

TMMOB Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi
III.Ulusal Ölçübilim Kongresi 7-8 Ekim 1999 Eskişehir-Türkiye

FOTOMETRİK ÖLÇÜ CİHAZLARI ÖLÇÜM HATA KAYNAKLARININ İNCELENMESİ VE KALİBRASYON TEKNİKLERİ

Gazanfer Birdal

Izmir Yazılım Geliştirme Merkezi 9Eylül Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü (Ege Üniversitesi
Kampus İçi)
Kat 1 Bornova /İzmir
Tel: 0 232 3886840 Fax: 0 232 3884484

ÖZET

Fotometrik cihazlar;ışığın maddede absorpsiyonunu,transmitansını ve reflektansını ölçmek için,ışık kaynağı,sensör,optik üniteler ve elektronik ünitelerin amaca göre düzenlenmesiyle oluşturulan test analiz sistemleridir.

Fotometrik cihazların ölçüm doğruluğu,üretim aşamasında saptanan kalibrasyon parametrelerinin,kullanım aşamasında standart örnekler de değerlendirilerek test edilmesi ile kontrol edilir.

Bu çalışmada;analog,sayısal ve bilgisayar tabanlı fotometreler tasarlanıp,prototipleri yapılmıştır.Bu fotometrelerde ışık şiddeti,ışık dalga boyu,ışık filtreleri,mercek,ayna,sensör çeşidi,elektrik amplifikasyon,elektromanyetik uyum,sistem geometrisi,ısı,nem ve temizlik işlemi gibi etkenler incelenerek sistemin değerlendirilmesi yapılmış ve sorun giderici teknikler ile kalibrasyon yöntemleri saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Fotometre,duyarga,kalibrasyon,ışık,fotodiyot,ölçüm

1.FOTOMETRİK ÖLÇÜ CİHAZLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Elektromagnetik ışınların,ultraviyole,görünür ve kırmızıötesi spektrum bölgesinin ölçülmesi,radyometre cihazları ile yapılır.Elektromagnetik ışınların 380 nm-780 nm (görünür ışık) ölçümünde kullanılan cihazlara,özel olarak fotometre cihazları denilmektedir.Fotometreler;densitometre,florimetre,refraktometre,turbitemetre, spektrofotometre gibi çeşitli tiplerde yapılarak;ışığı ve ışıkla etkileşen malzeme yapısını incelemekte kullanılırlar.Fotometrik ölçümlerle;film optik yoğunluğu,malzeme yüzeyi ışık yansıtma katsayısı,sıvı ve gaz ortamlardaki yabancı tanecik yoğunluğu ve madde yapısı, nitelik ve nicelik olarak incelenebilmektedir.

Fotometrik cihazlar,amaca ve gereksinime göre;ışık kaynağı,duyarga,mercek,filtre,analog/sayısal elektronik birimler ve incelenecek malzemeye uygun yardımcı düzeneklerden oluşur.Fotometrik cihazların temelini oluşturan duyargalar(sensörler) : Fotodiyot,fotodirenç,fotoelektrik hücreler gibi,ışığa duyarlı nesnelere olup,sistemin kalibrasyonunda en önemli kısmı oluştururlar.

Fotometrede sensörü uyarıcı enerji olan ışığın,madde ile olan etkileşimi, aşağıda belirtilen eşitliklerle açıklanabilir.

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (1.1)$$

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1.2)$$

ρ : Yansıyan ışık oranı; α : Absorblanan ışık oranı; τ : Geçen ışık oranı

I : Geçen ışık; I_0 : Gelen ışık; x : Malzeme kalınlığı

Yukarıdaki eşitlikler ve diğer optik bağıntılardan yararlanılarak fotometrik ölçümler değerlendirilir.

2.FOTOMETRELERDE ÖLÇÜMÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Fotometrelerde kullanılan optik duyargalar (sensörler), ışığın uyarması sonucu yapılarında oluşan elektronların, elektronik düzeneklerle ölçülmesi suretiyle uygulamada yer alırlar. Duyargaların kuantum verimi (QE)

$$QE = \frac{N_e}{N_f} \quad (2.1)$$

N_e : Yayılan elektron; N_f : Gelen elektron

şeklindedir. Her duyarga niteliklerine göre kuantum verimine sahiptir. Fotometrelerde ölçümü etkileyen kaynakların fonksiyonu olarak I ölçümünü;

$$I = f(L, H, G_i, G_s, S, T, U, W, B, D, I_d) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Burada;

I: Sistem çıktısı olarak alınan fotometre skalasının amaca göre düzenlenmiş, akım, voltaj, watt, lüks gibi birimlerle belirtilen değerleridir; L: Işık nitelik ve niceliği (dalga boyu, ışık şiddeti, ışık kararlılığı) ; H: Operatör (insan) hatası; G_i : Işık geometrisi; G_s : Sensör geometrisi; S: Sistem faktörü (elektrik devre direnci, amplifikasyon) ; T: Sıcaklık; U: elektromagnetik uyumu; W: Duyarga yapısal etkisi (iş fonksiyonu) ; B: Çevre ışık ortamı; D: Ölüm zamanı; I_d : Sensör karanlık akımını belirtmektedir.

Fotometrik ölçümde (2.2) eşitliğinde belirtilen faktörler olumsuz yönde değişirse hata oluşur.

3.FOTOMETRE KALİBRASYON TEKNİKLERİ

Fotometrelerin 1. ve 2. seviye kalibrasyonu, ulusal metroloji laboratuvarında standartlara uygun olarak $\pm \% 0,2 - \pm \% 0,5$ hata sınırları içerisinde yapılmaktadır.

Fotometrenin yapımı veya kullanımı sırasında, duyargaya gelen ışığın ve bu ışığın oluşturduğu elektrik sinyalinin ölçülüp, aşağıda belirtilen kalibrasyon formülünde kullanılması suretiyle işlem yapmak da kalibrasyon yöntemlerinden biridir.

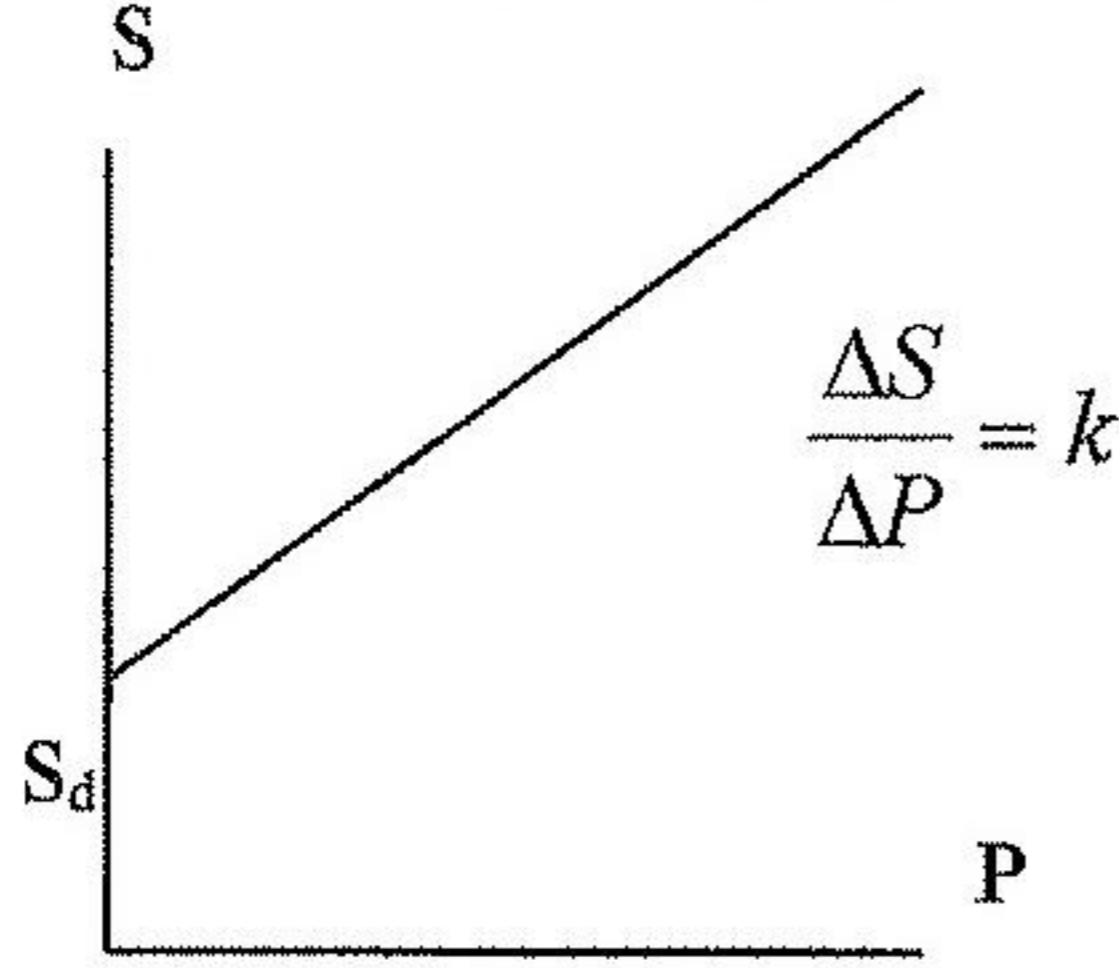
$$S = kP + S_d \quad (3.1)$$

S: Duyarga sinyalinin akım, voltaj veya direnç olarak değeri; k: Kalibrasyon duyarlılığı; S_d : Karanlık akımı; P: mum, lüks veya watt olarak ışık kaynağının ölçüsü; genelde elektrik devre elemanlarının yardımı ile sıfırlanır. Böylece;

genelde elektrik devre elemanlarının yardımı ile sıfırlanır. Böylece;
 $S = kP$ (3.2) olur.

$S = f(kP)$ çizimi ve $dS / dP = k$ eşitliğinden kalibrasyon grafiğinin eğimi duyarganın skala faktörü veya duyarlılığı olarak belirlenebilir.

Kalibrasyon işlemi için (3.2) eşitliğinin grafiği aşağıdaki gibi çizilerek incelenebilir.



Şekil 1. $S = f(kP)$ grafiği

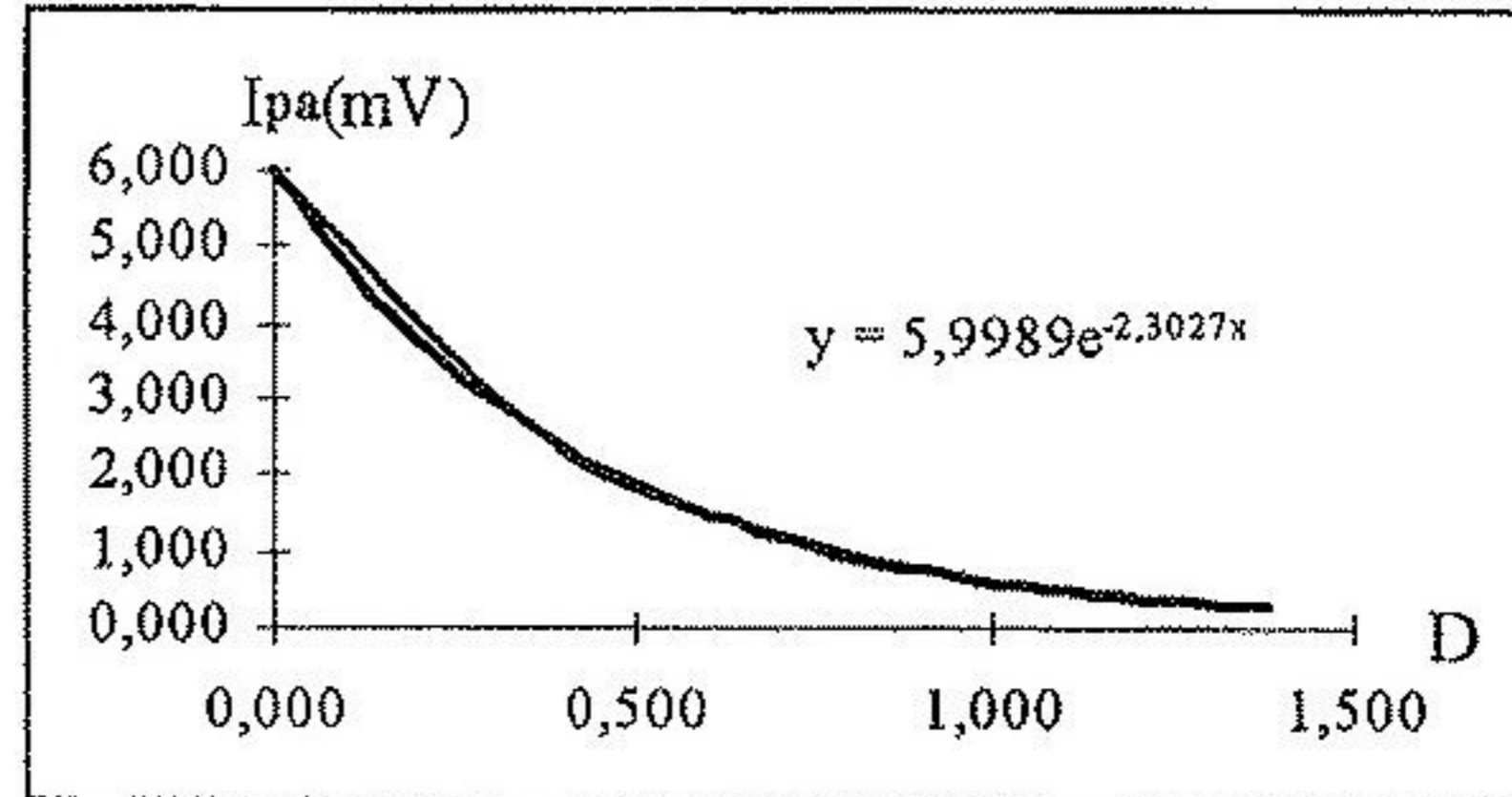
Yukarıdaki grafik; $S_d = 0$ iken kalibrasyon için değerlendirilir. Fotometre kalibrasyonunda teorik ve deneysel uyumun gerçekleşmesi, eşitlik (2.2)'de belirtilen etkenlerin istenmeyen etkileri giderildiği ölçüde gerçekleşecek ve bu, yukarıdaki grafikte olumlu sonuç olarak kendini gösterecektir. Örneğin; duyargadan alınan sinyalin şiddetlendirilmesinde, karanlık akımı tamamen sıfırlanmamış ise, ölçüde hata olacaktır. Uygun elektrik devre düzenlemesiyle bu ve benzeri sorunların giderilmesi gerecektir.

Fotometrik ölçümde; kalibrasyon için kullanılan absorbans maddenin homojen olması, ışık ve gerektiğinde kullanılacak filtre konumunun standart olması, doğru bir ölçüm için yararlı olmaktadır.

4. GÖZLEM VE SONUÇLAR

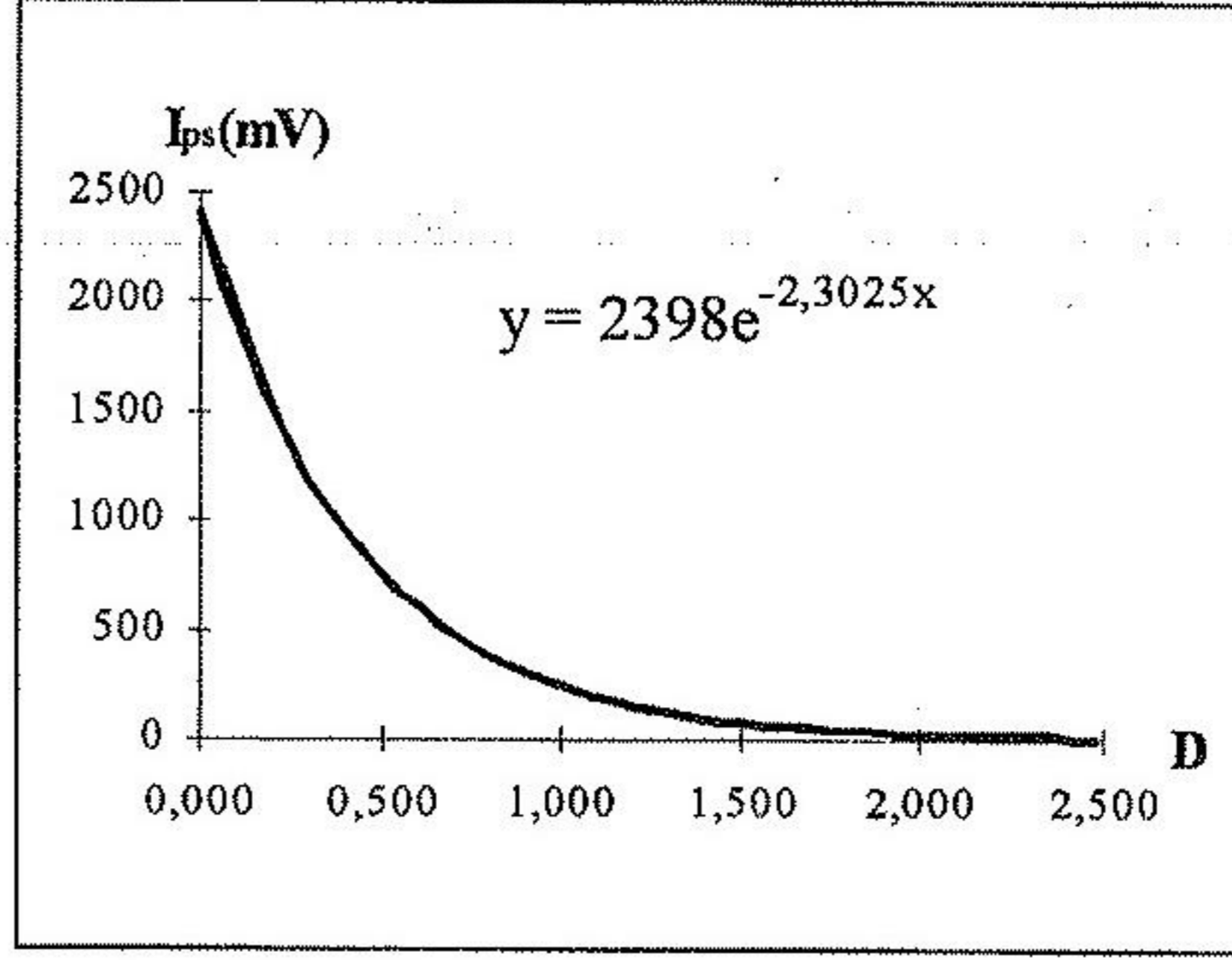
Yapılan fotometre sistemlerinin verimini, kullanılabilirliğini saptamak için standart kalibrasyon filmi kullanılarak optik yoğunluk arttıkça, ışınım gücünün değişimi ölçülerek aşağıdaki değerler elde edilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

Malzeme No	D	$I_{pa}(mV)$	T
0	0.000	6.000	1.000
1	0.380	2.500	0.416
2	0.664	1.300	0.216
3	1.000	0.600	0.100
4	1.380	0.250	0.041



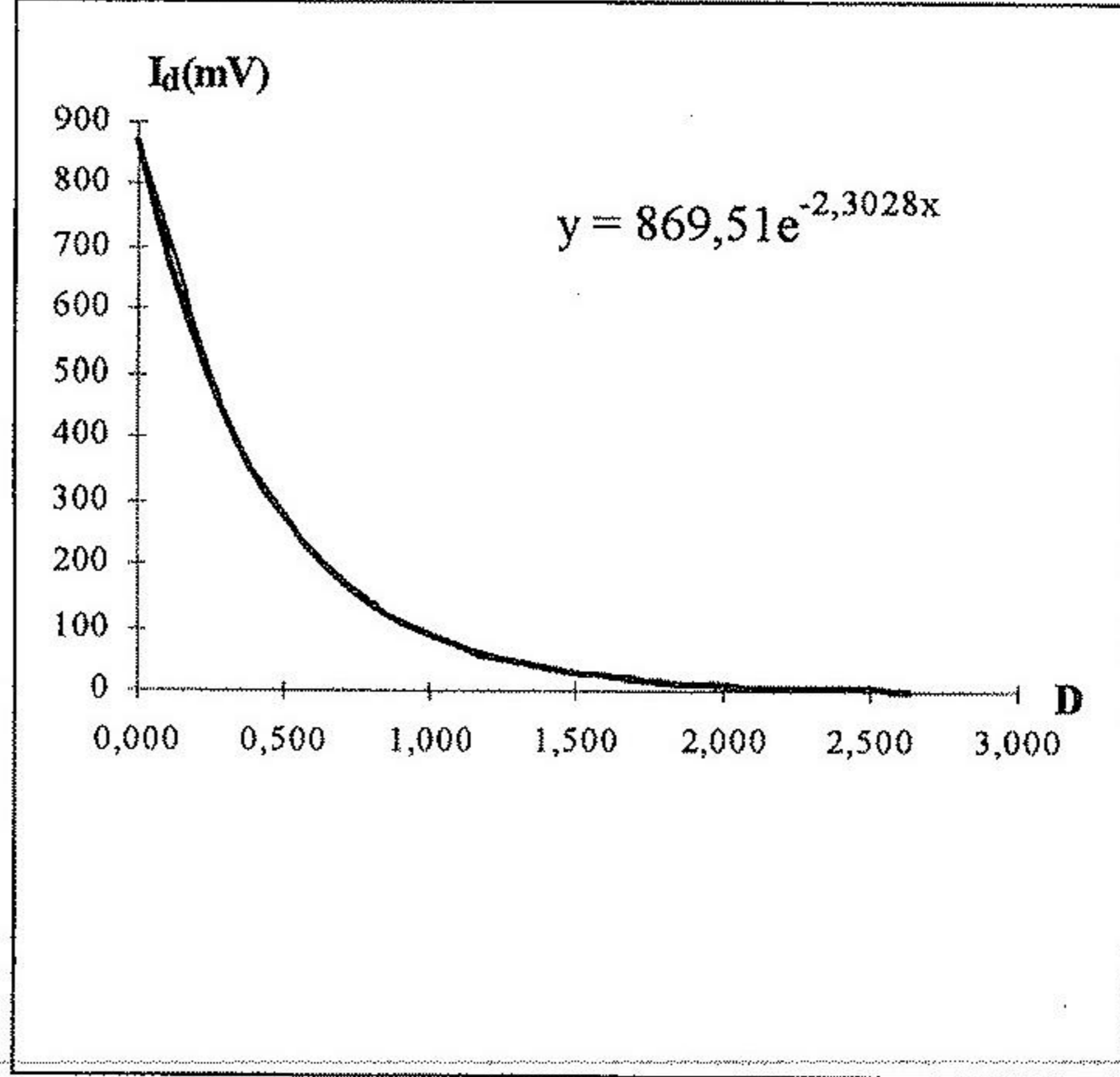
Şekil 4.1: Fotopil-analog sistemde, standart malzemedan geçen ışığın, optik yoğunluğa göre değişimi

Malzeme No	D	Ips(mV)	T
0	0.000	2400	1.000
1	0.308	1180	0.491
2	0.660	524	0.218
3	0.984	249	0.103
4	1.323	114	0.047
5	1.580	63	0.026
6	1.875	32	0.013
7	2.176	16	0.006
8	2.477	8	0.003



Şekil 4.2: Fotopil-sayısal sistemde standart malzemedan geçen ışığın, optik yoğunluğa göre değişimi

Malzeme No	D	Id(mV)
0	0.000	870
1	0.298	438
2	0.581	228
3	0.882	114
4	1.126	65
5	1.383	36
6	1.638	20
7	1.860	12
8	2.161	6
9	2.337	4
10	2.638	2

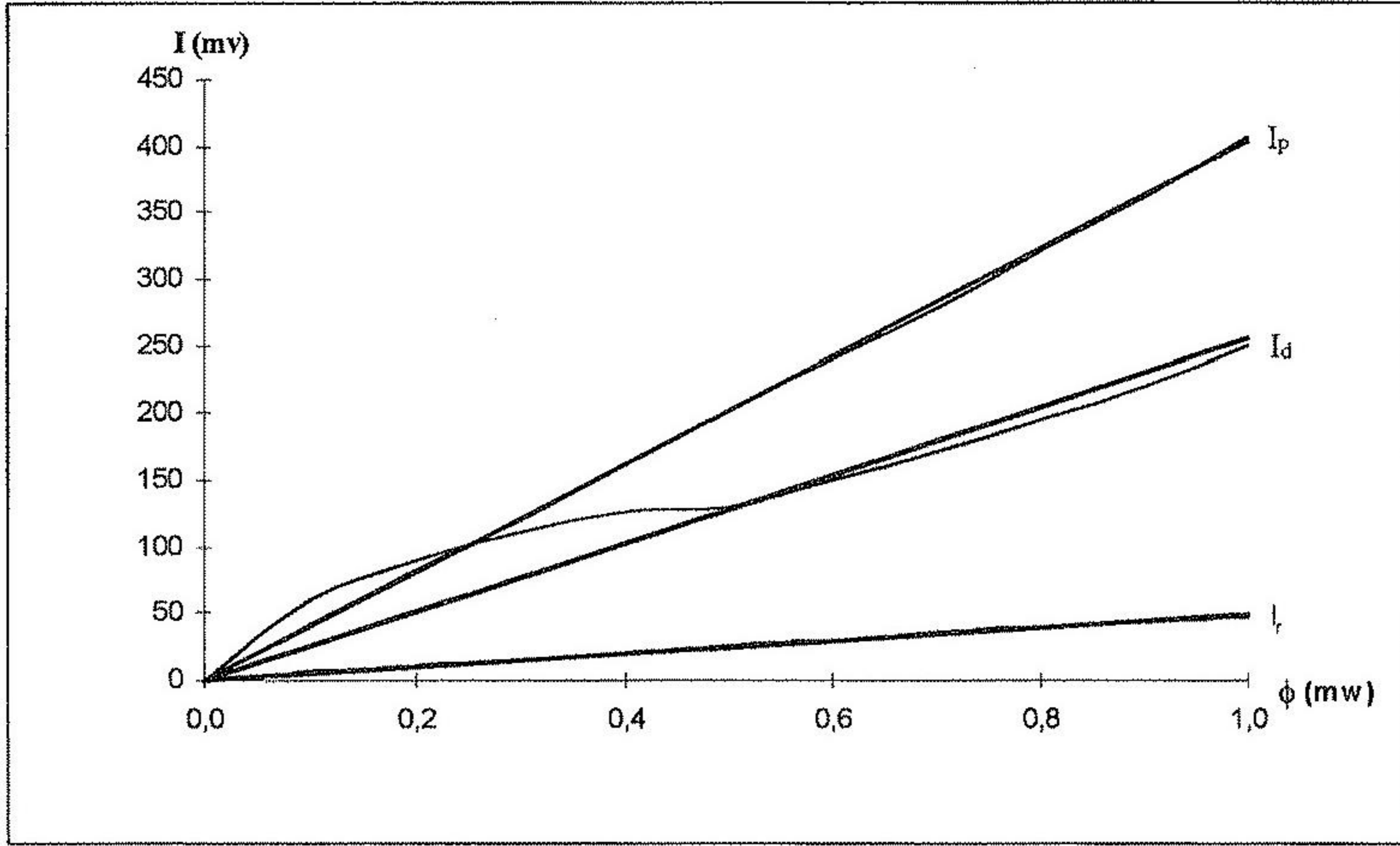


Şekil 4.3: Fotodiod-sayısal sistemde standart malzemedan geçen ışığın, optik yoğunluğa göre değişimi

Sensörlerin duyarlılığının analizinde kullanılan sisteme özgü ancak sabit bir değer elde edilir. Kullanılan ışınım gücü değiştirilip, buna bağlı olarak sensör-sayım sisteminde alınan elektriksel sinyal durumu aşağıdaki tablolarda belirtildiği şekilde ölçülmüştür.

Tablo 4.1: Fotopil, fotodiod ve fotodirencin ışığa duyarlılığı

Ölçü No:	f(mw)	Ip(mV)	Sp	Id(mV)	Sd	f(mw)	Ir(mV)	Sr
0	0.0	0	-	0	-	0.0	0.00	-
1	0.1	42	420	60	600	1.0	54.00	54.0
2	0.2	82	410	90	450	2.0	100.00	50.0
3	0.3	120	400	110	366	2.5	150.00	60.0
4	0.4	162	405	125	312	6.0	330.00	55.0
5	0.5	202	404	130	260	12.0	600.00	50.0
6	0.6	240	400	150	250	16.0	840.00	52.5
7	0.7	278	397	170	242	18.0	920.00	51.1
8	0.8	320	400	195	243	22.0	1120.00	50.9
9	0.9	362	402	220	244	28.0	1360.00	48.5
10	1.0	406	406	250	250	30.0	1400.00	46.6



Şekil 4.4: Sensörlerin ışık gücüne bağlı olarak verdikleri elektriksel tepki (duyarlık) analizi

Fotodirenç sensörün duyarlık analizi ϕ, I değerleri 1/30 oranında küçültülerek yukarıdaki grafiğe dahil edilmiştir.

Optik yoğunluğa bağlı olarak duyurga verisinin değişiminin en küçük kareler yöntemiyle oluşturulan denkleminin (1.2) eşitliği ile paralelliği değerlendirilerek, bu grafikler bir pratik kalibrasyon yöntemi olarak kullanılmıştır.

Ölçüm sonuçlarının analizinden, fotopil, fotodiod ve fotodirençli sensörler içeren fotometre sistemlerinin; standart kalibrasyon filminin $I=F(D)$ grafiğinin teorik uyumu ve kararlılığı, $I=F(\square)$ grafiğinde görülebilen duyarlık sınırları içerisinde kalması, beklenen, ölçülen ve hesaplanan değerlerin uyumu verimin istenilen düzeyde olduğunu göstermektedir. Fotometre sisteminin kalibrasyonunda (3.2) eşitliği kullanılarak ve standart örnek referans alınarak ölçümün

kalibrasyonunda (3.2) eşitliği kullanılarak ve standart örnek referans alınarak ölçümün tekrarlanabilirliğinin grafik yöntemle izlenmesi, pratik ve ekonomik bir kalibrasyon olarak değerlendirilmiştir.

5.REFERANSLAR

- [1] A.Yıldız,Ö.Genç “ Enstrümantal Analiz “ ,1993
- [2] W.Merritt,D.Settle “ Instrumental Methods of Analysis” ,1990
- [3] J.Dally,W.Riley “ Instrumentation for Engineering Measurements”,1990
- [4] B.Dandekar,D.Davis” Calibrations of The Air Glow Photometers and Spectrometers”,Applied optic Vol.12,No.4, 1973,page 825-831
- [5] G.Eppeldauer “Some Problems of Photocurrent Measurement of Photovoltaic Cells “Applied Optics,Vol 12,No.2,February 1973
- [6] R.Hawes”Technique for Measuring Photometric Accuracy”Applied Optics,Vol.10,No.6,June 1971, page 1246-1252