

DÜZGÜN YANSIMA VE PARLAKLIK ÖLÇÜMLERİNDE İŞIK KAYNAĞI POLARİZASYONUNUN ETKİLERİ

İzmir MAMEDBEYLİ, Zafer ÜREY
TÜBİTAK-Uluslararası Metroloji Enstitüsü (UME)

ÖZET

Düzenli yansima ve parlaklık ölçümleri için ilk bakişa oldukça basit bir düzeneğin yeterli görünebilmektedir. Böyle bir düzeneğin bir ışık kaynağı, paralelleştirici ve odaklayıcı optik elemanlar, açısal ayar parçası ve detektör kullanılarak gerçekleştirilmesi mümkündür. Ancak spektral düzgün yansima ve parlaklık ölçümlerinde genellikle monokromatik ışık kaynakları kullanılması gereğinden, bu kaynakların polarizasyon durumlarının mutlaka gözönüne alınması gereklidir.

Bu bildiride spektral düzgün yansima ve parlaklık ölçümlerinde ışık kaynağı polarizasyonun etkileri incelenmektedir. Farklı monokromatik ışık kaynaklarının farklı polarizasyon durumları sergilemeye oldukları, bu nedenle polarizasyon bileşenleri ayırtılmadan yapılan düzgün yansima ve parlaklık ölçümlerinde hatalı sonuçlar alınabileceği tespit edilmiştir. Polarizasyona bağlı ölçüm belirsizliklerinin azaltılabilmesi için kaynaktan gelen ışığın düzlemine dik ve paralel yönlerdeki polarizasyon bileşenlerinin ayırtılması, spektral yansima veya parlaklık ölçümünün her iki bileşen için ayrı ayrı yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların ortalamasının alınması gerekmektedir. Ölçümler parlak düzgün yüzeyli siyah cam malzeme ile, 400-700 nm bölgesinde ve 20° açıda yapılmıştır.

1. TEORİK ESASLAR

Optik ölçümelerde ışınının polarizasyon durumu genellikle sonuçları ciddi şekilde etkiler [1,2]. Polarizasyonlu ışınının bir yüzeyden yansımı sonucu polarizasyon bileşenlerinde oluşan etki Fresnel denklemleri ile belirlenir. Bu bildiride, spektral düzgün yansima ve parlaklık ölçümelerinde ışık kaynağı polarizasyonun etkileri incelenmektedir. Bildirinin bundan sonraki bölümünde fotometrik bölge olarak tanımlanan 380nm-780nm spektral aralığındaki elektromanyetik ışının ele alınacaktır. Bu bölgedeki ışının ışık olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar genel olarak elektromanyetik spektrumun morötesi (UV) ve kıızılıtesi (IR) bölgeleri içinde geçerlidir.

Fresnel denklemlerine uygun olarak, polarize olmayan bir ışık kaynağından gelen ışığı yansıtan bir yalıtkan (dielektrik) yüzey

$$\rho(u) = \frac{\rho_p + \rho_s}{2} \quad (1)$$

yansıtma katsayısına sahiptir. Bu eşitlikte,

$$\rho_p = \left[\frac{n^2 \cos \alpha - (n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2}}{n^2 \cos \alpha + (n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2}} \right]^2, \quad \rho_s = \left[\frac{(n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2} - \cos \alpha}{(n^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2} + \cos \alpha} \right]^2 \quad (2)$$

ilgili dikey ve yatay bileşenler (2)'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır, n yalıtkan maddenin kırılma endeksini, α ise ışığın yüzey normaline düşme açısını ifade etmektedir. ışığın düştüğü yüzey ile polarizasyon düzlemini arasındaki açı q olarak tanımlandığında, doğrusal polarizasyon durumu için yansıtma katsayıısı,

$$\rho(l) = \rho_p \cos^2 \theta + \rho_s \sin^2 \theta \quad (3)$$

olarak tanımlanır. Gelen ışık kısmi polarizasyona sahip bir ışık ise, polarizasyon derecesi

$$P = \left[\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \right] \quad (4)$$

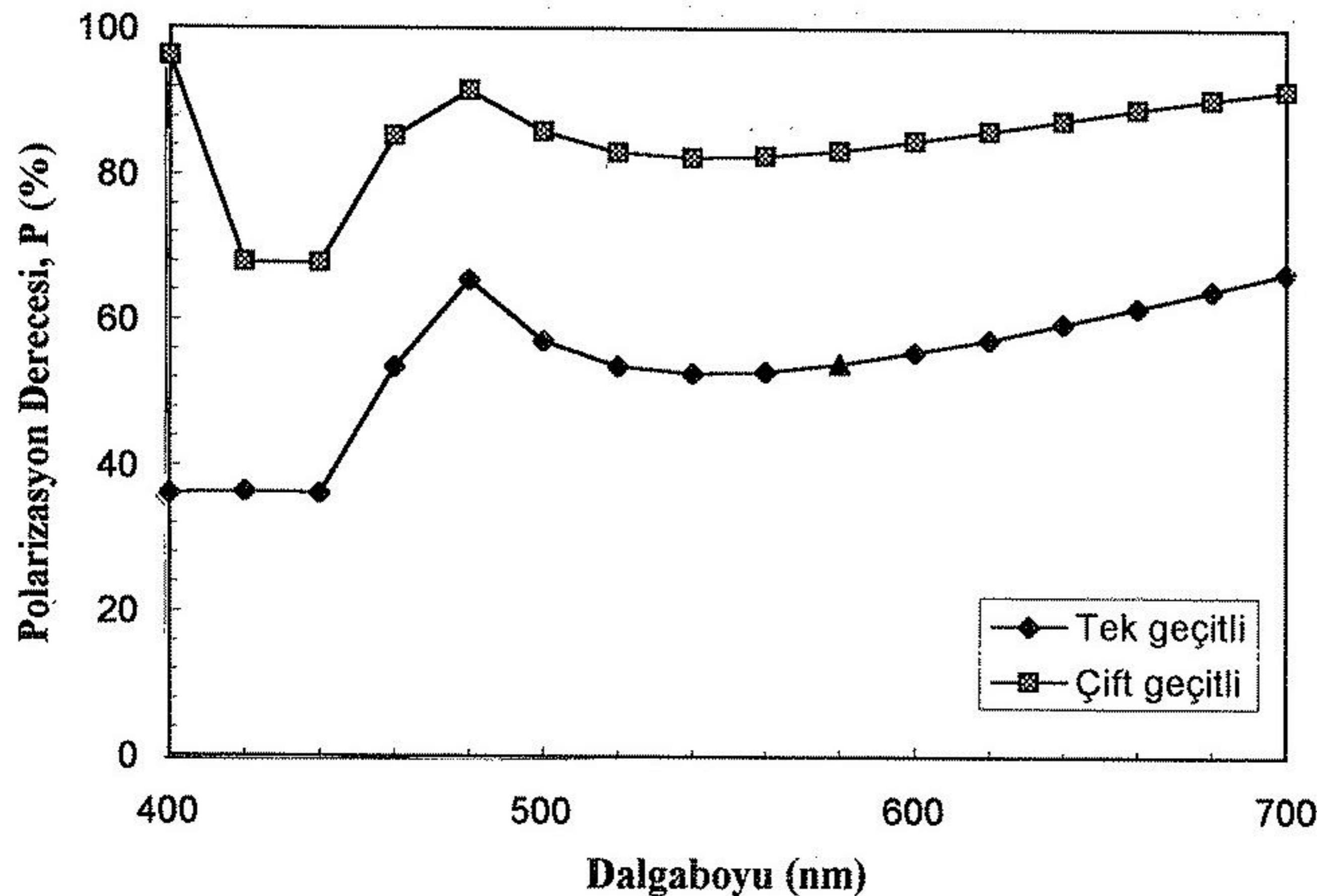
olarak tanımlanır. Bu eşitlikte I_{\max} ve I_{\min} ışık detektörünün 360° derece döndürülmesi sonucu algılanan en yüksek ve en düşük ışık değerlerini ifade etmektedir.

Spektral optik amaçlı cihazlarda genel olarak aynalar, mercekler ve dalgaboyu ayırtıcı (dispersive) elemanlar kullanılır. Bu tür cihazlarda polarize olmayan bir ışık kaynağından gelen ışık bu elemanların yüzeylerinden yansığında veya diğer yüzeye geçerken kısmen polarize olacaktır. Polarizasyon derecesi genel olarak kullanılan optik eleman sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bu elemanlar içerisinde gelen ışığın en fazla polarize olmasına difraksiyon kafesleri (diffraction grating) neden olmaktadır. Difraksiyon kafesinin ön yüzeyinden yansyan ışık, kafesin çizgilerine paralel olan düzlemede kısmen polarize olur. Öte yandan difraksiyon kafesinin iç yüzeyinden olan yansımının polarizasyonu ağırlıklı olarak kafesin çizgilerine dikey düzlemededir. Dalgaboyu değiştirilmesi difraksiyon kafesinin gelen ışığa göre çevrilmesi, veya ışığın düşme açısının değiştirilmesi ile sağlanabilir. Doğal olarak bu durumda yansyan ışığın polarizasyon derecesi değişecektir.

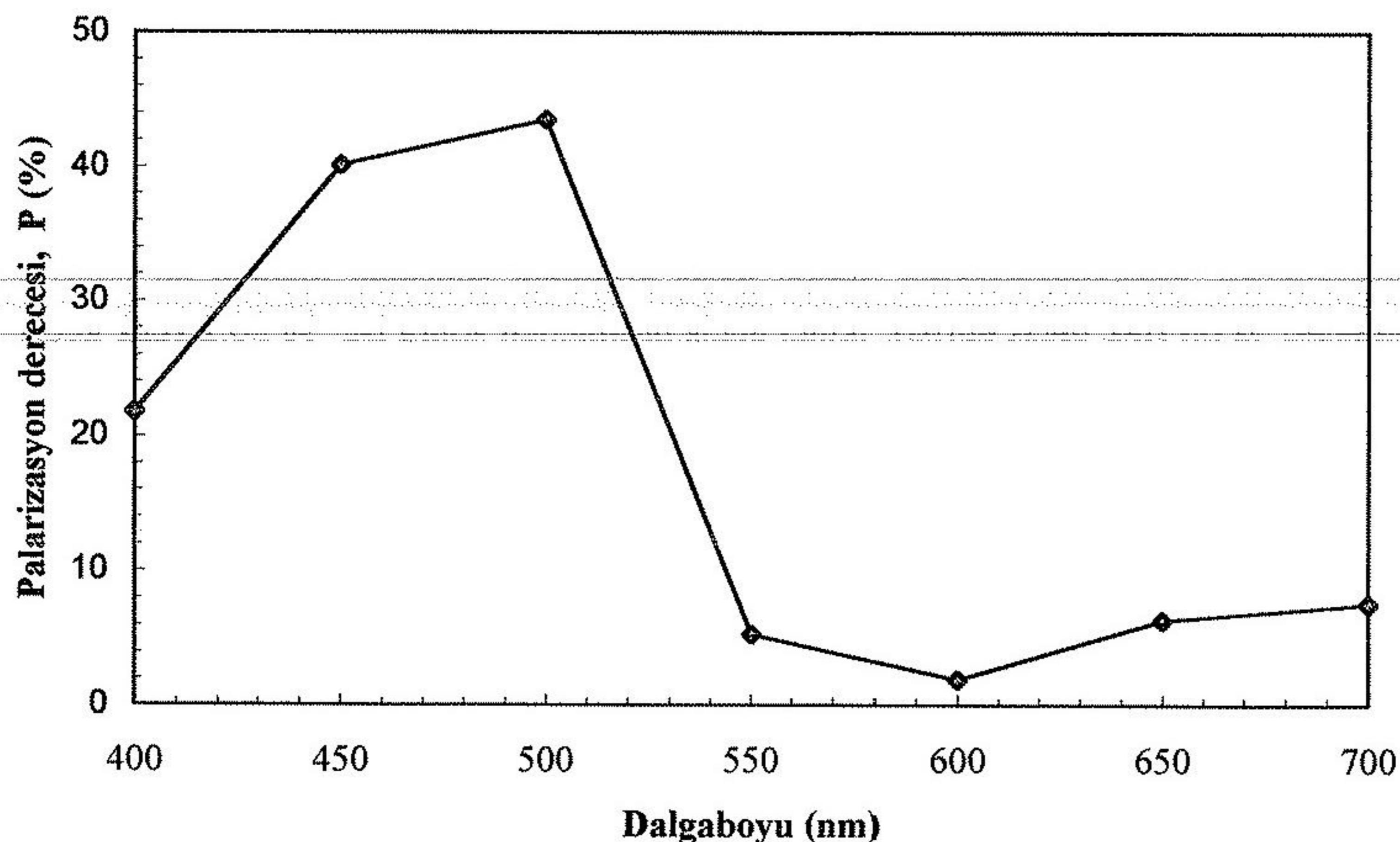
Şekil 1'de Ulusal Metroloji Enstitüsünde kullanılan, difraksiyon kafesli, çift geçişli, Bentham DTM 300 monokromatörünün çıkışında ölçülen polarizasyon derecesinin spektral dağılımı gösterilmektedir. Monokromatörün birinci geçiş biriminin çıkışında ölçülen en yüksek polarizasyon derecesi % 66 (tek geçiş eğrisi), ikinci geçiş biriminden sonra ise % 96.2 (çift geçiş eğrisi) olarak belirlenmiştir. Bu ölçümler Jarrell Ash tek geçişli monokromatörü için tekrarlandığında (Şekil 2), bu monokromatör için en yüksek polarizasyon derecesi % 44 olarak bulunmuştur. Bu monokromatörün polarizasyon derecesinin 550 nm'nin üzerindeki dalga boylarında çok düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki doğal olarak her monokromatör farklı düzeylerde polarizasyon derecesi sergilemektedir. Bunun nedeni, daha önceden de debynildiği üzere, monokromatör tasarımindan kullanılan yöntemden veya difraksiyon kafesinin parametrelerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 3'de, DTM 300 monokromatörü için, çift geçişten sonra elde edilen ışığın polarizasyon derecesi, r_p ve r_s bileşenleri olarak, ayrı ayrı gösterilmektedir. Difraksiyon kafesi cam iç yüzeyi üzerinde oluşturulan metal çizgilerle oluşturulmaktadır. r_p bileşeni metal çizgilerden

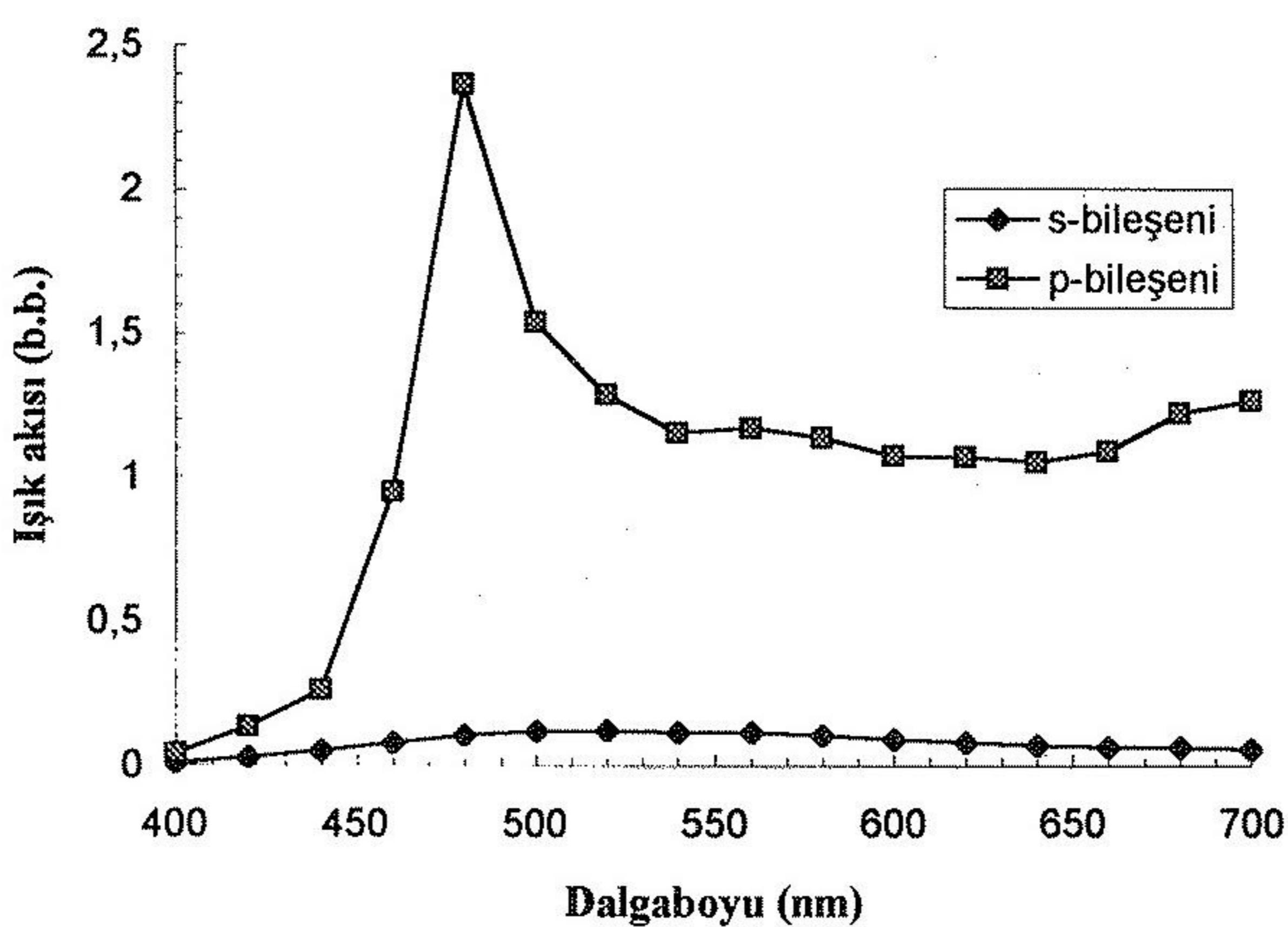
yansıyan ışık akısı, P_s bileşeni ise cam iç yüzeyinden yansıyan ışık akısı ile orantılıdır. Şekil 3' den görülebileceği üzere r_s bileşeni, r_p bileşenine göre çok daha küçük olarak ölçülmüştür. Bu bileşen spektral bölgede hemen hemen hiç değişiklik göstermemektedir.



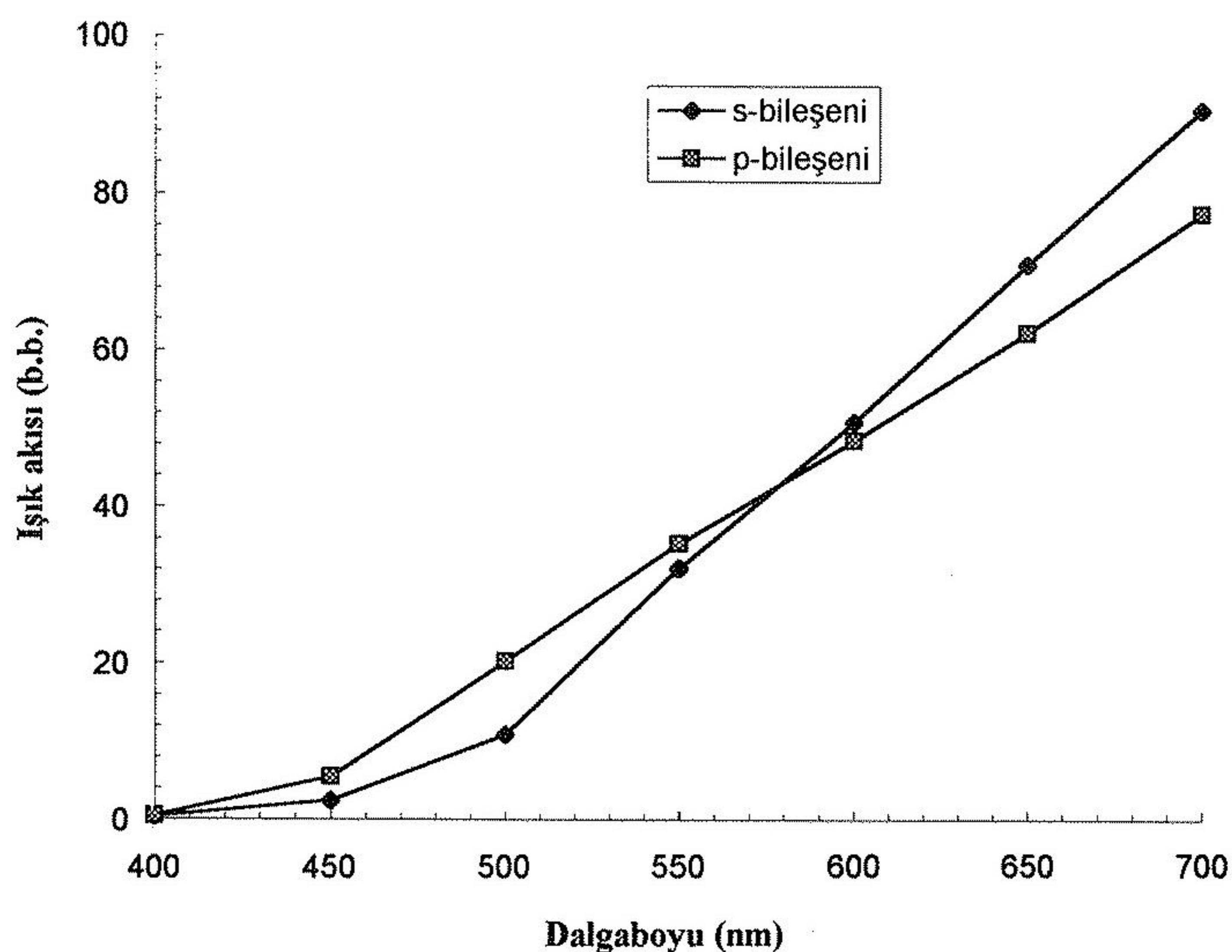
Şekil 1. DTM 300 için polarizasyon derecesinin dalgaboyuna göre değişimi



Şekil 2. Jarrell Ash Monokromatörü için polarizasyon derecesinin dalgaboyuna göre değişimi



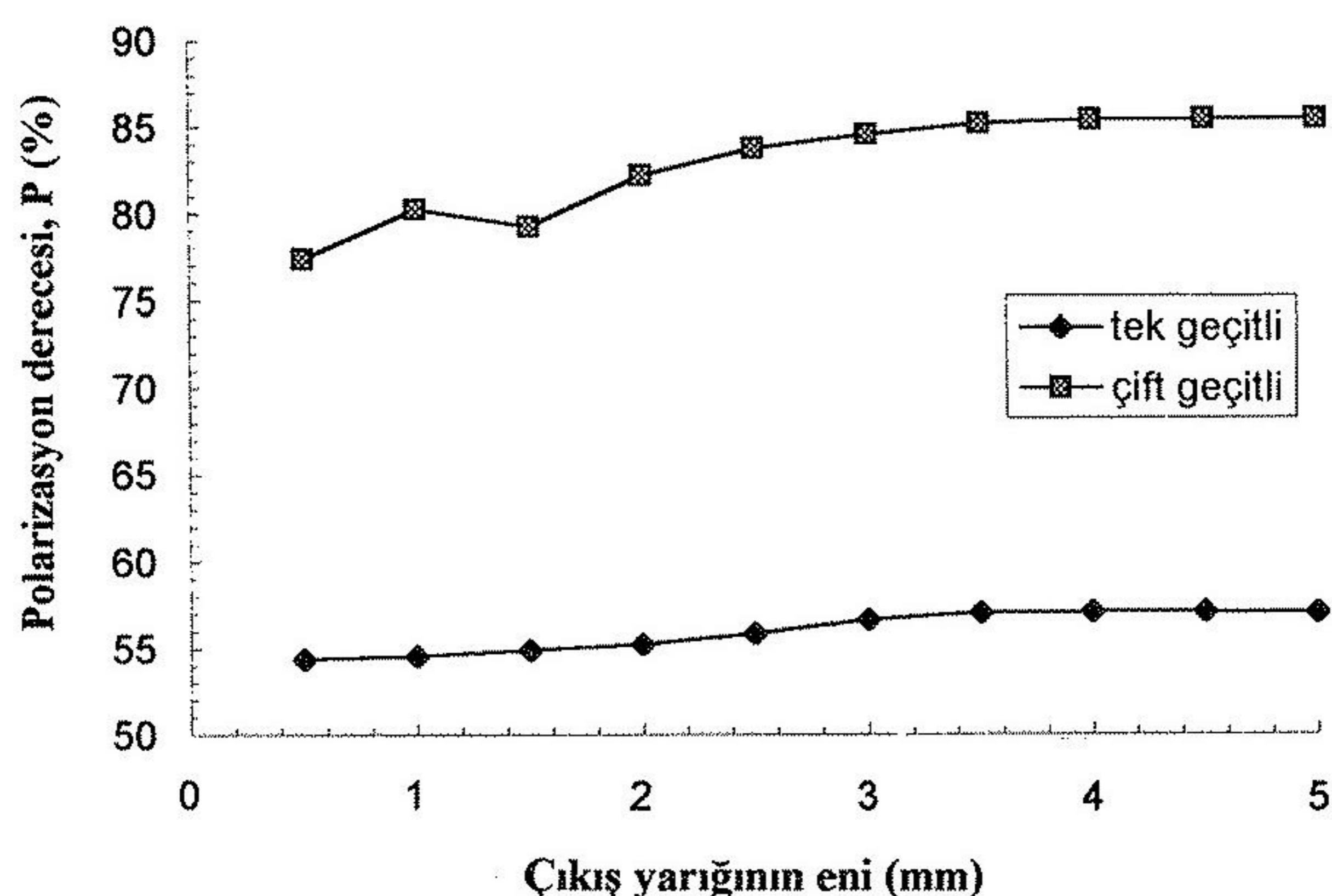
Şekil 3. DTM300 monokromatörü için polarizasyon bileşenlerinin spektral değişimi



Şekil 4. Jarrell Ash tek geçitli monokromatör için polarizasyon bileşenlerinin spektral değişimi

Jarell Ash tek geçişli monokromatör için, r_p ve r_s bileşenlerinin genlikleri yaklaşık olarak aynı düzeyde çıkmıştır (Şekil 4). Bunun nedeni, difraksiyon kafesi profilinin dikdörtgen şeklinde olmasından ve bunun sonucu olarak r_s bileşeninin DTM 300 monokromatörüne oranla daha yüksek olmasından dolayıdır.

Fotometrik spektral ölçümelerde, uygulanan işin spektral bant genişliği önemli bir etki yapabilmektedir. Bant genişliği genel olarak kullanılan cihazın doğrusal ve açısal dispersiyon parametrelerine, ve cihaza ışık giriş, çıkışını temin eden dikdörtgen açığının boyutlarına bağlıdır. Bu parametrelerin etkilerini araştırmak amacıyla DTM 300 monokromatörü için bir dizi ölçümler gerçekleştirılmıştır. Sonuçlar Şekil 5'te verilmektedir. Hem tek geçiş, hemde çift geçiş konfigürasyonları için, çıkış yarığının açığı 0.5 mm ile 5mm aralığında değiştirilmiş, 589 nm dalga boyunda, polarizasyon derecesinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu dalgaboyunun neden seçildiği konusuna parlaklık ölçümleri ile ilgili aşağıdaki bölümde açıklık getirilecektir.



Şekil 5. Polarizasyon derecesinin çıkış yarığının enine göre değişimi

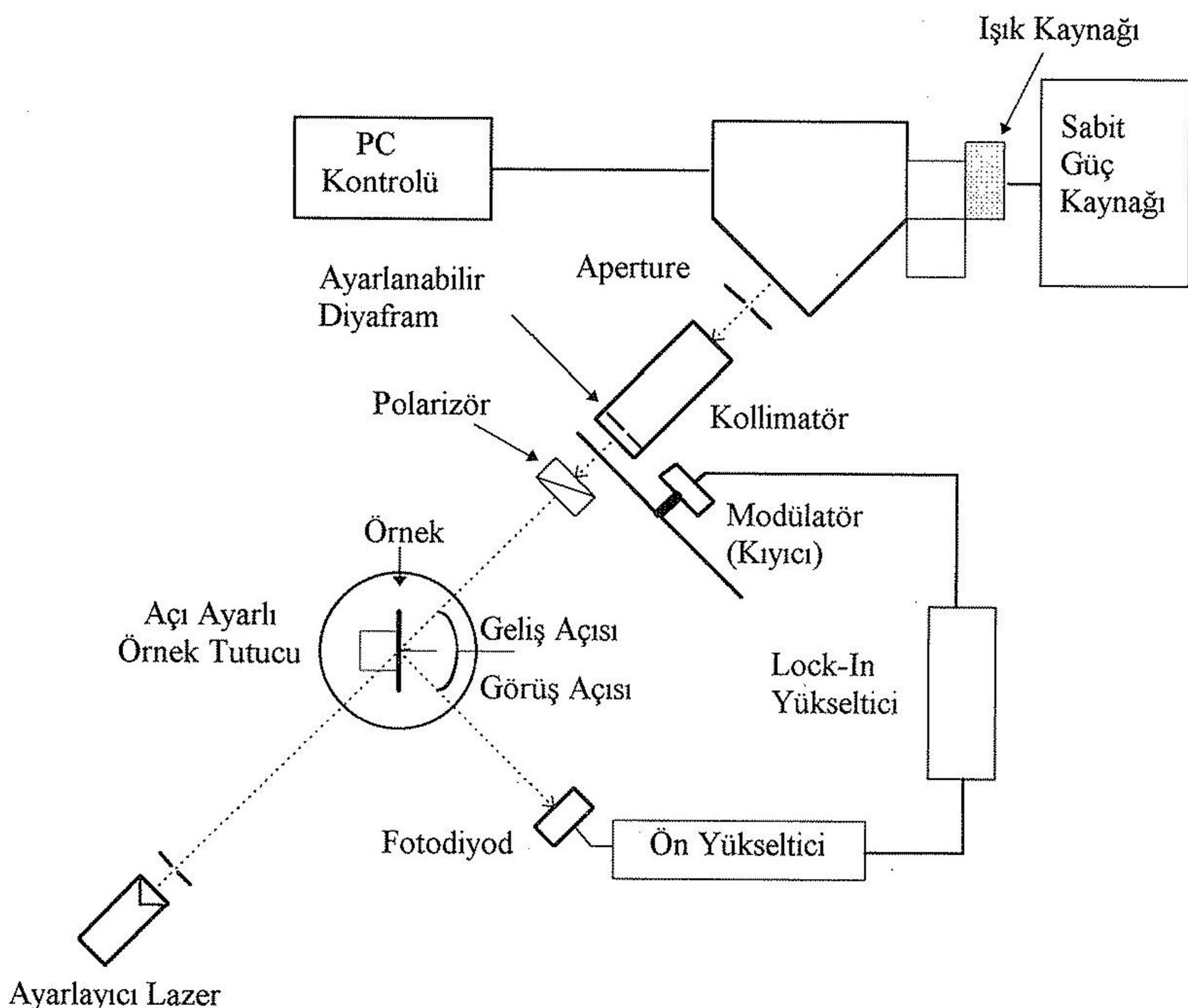
2. PARLAKLIK (GLOSS) ÖLÇÜMLERİ

Son yıllarda parlaklık ölçümleri konusunda sanayiden gelen taleplerde artışlar olmaktadır. Mevcut standart yöntemler kullanıldığında, parlaklığını ölçülmesi istenilen malzeme öncelikle 20, 60 ve 85 derece açılar altında referans bir yüzey ile karşılaştırmalı ölçüme tabi tutulmaktadır. Standart dışı olarak 45 ve 75 derece açılarda da parlaklık ölçümleri zaman zaman talep edilmektedir. Primer standart olarak kullanılan referans parlaklık standartları, 589 nm ışık için kirılma indeksi 1.567 olan siyah camdan elde edilmektedir. Böyle bir numune primer standart olarak kullanıldığından, parlaklık değeri tüm açılar için 100 olarak kabul edilir[3,4].

(1) ve (2) nolu eşitlikler kullanılarak primer bir numune için, örneğin 20° açı altındaki, yansıtma katsayısı 0.04908 olarak hesaplanır. Genel olarak, eğer ölçülen bir numunenin yansıtma katsayısı r_0 olarak kabul edilirse, numunenin parlaklığı, G ,

$$G = (\rho_0 / 0.04908).100 \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu hesaplamalar diğer açılar içinde benzer şekilde yapılabilir. Bilindiği üzere kırılma endeksi 1.5 olan cam malzemeler için Brewster açısı 57° ye karşılık gelmektedir. Bu nedenle 60° açı altında yapılacak parlaklık ölçümlerinde polarizasyon hassasiyeti özellikle önem taşımaktadır.



Sekil 6. Parlaklık ve düzgün yansımı ölçümleri düzeneği

Çeşitli açılar altında parlaklık ölçümlerinin yapılabileceği bir ölçüm düzeneği Ulusal Metroloji Enstitüsünde geliştirilmektedir (Şekil 6). Düzenekte, 589 nm dalga boylu ışık monokromatör çıkışından alınıp önce sabit bir diyaframdan geçirilir. Daha sonra, ışık demeti bir kollimatörden geçirilip paralel hale getirilmekte, ve ayarlanabilir bir diyaframdan geçirildikten sonra numune üzerine uygulanmaktadır. ışık demetine ayrıca bir modülatör ile genlik modülasyonu uygulanmakta, ve ışık numuneye uygulanmadan önce bir polarizasyon ayarlayıcısından geçirilerek istenilen polarizasyonun seçilmesi sağlanabilmektedir. Parlaklılığı ölçülecek olan numune, kendi ekseni etrafında dönen, hassas açı ayarlı, bir platform şeklindedir. Nümunenin bu platform üzerine, kolayca takılıp çıkarabilecek, bir tutucu aracılığı ile monte edilmektedir.

Temel olarak bir monokromatör ve hassas açı ayarlı bir numune platformundan oluşan parlaklık düzeneği, uzak mesafeden gönderilen bir laser ışığı ile kalibre edilmektedir. Yansıma ölçümlerinde, numuneden yansyan ışık demeti bir fotodetektör tarafından algılanarak, lock-in yükselteci aracılığı ile modülasyon frekansında ölçülmektedir.

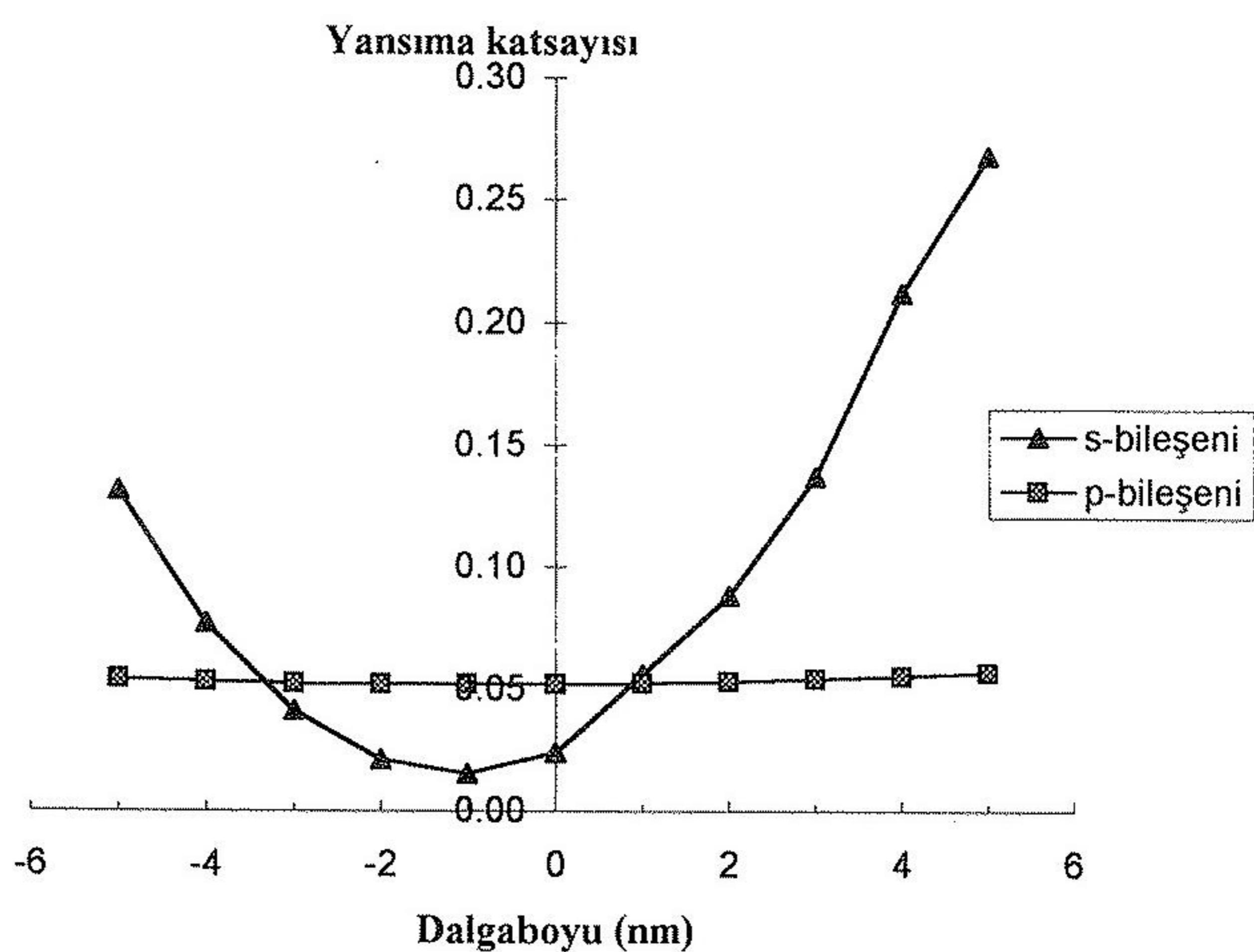
Ölçüm işlemi esas olarak, r_p ve r_s polarizasyon durumlarına denk gelen, 0° ve 90° polarizasyon düzlemlerinde yansıtma değerlerinin belirlenmesi, daha sonra ise (1) ve (2) kullanılarak yansıma katsayılarının hesaplanmasıdır. Eğer polarizasyon düzlemi ile ışığın numune üzerine düşme düzlemi arasında azimut açısı, q , mevcutsa, o zaman yansıma katsayı (3) eşitliği ile hesaplanır.

Azimut açısının doğru olarak belirlenmemesi sonuçlarda önemli hatalara yol açabilmektedir. Şekil 7'de yansıma katsayılarının bileşenlerinin (r_p ve r_s) azimut açısına bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir. Bu sonuçlar 20° düşme açısı için azimut açısı -5° ile $+5^\circ$ arasında değiştirilmek suretiyle elde edilmiştir. Şekil 7'deki sonuçlardan r_p bileşeninin sabit kaldığı, buna karşın r_s bileşeninin azimut açısından değişikliklerden ötürü derecede etkilendiği görülmektedir.

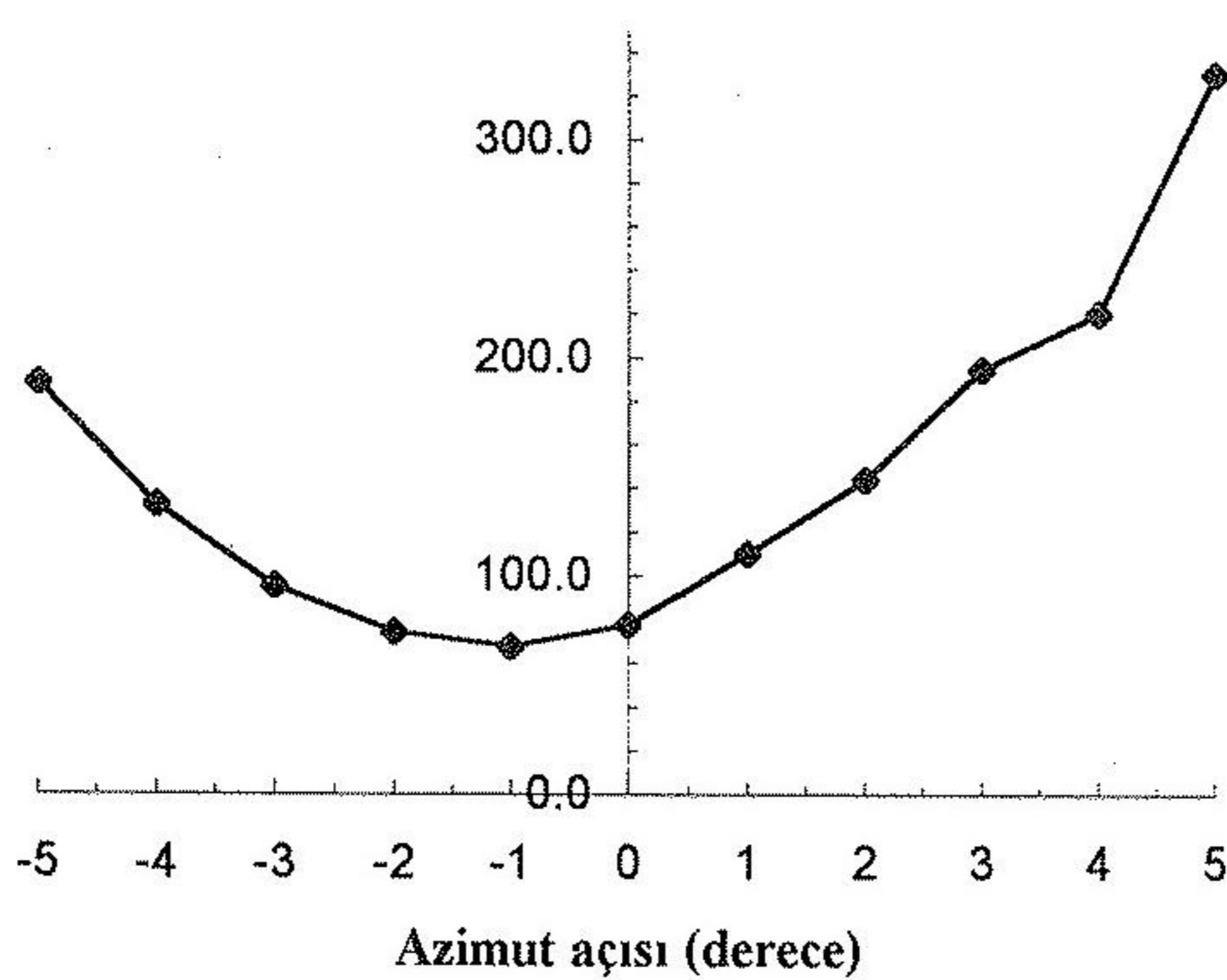
Parlaklık değerinin azimut açısına göre değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Sonuçlardan azimut açısından çok küçük değişikliklerin (1°) bile parlaklık ölçüm sonuçlarını ciddi şekilde etkileyebileceğini görülmektedir. Sonuç olarak, yansıma veya parlaklık ölçümlerinde öncelikle azimut açısına bağlılık, $r(q)$, incelenmelidir. Sıfır noktasındaki kayma oranında dikkate alınarak gerekiyorsa bu parametrelerden kaynaklanan hatalar için sonuçlar üzerinde gerekli düzeltme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. W.Budder, Appl. Opt., 18, N 13, (1979)
2. R.Goebel, S.Yılmaz, R.Pello, Metrologia, 33 (1996) 207.
3. ASTM E430-91 Standard: Test Methods for measurement of gloss of high-gloss surfaces.
4. JIS Z 8741 - 1983 : Methods of measurement for specular glossiness.



Şekil 7. Yansıma katsayısının azimut açısı göre değişimi



Şekil 8. Parlaklık değerinin azimut açısı ile değişimi