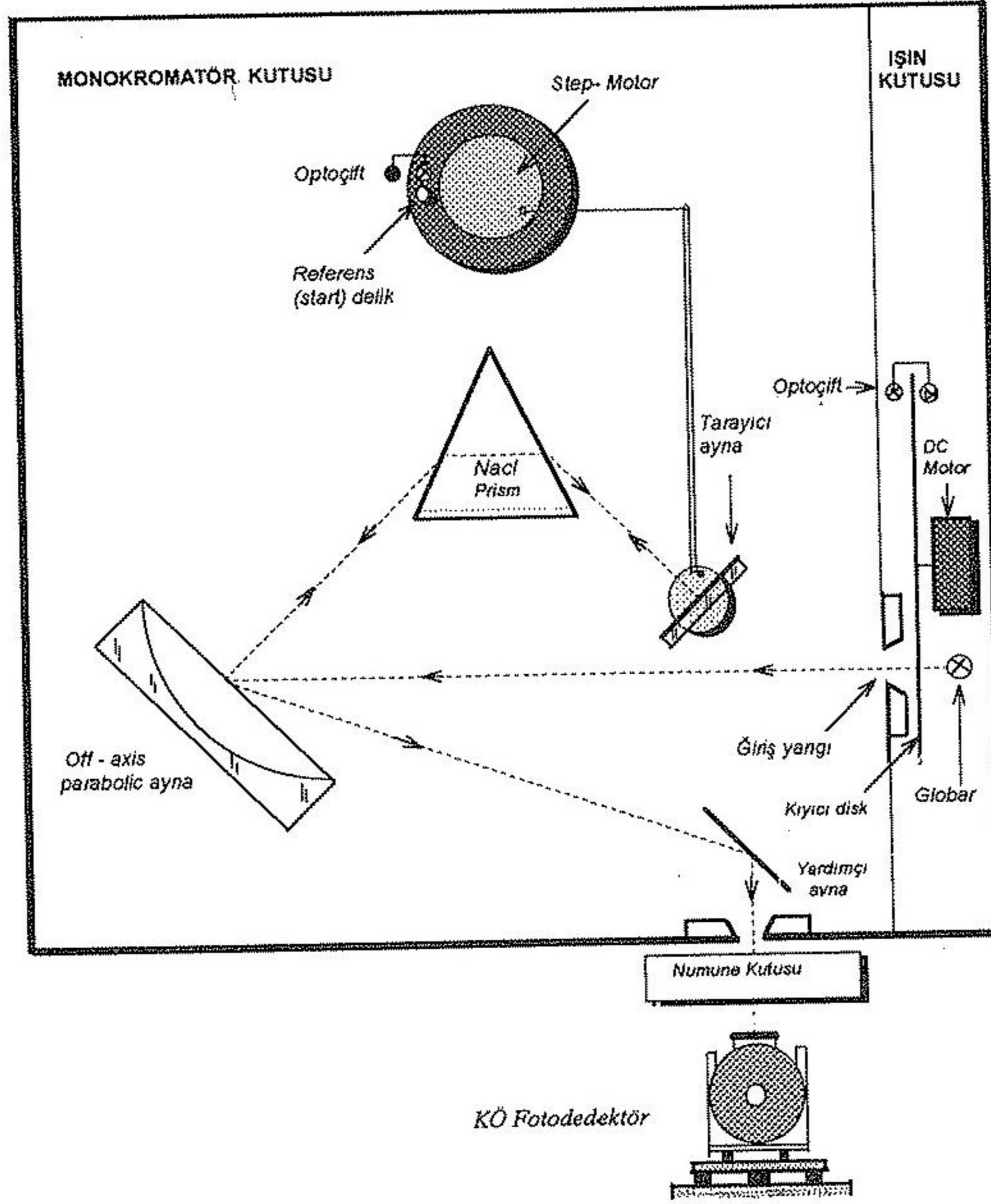
## ÖZET

*Bu bildiri UME'de gerçekleştirilen basit bir kızılötesi spektrometre düzenegi anlatılmaktadır. Spektrometrede ışık kaynağı olarak global, dedektör olarak yüksek hassasiyete sahip sıvı azot soğutmalı HgCdTe fotodiyot kullanılmıştır. Spektrometre ile 2-12 µm dalga boyu aralığında geçirgenlik, yansımaya ve spektral tepki ölçümleri yapılabilmektedir. Dalga boyu ayrışımı çift geçişli olarak sodyum-klorür (NaCl) prizma ile sağlanmakta, yüksek hassasiyet temini için genlik modülasyonu kullanılmakta, spektrum ayarlanması bilgisayar kontrollü adım-motoruyla temin edilmektedir. Ölçüm sonuçları dedektör çıkışına bağlanan önyükselteç devresinden geçirildikten sonra lock-in yükseltecinden alınmakta ve kontrol bilgisayarına uygulanmaktadır. Spektrometrenin ve ölçümlerde kullanılan aygıtların kontrolü için bir spektral analiz yazılımı gerçekleştirilmiştir. Kontrol bilgisayarı ile spektrometre iletişimi IEEE arabirim kartı ile sağlanmakta, adım-motorunun kontrolü için ise bir sayısal-analog çevirici kart kullanılmaktadır.*

*Spektrometrenin dalga boyu kalibrasyonu standard polysteren ince filmi ve kızılötesi filtre takımı ile yapılmış ve dalga boyu hassasiyeti 0.1 µm olarak tespit edilmiştir.*

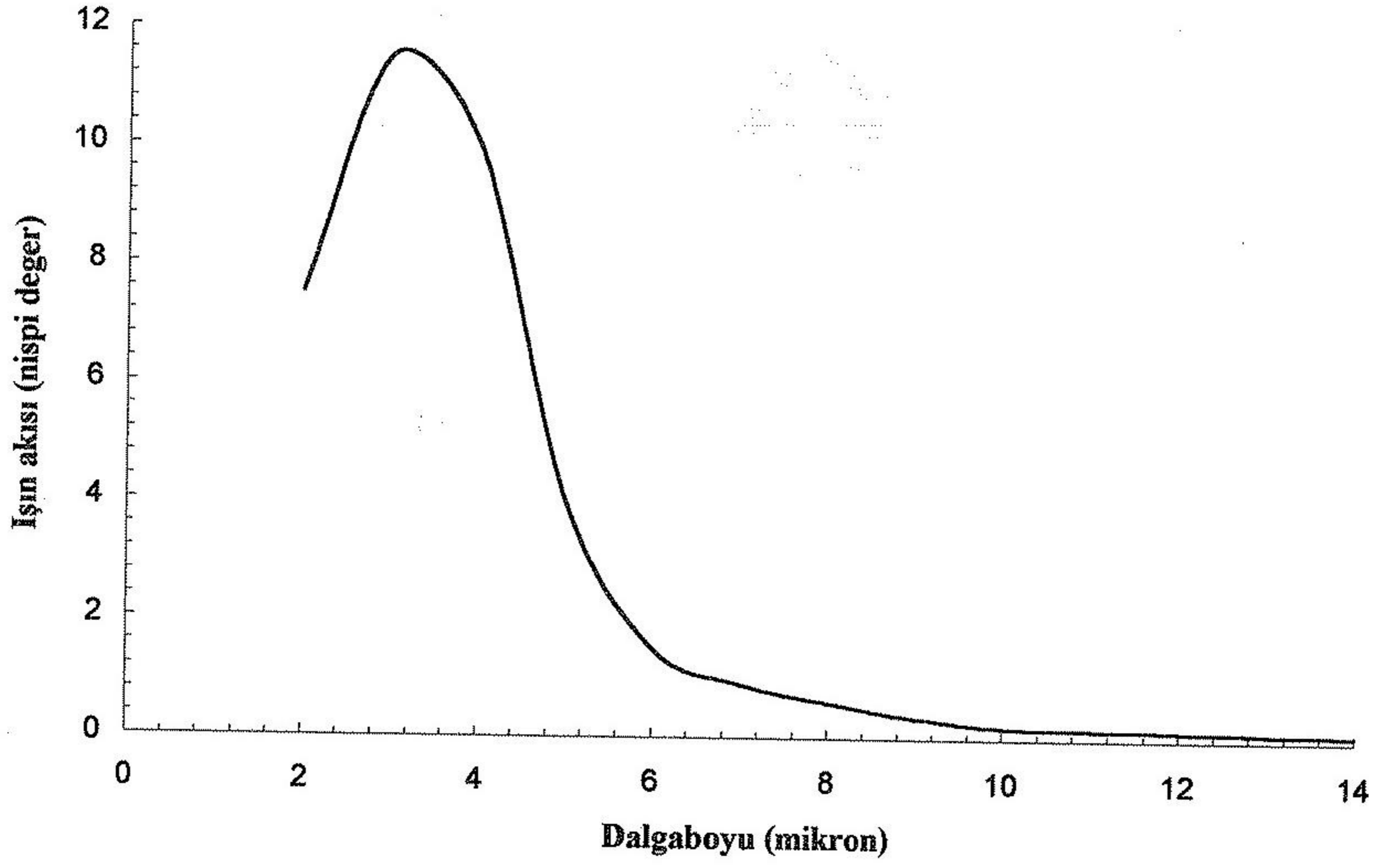
## 1. SPEKTROMETRENİN OPTİKSEL DÜZENEGİ

Spektrometre, monokromatör bölümü ve kaynak bölümü olmak üzere toplam iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil:1). Spektrometrede ışınım kaynağı olarak 5 cm uzunluğunda ve 0.5 cm çapında bir global kullanılmıştır. 100 Watt'lık bir güç kaynağı ile global için gerekli olan 12-18 volt arasında AC voltaj farkı ve 6-6.5 amper arasında bir akım yaratılmıştır. Global ışık kaynaklarının teknolojisine göre farklı direnc değerlerinde olabilir. Bu nedenden dolayı farklı numuneler farklı ışına sahiptirler. Buradaki Global ışınımın spektral yoğunluk eğrisi Şekil 2' de verilmektedir. Işının enerjisi çoğunlukla 6 µm dalga boyu bölgesi önünde yerleşmiştir. Ama spektrometrede kullanılan kızılötesi fotodiyotün spektral hassasiyeti maksimumu 6 µm dalga boyundan fazla olup, sonuçta çıkış sinyali yeterli kadar güçlü ve güvenilir olur. Cam optik elemanları, camın bu uzak kızılötesi bölgedeki iyi geçirgenlik eksikliği nedeniyle kızılötesi spektrometrelerde kullanılmaz. Bu kızılötesi spektrometrede kullanılan tüm yansıtıcı, odaklayıcı ve kollime edici optik elemanlar alüminyum kaplı camdan yapılmıştır. Prizma materyalleri kaya tuzudur (NaCl).

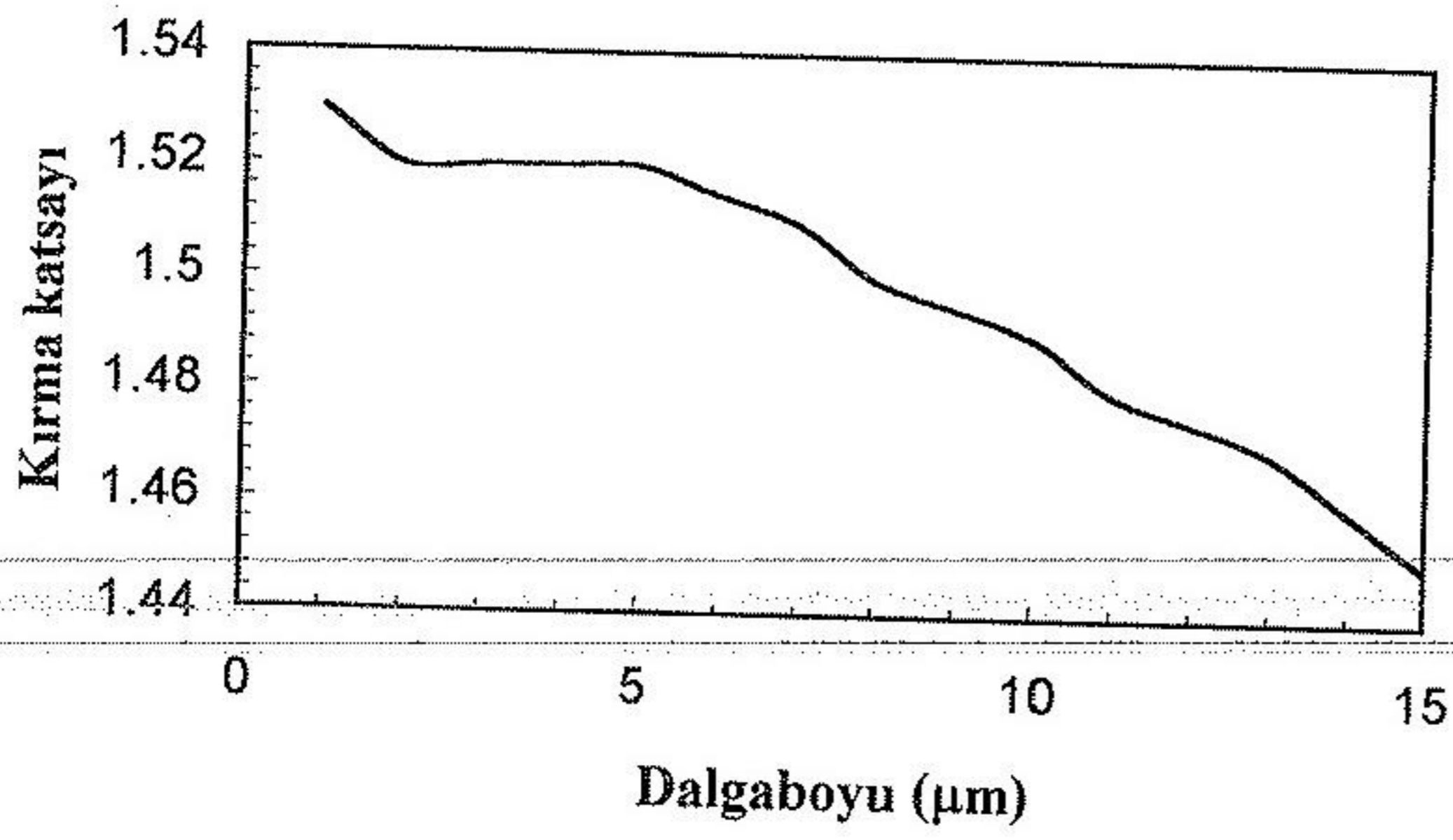


**Şekil 1. Kızılötesi (KÖ) Spektrometrenin optiksel düzeniği**

Kaya tuzunun 1 - 15  $\mu\text{m}$  bölgesindeki kırılma katsayısı Şekil 3' de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi optimal dispersion bölgesi 4  $\mu\text{m}$  dalga boyu civarındadır. Kullandığımız prizmanın tepe açısı  $60^\circ$ , eşit kenarları 60 mm ve yüksekliği 75 mm' dir. Kaynaktan çıkarak giriş yarığından giren ışın off-axis parabolik ayna aracılığı ile prizmaya yönlendirilir ( Şekil 1). Prizmadan kırılarak ayrılan demet, tarayıcı ayna aracılığı ile tekrar geri prizmaya ve oradan da off-axis parabolik aynaya gönderilir. Bu geri dönen ışın daha sonra yardımcı bir ayna ile çıkış yarığında nümune kutusuna girer. Kutu girişinde yer alan aynanın hareket serbestliliği geçirgenlik yada yansıtma seçimli ölçümlerinin yapılmasına olanak tanır. Nümune kutusundan çıkan ışın, odaklayıcı ayna yardımıyla fotodedektör tarafından alınır. Spektrometrede globarın özel tutacağı yapılarak, globar giriş yarığına mümkün olduğu kadar (3-4 mm) yakın tutulmuştur. Böylece odaklayıcı aynaların kullanımı ortadan kaldırılarak, spektrometrenin bu bölgesi çok basit ve küçük ölçülerde yapılmıştır. Sistemin hassaslığını arttırmak için spektrometrede genlik modülasyonu kullanılmıştır. Bunun için giriş yarığı ve globar arasında elektro-modülatörün kıyıcısı yerleştirilmiştir. Giriş yarığının genişliğinin kıyıcı disk'in deliklerinin genişliğine oranı 0.5' den fazla değildir. Belirlenen modülasyon frekansı yaklaşık olarak 850 Hz' dir.



Şekil 2. Global ışınımın spectral değişimi



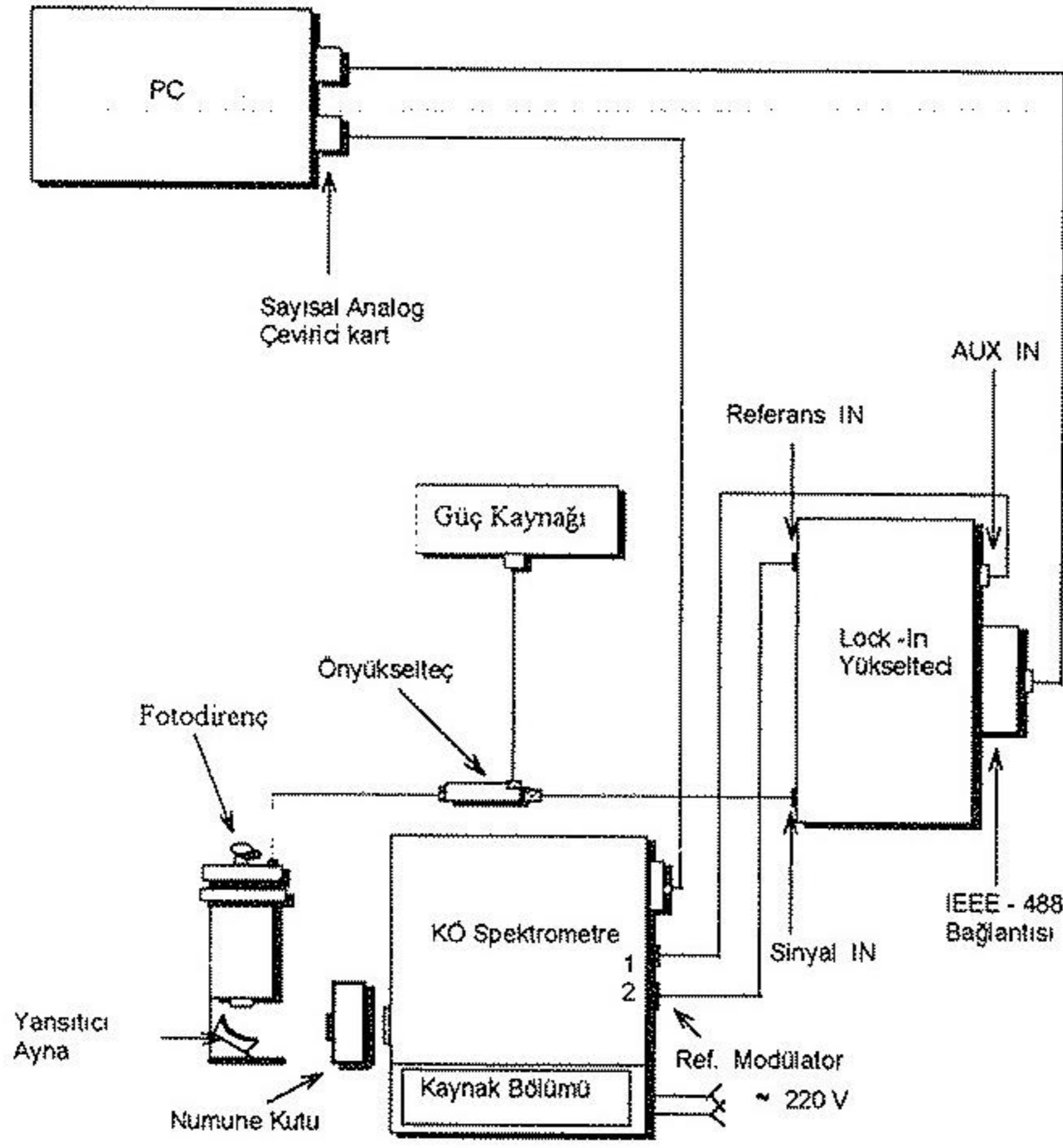
Şekil 3. NaCl kristalin kırma katsayısının dalgaboyu ile değişimi

Kurulmuş olan spektrometrede fotodedektör olarak sıvı azot ile soğutulan  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  fotodirenci kullanılmıştır. Bu yarıiletkenin molar ağırlığı  $x$ 'e bağlı olarak farklı band-gap genişliğine sahip olabilir.  $x$  değeri 0.18 - 0.22 aralığında seçildiğinde, yarıiletkenin sıvı azot sıcaklığında band-gap genişliği 0.1 eV civarında olur. Bu da spektral duyarlılığının maksimumunun  $10 \mu m$  'ye karşılık geldiğini ifade eder. Ölçümler sırasında kullanılan fotodirenç maksimumu  $10 \mu m$  'de olmak üzere  $2 \mu m$  ile  $14 \mu m$  'lik bölgede duyarlıdır. Ayrıca spektral eğrinin maksimumunda fotodedektörün duyarlılığı en az  $10^4$  V/W olup, duyarlı elemanın alanı  $0.1 \times 0.1$  mm<sup>2</sup> ve detektivite değeri  $D^* = 2 \times 10^{10}$  cm Hz<sup>1/2</sup> W<sup>-1</sup> 'dir. Bunların dışında 0.7 seviyesinde frekans aralığı  $2 \times 10^5$  Hz 'dir ve  $10^{-8}$  W ile  $10^{-2}$  W'lık optik güç bölgelerinde doğrusallık gözlenir. Fotodirenç, karartılmış dure-alüminyum koruma gövdesine yerleştirilmiş olan küçük cam soğuk haznesi (dewar) şeklinde imal edilmiştir. Gövdede yansımaları önleyen ve germanyum kristaldan yapılan giriş penceresi bulunmaktadır. Bu durumda bakış açısı en az  $60^\circ$  olmaktadır.

Monokromatörün tarayıcı aynası bir step-motor tarafından kontrol edilir. Step motorun ekseninde dalgaboyu ölçeğinin başlangıcını tetikleyebilecek bir delikli referans disk yerleştirilmiştir. Bu referans puls diske dayanan optoçift tarafından üretilir. Optoçift referans deliğe göre konumu koordinat ölçeğinin başlangıcı yüksek doğrulukla tekrarlanabilecek şekilde ayarlanmıştır.

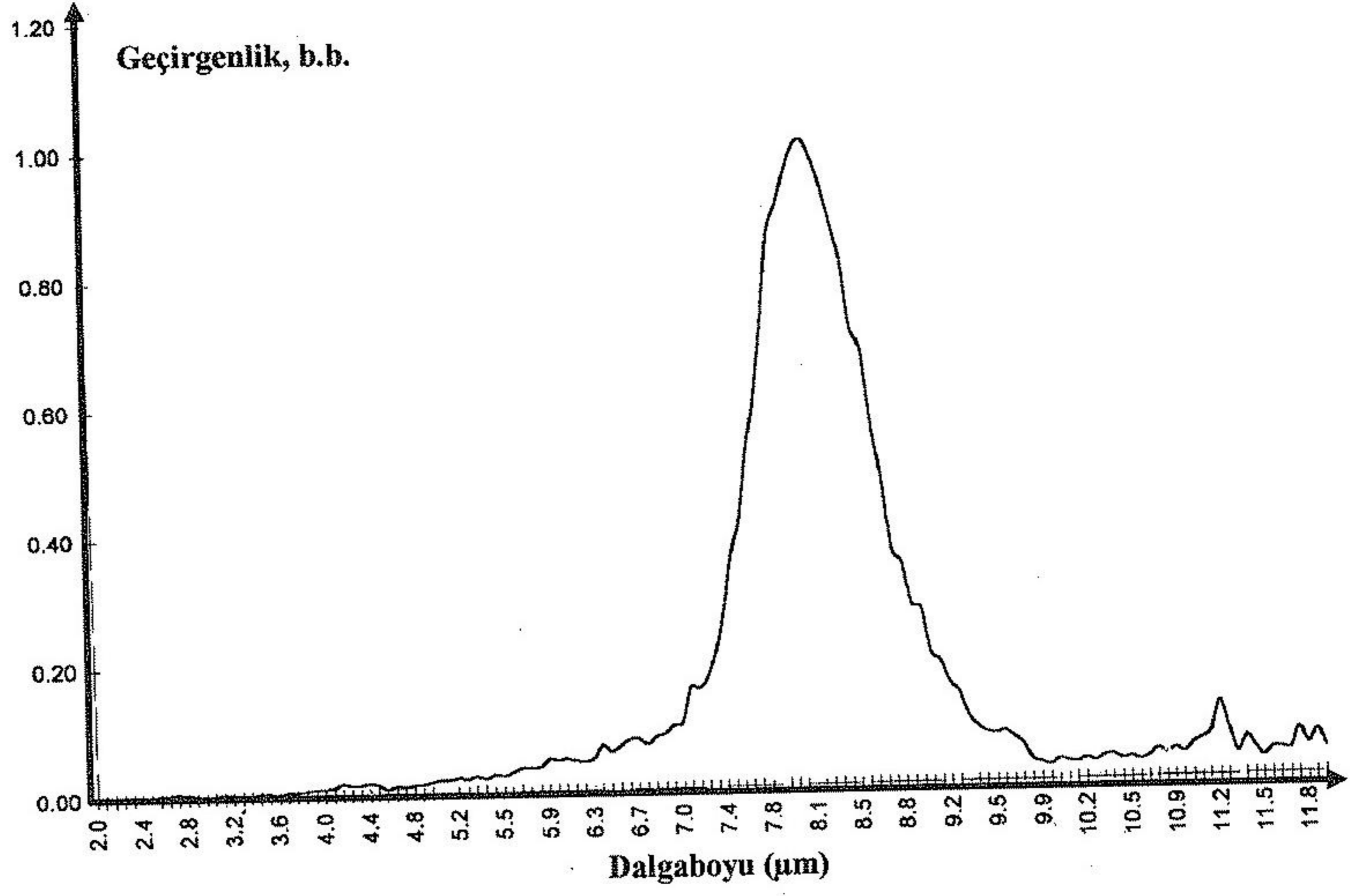
## 2. SPEKTROMETRENİN BAĞLANTI ŞEMASI

Spektrometre içerisindeki birleşimler Şekil 4'de gösterilmiştir. Fotodedektör, kazanç değeri 100 olan az gürültülü balans önyükselteciye bağlanmıştır. Önyükseltecin çıkışı lock-in-yükselteci'ne bağlanır (Stanford Research Model SR830). Önyükseltecin beslemesi ve fotodedektörün çalışma akımı özel olarak yapılmış olan kaynak tarafından sağlanmaktadır. Elektromekanik modulatörün referans optoçifti tarafından üretilen gerekli puls' lar lock-in-yükselteci 'nin referans girişine uygulanmaktadır. Ölçek başlangıcına karşılık gelen referans puls lar, aynı zamanda ölçek bitişi puls ları, sayısallaştırılmak üzere lock-in-yükselteci 'nin AUX-IN analog girişine uygulanır. Lock-in-yükselteci standart IEEE 488 bağlantısı kullanılarak bilgisayara bağlanır. Bir başka bağlantıda step-motor sürücüsü ile bilgisayar arasında sağlanır. Tarayıcı ayna mekanizması, step-motorun tam bir dönmesi sırasında spektrum başlangıçtan sonuna kadar ve geriye sondan başlangıca kadar, iki defa kaydedilecek şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçların daha sonra ortalaması alınır. Ölçümler, step-motorun iki adımları arasında yapılmaktadır ve buna uygun olarak lock-in-yükselteci 'den zaman sabiti seçilir. Step-motor hızlı ve yavaş olmak üzere iki farklı modda çalışabilmektedir. Buna uygun gelen entegrasyon süresi ya 0.3 s yada 1.0 s olarak seçilir.

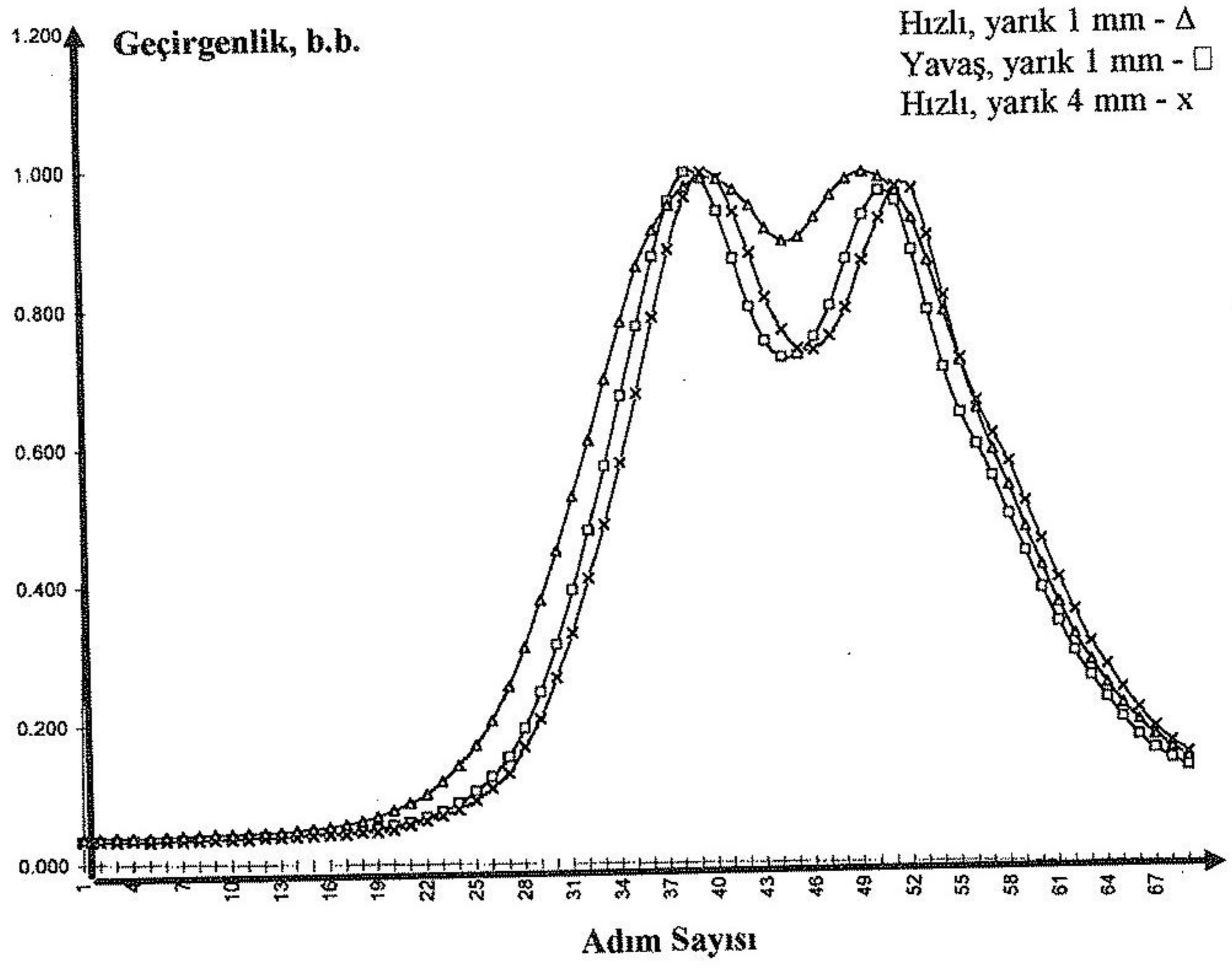


**Şekil 4. KÖ-Spektrometre bağlantı şeması**

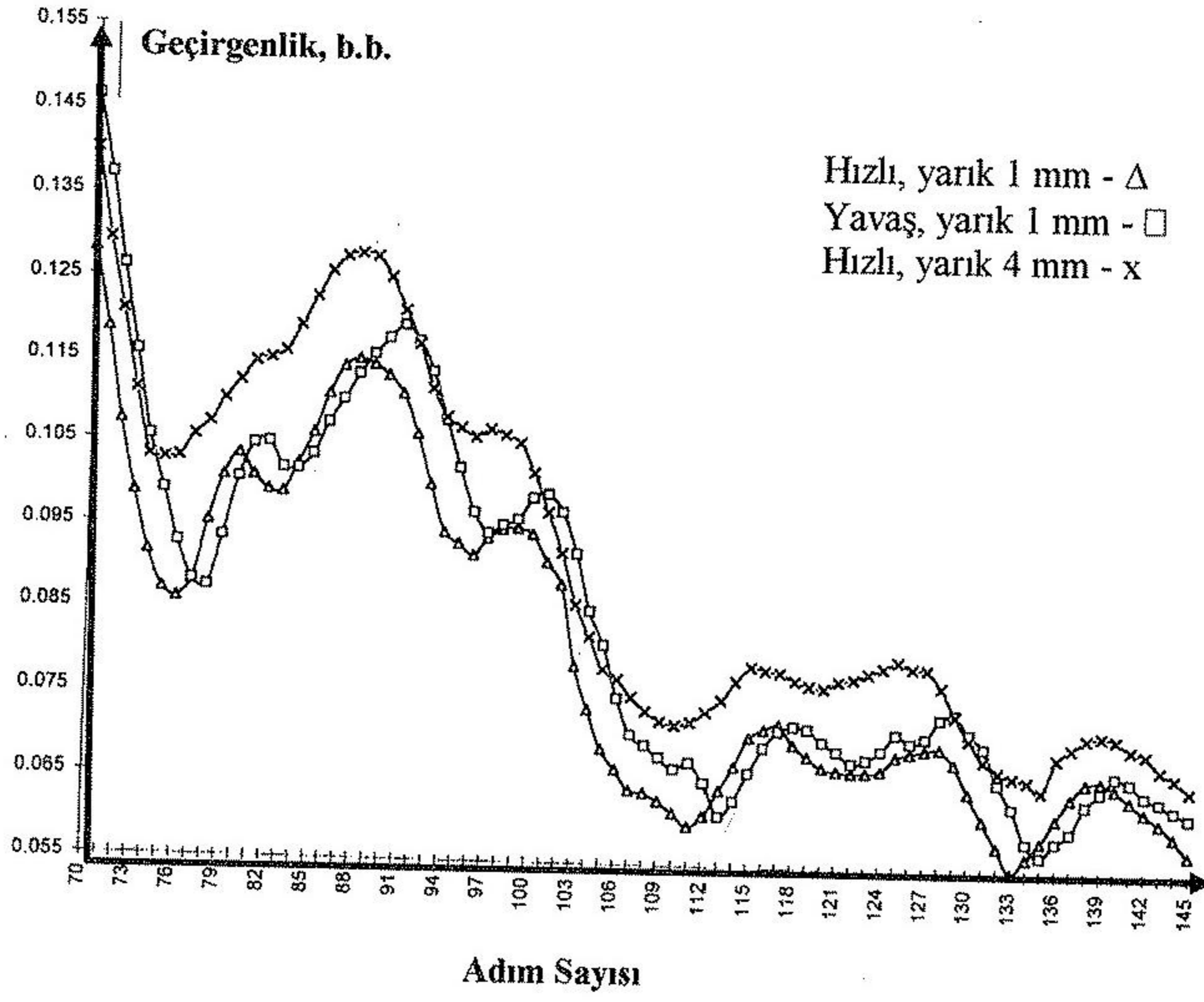
Spektrometrenin dalgaboyu kalibrasyonları  $4.72\mu\text{m}$ ,  $6.72\mu\text{m}$ ,  $7.42\mu\text{m}$ ,  $8.06\mu\text{m}$ ,  $8.16\mu\text{m}$ ,  $10.52$  ve  $12\mu\text{m}$  lik dalgaboyu kızılötesi filtreler seti kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 5 'de bu filtrelerden bir tanesinin tipik geçirgenlik spektrumu gösterilmiştir. Kalibrasyon sırasında filtrenin geçirgenlik maksimumuna karşılık gelen adımın numarası belirlenir. Daha sonra  $0.025\text{ mm}$ 'lik standart polysteren filmin geçirgenlik spektrumu kaydedilir. Farklı yarıklık genişliklerinde ve entegrasyon modlarında kaydedilmiş olan spektrumlar, Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Bu spektrumların standart spektrumla karşılaştırması birkaç yeni  $4.25\mu\text{m}$ ,  $6.69\mu\text{m}$ ,  $8.66\mu\text{m}$ ,  $9.72\mu\text{m}$  ve  $11.03\mu\text{m}$  gibi yutulma çizgilerinin belirlenmesini sağlar. Bunlardan atmosferik çizgi olan  $4.25\mu\text{m}$ 'nin dışında diğerleri polysterenin bilinen standart çizgileridir. Tüm bu noktalar koordinat düzlemine yerleştirilmesi ve gerekli ekstrapolasyonun yapılmasından sonra spektrometrenin dispersiyon özelliğini temsil eden grafik elde edilir (Şekil 8).



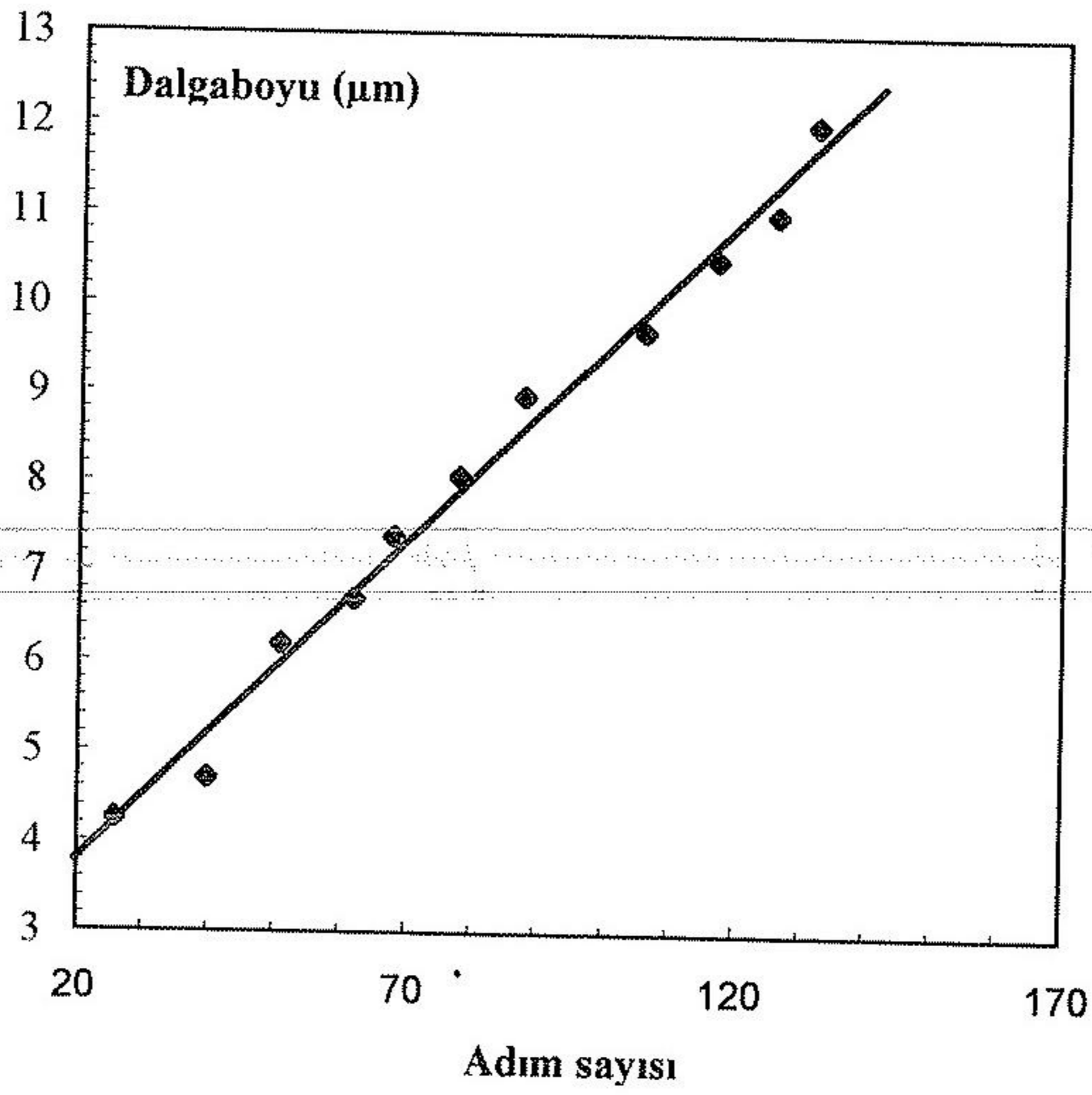
Şekil 5. 8.06  $\mu\text{m}$ 'lik filtre geçirgenliği



Şekil 6. Polystyren film için geçirgenlik spektrumu



Şekil 7. Polysteren film için geçirgenlik spektrumu



Şekil 8. Spektrometrenin dispersiyon eğrisi