

SAYISAL GÖRÜNTÜ ÜZERİNDEN YÜZEY ALAN TABANLI AYDINLATMA ŞİDDETİ ÖLÇÜMÜ

SURFACE AREA BASED ILLUMINATION INTENSITY MEASUREMENT VIA DIGITAL IMAGE

Ümit Çiğdem TURHAL^{1*}, Yavuz BÜYÜKKOÇAK²

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye.
ucigdem.turhal@bilecik.edu.tr

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bilecik, Türkiye.
yavuzbuyukocak@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 26.04.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 08.08.2019
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.42949
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Nesnelerin doğru olarak algılanması, ortam aydınlatmasının uygunluğu ile direkt olarak ilişkilidir. Bu uygunluk seviyesi, lüksmetre olarak bilinen ve noktasal olarak ölçüm yapan bir ölçüm aleti ile tespit edilmektedir. Ancak, noktasal bazda yapılan bu ölçümlerin, maliyet, uzun işlem süreleri gibi bazı dezavantajları vardır. Son yıllarda bu dezavantajları ortadan kaldırmak için CCD kamera, cep telefonu ve video kameranın lüksmetre olarak kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, sözü edilen cihazlar direkt olarak ışık kaynağının karşısına yerleştirilerek lüksmetre gibi bir ışık toplayıcı olarak kullanılmışlardır. Sonrasında, yakalanan kaynak görüntüleri kullanılarak görüntü işleme ile aydınlatma şiddeti hesaplanmıştır. Sunulan bu çalışmada, kamera direkt lüksmetre olarak kullanılmamıştır. Ancak ortamın tamamını temsil eden genel bir görüntü alınmıştır. Aydınlatma şiddeti hesabı için görüntü işleme dayalı yeni bir yöntem sunulmuştur. Alınan görüntü homomorfik filtreleme ile frekans düzleminde bileşenlerine ayrılmış, kaynak aydınlatmasını temsil eden aydınlatma bileşeni, alçak geçiren filtre ile tespit edilmiştir. Bu bileşenin ortalama piksel değeri hesaplanmış ve aydınlatma şiddeti olarak tanımlanmıştır. Önerilen yöntemin kullanılabilirliğinin testi için ortam aydınlatmasını tanımlayan lüksmetre ölçüm sonuçları ile hesaplanan sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları, ölçüm ve hesaplama değerleri arasında tatmin edici R2 değerleri ile bir lineer ilişki olduğu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Işık kaynağı, Aydınlatma şiddeti, Homomorfik filtreleme, Lüksmetre, Fourier dönüşümü

Abstract

The correct perception of objects is directly related to the suitability of the ambient illumination. This level of conformity is determined by a measuring instrument which is known as luxmeter which measures on point based. However, these measurements made on a point basis have some disadvantages such as cost, long processing times. In order to eliminate these disadvantages in recent years, there have been studies in which CCD cameras, mobile phones and video cameras have been used as luxmeters. In these studies, said devices are placed directly opposite the light source and used as a light collector such as a luxmeter. They then calculated the illumination intensity by digital image processing techniques using acquired source images. In this study, the camera is not used directly as a luxmeter. However, an overall image representing the entire environment is taken. A new method based on image processing is presented for illumination intensity calculation. The image acquired is separated into its frequency components in the frequency plane by the homomorphic filtering, and the illumination component representing the source's illumination is detected by the low pass filter. The average pixel value of the illumination component is calculated and defined as illumination intensity. In order to test the usability of the proposed method, the measured illumination intensity with a luxmeter and the computed results of the developed method are statistically analyzed. The results of this analysis showed that there was a linear relationship between the measurement and calculation values with satisfactory R2 values.

Keywords: Light source, Illumination intensity, Homomorphic filtering, Luxmeter, Fourier transform

1 Giriş

Işık, görme olayının gerçekleşmesi için göze gelen ve görsel duyulanmaya neden olan optik radyasyon şeklinde tanımlanabilirken ışık kaynağı, ışık yaymak suretiyle etrafını aydınlatan ve bu suretle görme işleminin gerçekleşmesine neden olan her şey olarak tanımlanabilir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE) tarafından “çevrenin ve nesnelerin gereği gibi görülmesini sağlamak amacıyla ışık uygulamak” olarak tanımlanmış ve insanın duyuşal ve algısal verileri kapsamında, önemli bir yer tutan aydınlatma ise, bir ortamdaki nesnelerin görülebilmesine olanak sağlayacak şekilde dizayn edilmiş ışık uygulamalarıdır.

İnsan algılamalarının büyük bir çoğunluğu yaklaşık % 80 , %90 oranında, renk ve ışık uyaranları tarafından gerçekleşen görme olayı sayesinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle insanların çalışırken, en iyi aydınlatma koşullarında çalışması

göz sağlığı ve görme yeteneğinin korunması açısından çok önemlidir. Aynı zamanda uyun olmayan aydınlatma koşullarının insanlarda migren, yorgunluk, anksiyete vb. gibi diğer birçok hastalığa da sebep olduğu gösterilmiştir [1-4]. Bu anlamda aydınlatma tasarımlarının asıl amacı, nesnelerin ve çevrenin en iyi şekilde algılanmasını sağlayacak doğru tasarımlar sayesinde, kazaların azaltılması, iş veriminde artış sağlanması, insan psikolojisi ve fizyolojisi üzerindeki olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasını sağlamak olmalıdır. Bu nedenle tüm mekânlarda, kullanım amacına uygun olacak şekilde bir aydınlatma yapılması önem arz etmektedir [5].

Enerji kullanımı açısından bakıldığında aydınlatma, elektrik enerjisinin kullanımında önemli bir paya sahiptir. Bu durum araştırmacıları daha az enerji tüketen aydınlatma ürünlerini geliştirmeye teşvik etmiştir. Yapılan çalışmalar araştırmaların, ışık kaynaklarının fotometrik nicelikleri üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir [6-15]. Literatürde yer alan bu

tip çalışmalar enerji tasarrufu sağlayacak akıllı uygulamalara yöneliktir. Üncü ve ark. [16] sundukları çalışmada, LED ışık kaynağı için ışık şiddeti, aydınlık düzeyi, renk sıcaklığı, renksel geri verim ve parlaklık gibi fotometrik özellik değerlerini, kontrollü bir ortamda alınan tekli ya da çoklu LED fotoğrafları üzerinden sayısal görüntü işleme yöntemleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Fotoğraf makinesini bir ışık toplayıcı olarak kullandıkları bu çalışmanın ayrıca seri üretim sonunda kontrol mekanizması olarak kullanılabilceğini de öngörmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada LED board üzerinde bulunan LED'lerin görüntüleri üzerinden LED'ler için parlaklık derecelendirmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise, belirlenen parlaklık derecelendirmesi ve her bir LED bölgesi için ayrı ayrı tespit edilmiş olan ışıklı bölgenin, çap hesabı yapılarak ışık akısı ve renk sıcaklığı belirlenmiştir. Renk sıcaklığı için ise farklı bir sistem oluşturularak yine görüntü üzerinden sayısal görüntü işleme yöntemleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Klasik yaklaşımda ışık kaynaklarına ait fotometrik niceliklerden aydınlatma şiddetinin belirlenmesi, noktasal bazda ölçüm yapan ölçme aletleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Işık koşullarını ölçmek için en yaygın olarak kullanılan cihaz, basit ölçümleri hızlıca gerçekleştiren entegre bir ışık ölçer olan lüksmetre'dir [17]. Lüksmetre, ışık ölçümlerinin yapılması gereken pek çok durumda kullanılmayacak kadar özelleştirildiği için bazı araştırmacılar, parlaklık [18,19], parlama ve aydınlık ölçümleri [20,21] gibi fotometrik nicelikleri belirlemek için lüksmetre yerine CCD (Charge-Coupled Device) kamera kullanmışlardır. CCD kamera ile yapılan fotometrik nicelik ölçümlerinde ise klasik ölçüm yöntemlerine göre bir takım avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan en büyük avantajlar, gereken süreyi azaltması ve noktasal yerine yüzey alan tabanlı ölçümlere olanak sağlaması olarak sayılabilir. Ancak bu tip kameraların pahalı olması, ticari olarak kullanımını sınırlandırmaktadır. Yüzey alan tabanlı ölçümlerin avantajını koruyan ama daha ucuz, ticari amaçlı olarak kullanılabilir bir aydınlatma şiddeti ölçüm sistemi, Wüller ve Gabele [22] tarafından yapılan araştırmada sunulmuştur. Wüller ve Gabele bu çalışmalarında, parlaklık ölçümlerini sayısal fotoğraf makinesi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sayısal fotoğraf makinesinin yanı sıra, neredeyse herkesin çok yaygın bir şekilde kullandığı cep telefonları da donanımsal gelişmeler sayesinde pek çok uygulamaya olanak sağlamaktadır. Cep telefonlarının sunduğu uygulamalar neticesinde, pek çok uygulama kullanıcı açısından kolay, ucuz ve zamandan tasarruf sağlayacak uygulamalar haline gelmiş olup bu durum günümüz mobil cihazlarının birçok kullanıcı için birincil bilgi işlem platformu haline gelmesine neden olmuştur [23]. Optik açıdan bakıldığında dahili bir sayısal kameraya sahip olması, cep telefonunun kablosuz iletişime olanak sağlayan bir görüntü toplama aracı olarak kullanımını sağlamıştır [24]. Cep telefonlarındaki bu dahili kameranın, aslında iki-boyutlu bir ışık detektörü olduğu gerçeğinden yola çıkarak Sumriddetchkajorn ve Somboonkaew [24] çalışmalarında, bir cep telefonunu ilk olarak bir lüksmetre olarak önermişlerdir. Çalışmada, cep telefonu direk olarak kaynak karşına yerleştirilerek kaynak görüntüsü alınmıştır. İlk olarak kalibrasyon katsayıları ve kamera parametreleri başlatılmıştır. Daha sonra ise alınan RGB görüntü, gri seviye görüntüye dönüştürülmüş, bu görüntü üzerinden ortalama gri seviye piksel değeri hesaplanmış ve bu değer bir lüks değerine dönüştürülmüştür. Bu çalışmanın benzeri İsmail ve diğerleri [25] tarafından web kamerası kullanımıyla gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçların web

kamerası ile de elde edilebildiği gösterilmiştir. Her iki çalışmanın ortak yanı, birinde cep telefonu diğerinde ise web kamerasının direk olarak ışık kaynağının karşına yerleştirilerek bir lüksmetre gibi kullanılması olmuştur. Her ikisinde de gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Web kamerasının lüksmetre olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada da yine görüntü işleme ile web kamerası tarafından elde edilen görüntüler üzerinden hesaplanan aydınlatma şiddeti ile lüksmetre ölçüm sonuçları arasında lineer ilişki elde edilmiştir [26].

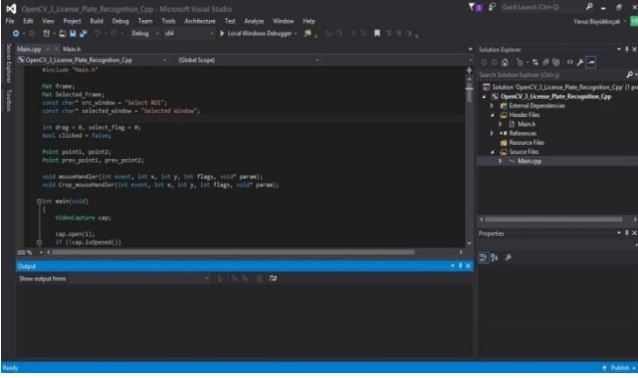
Sunulan bu çalışmamızda, kamera ile direk olarak kaynak görüntüsünü almak yerine, ortamın genel bir görüntüsü belli bir açıdan çekilmiş ve bu görüntü üzerinden aydınlatma şiddeti ölçümü için yeni bir yöntem önerilmiştir. Yani diğer iki çalışmada [24,25] olduğu gibi kamera direk bir lüksmetre gibi kullanılmamıştır. Deneysel çalışmalar, kontrollü olarak aydınlatılmış kapalı, dışarıdan ışık almayan bir iç ortamda bir çalışma masası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma kaynağı olarak üç çeşit ve her çeşit için üçer farklı lüks değeri sahip olan toplam 9 farklı kaynak, aydınlatma için ise dört farklı açıl konum kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, öncelikle çalışma masası üzerine yerleştirilen lüksmetre ile aydınlatma şiddeti ölçümleri yapılırken daha sonra ise, aynı ortamın kamera ile alınan görüntüsü üzerinden C++, Open CV ve MATLAB yazılım platformunda ortam aydınlatma şiddetinin hesabı yapılmıştır. Bunun için aydınlatma bileşeni, homomorfik filtreleme yöntemi ile görüntü üzerinden elde edilmiş ve aydınlatma bileşen görüntüsünün ortalama piksel değeri aydınlatma şiddeti olarak hesaplanmıştır. Ölçüm değerleri ile hesaplanan aydınlatma şiddeti değerlerinin birbirleri ile tutarlılığının değerlendirilebilmesi ve önerilen yöntemin uygulanabilirliği istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre sunulan yöntemde hesaplanan aydınlatma şiddeti ve ölçülen aydınlatma şiddeti arasında tatmin edici R² değerleri ile lineer bir ilişki olduğu görülmüştür.

Çalışmanın diğer bölümlerinde, yöntem açıklanmış test sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise karşılaştırmalı sonuçlar ve gelecek çalışmalarda neler yapılabileceğiyle alakalı görüşler sunulmuştur.

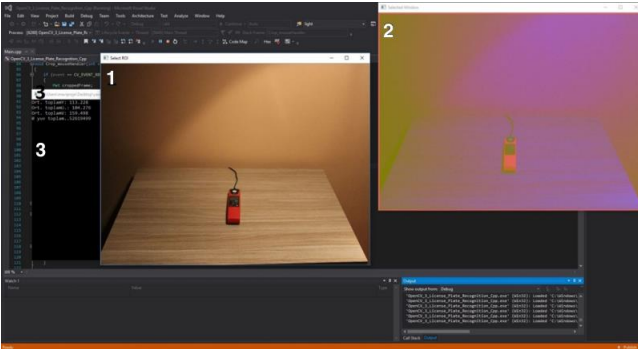
2 Yöntem

2.1 Veri Toplama

Bu çalışmada, görüntü işleme uygulamaları C++ yazım dili ve MATLAB kullanılarak gerçekleştirilmiş, aynı zamanda Open CV kütüphanelerinden de faydalanılmış ve geliştirme ortamı olarak Visual Studio ve MATLAB kullanılmıştır. Bu seçimler yapılırken, kullanılan programın kolay ulaşılabilir ve ücretsiz olması, farklı platformlarda ve farklı işletim sistemlerinde sorunsuz çalışabilmesi gibi özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 1.'de programın kullanıcı arayüzü görülmektedir. Program çalıştırıldığında Şekil 2.'de görüldüğü gibi çalışma masası üzerinde yerleştirilmiş olan kameradan alınan görüntü arayüzde görünmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen arayüzün kullanımı açıklanacak olursa, programın çalıştırılmasıyla beraber Şekil 2'de görülen 1 kodlu pencerede kamera görüntüsü alınmaktadır. Daha sonra farenin sol tuşuna basılı tutarak ölçüm yapmak istenilen alan seçilmektedir. Seçim yapılan alan 2 kodlu pencerede, yazılım kodları ise 3 kodlu pencerede görülmektedir.

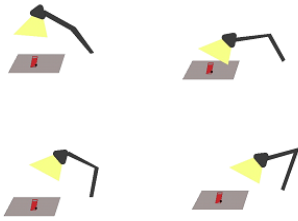


Şekil 1: Kullanıcı arayüzü

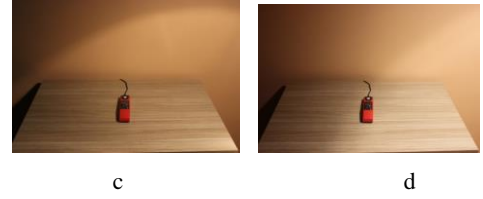


Şekil 2: 1. Arayüzde ölçüm ortamının kamera görüntüsünün alınması 2. Uygulama sonuç ekranı, 3. Yazılım kullanıcı arayüzü

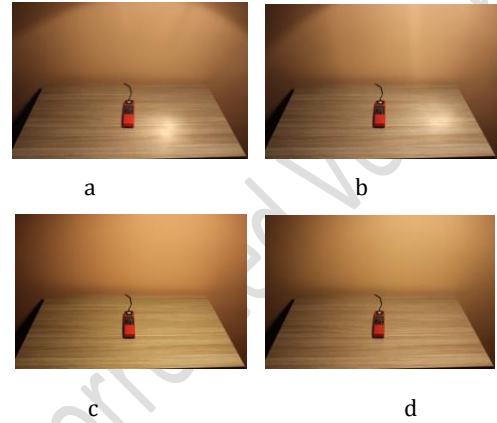
Bu çalışmada, dışarıdan aydınlatma almayan kapalı ve kontrollü bir ortam içerisinde bir çalışma masası üzerinde aydınlık düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toplamda 9 farklı ışık kaynağı için dörder farklı açısal konumdan toplam olarak 36 örnek üzerinde çalışılmıştır. Işık kaynakları olarak LED, akkor ve floresan lamba olmak üzere her birinden üçer farklı güçte kaynak kullanılmıştır. Bu kaynaklar LED (1055, 806 ve 470 lümen) akkor (2135, 625 ve 235 lümen) ve floresan (1300, 900 ve 650 lümen) olacak şekilde seçilmiştir. Açısal kaynak konumlamaları sembolik olarak Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 4'te aynı kaynak altında farklı açısal konumdan aydınlatılmış ortam için bir örnek görülürken Şekil 5'te de farklı kaynaklar altında aydınlatma açısından aynı açısal konum için bir örnek verilmiştir.



Şekil 3: Aynı kaynak altında farklı aydınlatma konumları



Şekil 4: Aynı kaynak altında farklı açılardan aydınlatma



Şekil 5: Farklı kaynaklar için aynı noktadan aydınlatma a.,b. LED ışık kaynağı ile aydınlatma, c. akkor ışık kaynağı ile aydınlatma, d. floresan ışık kaynağı ile aydınlatma

2.2 Görüntü İşleme Yazılımı

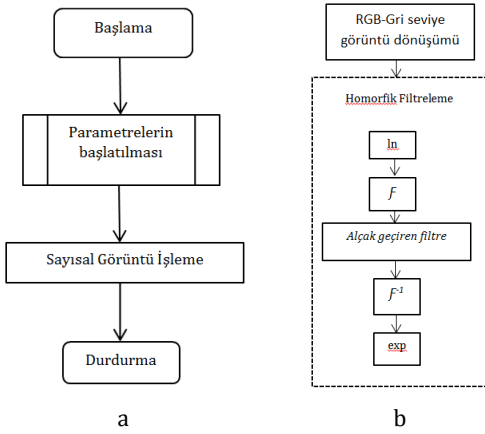
Bu çalışmada kamera tarafından çekilen görüntüler üzerinden ortamın aydınlatma şiddetinin hesabı yapılmıştır. Bunun için öncelikle, kamera kalibrasyonu yapılmıştır [24]. Bu, tüm ölçüm ayarlarının standartlara uygun olacak şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak içindir. Kamera tarafından elde edilen RGB renk uzayında tanımlı olan görüntüler öncelikle gri seviye görüntüye dönüştürülür. Gri seviye görüntü üzerinde uygulanan homomorfik filtreleme ile görüntünün aydınlatma bileşeni tespit edilir. Daha sonra aydınlatma şiddetinin hesabı için aydınlatma bileşeninin ortalama piksel değeri hesaplanmaktadır. Yöntemin akış diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.

Bir sayısal görüntü aydınlatma ile yansıma bileşenlerinin çarpımı şeklinde Denklem (1)'de olduğu gibi tanımlanabilmektedir [27].

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (1)$$

Burada $0 < i(x, y) < \infty$ aydınlatma bileşenini gösterirken $0 < r(x, y) < 1$ de yansıma bileşenini göstermektedir. Denklem (1)'de her iki tarafın logaritması alınarak logaritmik düzlemde sayısal görüntü fonksiyonu Denklem (2)'de verildiği gibi tanımlanabilir.

$$\ln(f(x, y)) = \ln(i(x, y)) + \ln(r(x, y)) \quad (2)$$



Şekil 6: a) Yöntem akış diyagramı, b) Sayısal görüntü işleme bloğu

Logaritmik düzlemde aydınlatma ve yansıma bileşenlerinin toplamı şeklinde ifade edilen sayısal görüntü, Fourier dönüşümü alınarak frekans düzleminde ifade edilebilir. Denklem (2)'de her iki tarafın Fourier dönüşümü alınacak olursa Denklem (2), Denklem (3)'te olduğu gibi ifade edilebilir.

$$F\{\ln(f(x, y))\} = F\{\ln(i(x, y))\} + F\{\ln(r(x, y))\} \quad (3)$$

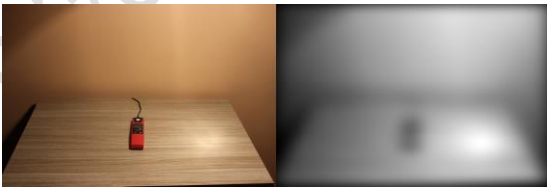
Bu düzlemde bir sayısal görüntünün alçak frekans bileşenleri ($F_i(u, v) = F\{\ln(i(x, y))\}$), ortamın aydınlatma bileşenlerini temsil ederken yüksek frekans bileşenleri de ($F_r(u, v) = F\{\ln(r(x, y))\}$), nesnelere olan yansımayı temsil etmektedir [28]. Buradan yola çıkılarak çalışmada, alçak geçiren filtre yardımıyla görüntü üzerinden aydınlatma bileşeni Denklem (4)'te verildiği gibi elde edilmiştir. Bu denklemde $F(u, v)$, $\ln(f(x, y))$ bileşeninin Fourier dönüşümü; $H(u, v)$ frekans domeninde alçak geçiren bir filtrenin transfer fonksiyonu olmak üzere

$$F_i(u, v) = H(u, v)F(u, v) \quad (4)$$

Denklem (4)'teki ifadenin ters Fourier dönüşümü alınmak suretiyle aydınlatma bileşeninin logaritmik düzlemdeki ifadesi, daha sonra da Denklem (5)'te olduğu gibi aydınlatma bileşeni elde edilir. Kullanılan bir görüntü örneği için yazılım ile elde edilen aydınlatma bileşeni Şekil 7'de görülmektedir.

$$i(x, y) = \exp(F^{-1}\{F_i(u, v)\}) \quad (5)$$

Aydınlatma şiddetinin hesabı Denklem (6)'da verildiği gibi Denklem (5)'de elde edilen aydınlatma bileşeni görüntüsünün ortalama piksel değeri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7: İki Görüntü örneği için homomorfik filtreleme ile elde edilen aydınlatma bileşeni örneği

$$\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n i(x, y) \quad (6)$$

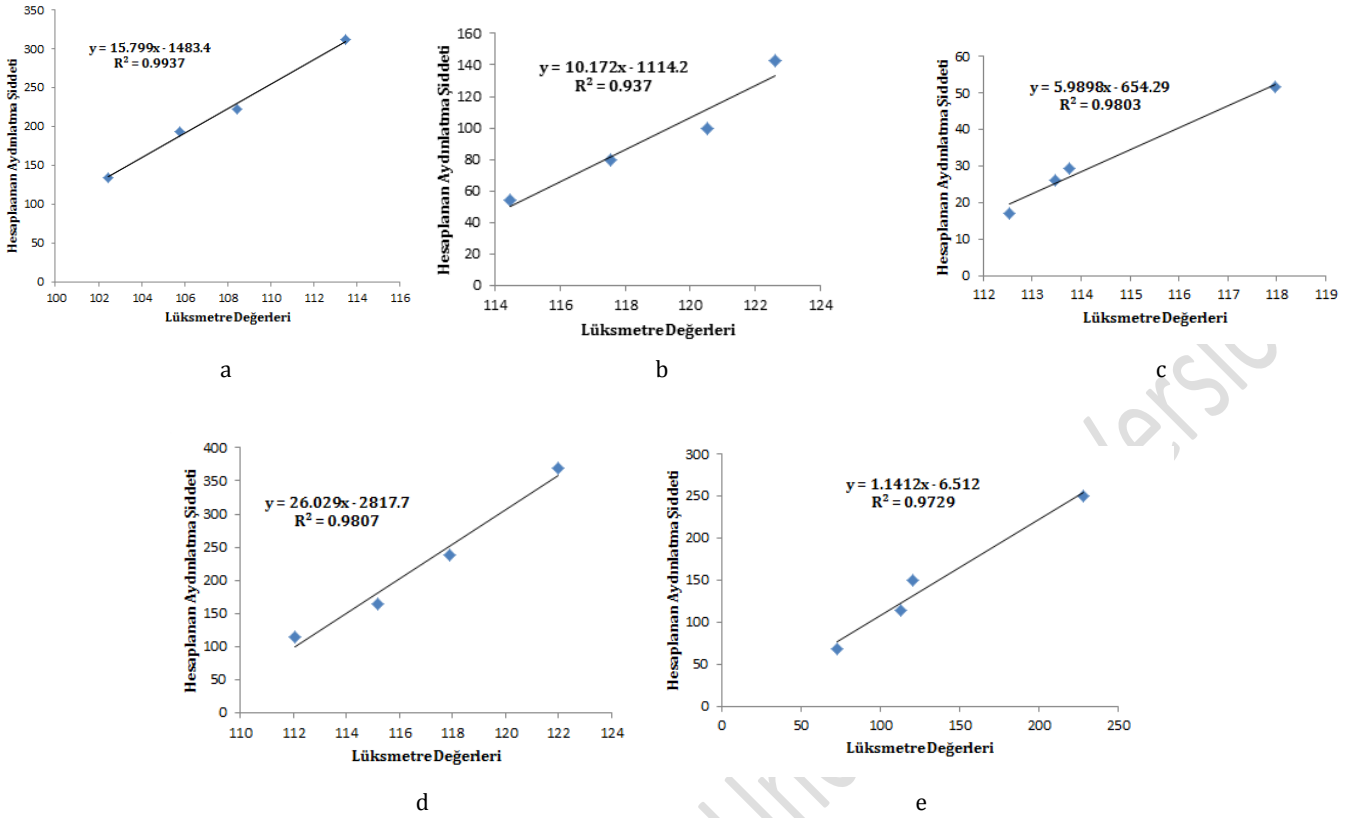
m, n sırasıyla sayısal görüntünün aydınlatma bileşeninin satır sayısı ve sütun sayısı olmak üzere.

3 Test Sonuçları

Çalışmada öncelikle sayısal görüntülerin elde edilmesi için kullanılacak olan kameranın kalibrasyonu [25]'de verilen çalışmada olduğu gibi yapılmıştır. Ardından her ışık kaynağı için 4'er farklı aydınlatma açısı altında, masaüstüne konan lüksmetre yardımıyla ortamın aydınlatma şiddetlerinin ölçümü yapılmıştır. Aynı ortamın kalibre edilmiş kamera yardımıyla alınan sayısal görüntüsü üzerinden, çalışmada önerilen yöntem ile aydınlatma şiddeti hesapları yapılmıştır. LED aydınlatma, akkor aydınlatma ve flüoresan aydınlatma için hesaplanan aydınlatma şiddeti değerleri ile lüksmetre ölçüm sonuçları arasındaki ilişkileri gösteren çeşitli örnekler Şekil 8'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi hesaplama sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında her üç aydınlatma kaynağı için de tatmin edici R^2 değerleri ile lineer bir ilişki elde edilmiştir.

4 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Bu çalışmada amaçlanan, günümüzde kullanılan geleneksel aydınlık düzeyi ölçme metotları yerine gerçek zamanlı sonuçlar verebilecek ve yüksek doğrulukla çalışan alternatif bir çözüm yöntemi geliştirmektir. Uygulanan geleneksel ölçüm yöntemlerinde ölçümler, lüksmetre kullanılarak yapılmakta ve bu ölçümler belirli zaman aralıkları ile tekrarlanmaktadır. Ancak bu tip bir ölçüm senaryosunun en büyük dezavantajı, sistemin sürekli, kesintisiz ölçüme olanak vermemesidir. Zira ölçümler belli zaman aralıklarında uzmanlar tarafından tekrarlanmaktadır. Ancak, zamanla değişen şartlar altında kalitenin sürekliliği sağlanamamakta ve aydınlatmada herhangi bir sorun yaşandığı durumda, gerçek zamanlı olarak müdahale yapılamamakta sonuç olarak da kötü aydınlatma şartlarından kaynaklı zararlar ile karşılaşma olasılığı artmaktadır. Bunun yanı sıra lüksmetre kullanımı ile noktasal bazda ölçüm yapıldığı için ölçüm sonucu her zaman gerçeği



Şekil 8: a,b. LED aydınlatma, c,d. Akkor aydınlatma e.Fluoresan aydınlatma için ölçüm sonuçları ile hesaplama sonuçları arasındaki ilişki örnekleri

yansıtmayabilmekte ve ölçüm süreleri uzman eşliğinde uzun süreler boyunca gerçekleştirilmektedir. Bu anlamda, spor sahalarında, stüdyolarda, ortak kullanım alanlarında, ofislerde, eğitim kurumlarında, kısacası doğal veya yapay olarak aydınlanan her alanda ortam aydınlatma düzeylerinin gerçek zamanlı kontrolü büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, aydınlatma şiddeti ölçümü için sürekli zamanlı olarak ölçüm yapabilecek, noktasal bazda ölçüm yerine gerçek ortamı daha iyi temsil edebilecek kamera tabanlı yüzeyel bazda aydınlatma hesaplamalarına daha kısa sürelerde olanak sağlayacak, daha kaliteli, sağlıklı ve ekonomik yeni bir ölçüm yöntemi önerilmiştir. Bu amaç için çalışmada önerilen aydınlatma şiddeti hesaplama metodu ile elde edilen değerler, lüksmetre ölçüm değerleriyle karşılaştırılmıştır. Hesaplama ve ölçüm sonuçları istatistiksel analiz yöntemleri ile incelendiğinde, LED, akkor ve flüoresan lamba aydınlatma kaynaklarının her üçü için de bu değerler arasında tatmin edici R^2 değerleri ile lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Gelecek çalışmalarda ortam aydınlatma miktarı ölçümlerinin, video görüntüleri üzerinden gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesi ve gerçek zamanlı kontrolü planlanmaktadır.

5 Kaynaklar

- [1] Electricity Cost Calculator. "Watt_Calculator" https://play.google.com/store/apps/details?id=com.win.terparadox.Watt_Calculator&hl=en_US. (20.04.2019).
- [2] Koroglu MT, Passino KM. "Illumination balancing algorithm for smart lights". *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* 22, 557-567, 2014.
- [3] Baum A, West R, Weinman J, Newman S, McManus C. *Cambridge Handbook of Psychology, Health and Medicine*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1997.
- [4] Burks SL. *Managing Your Migraine*. ISBN: 0-89603-277-9, Humana Press Totowa, NJ, USA, 1994.
- [5] Çetin FD, Gümüş B, Özbudak YB. "Aydınlatma Özelliklerinin Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi". *II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri*, Diyarbakır, Türkiye, 2003.
- [6] Matta S, Mahmud SM. "An Intelligent Light Control System For Power Saving". *36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Detroit, Michigan, USA, 2010.
- [7] Galasiu AD, Newsham GR, Suvagau C and Sander DM. "Energy Saving Lighting Control Systems For Open-Plan Offices: A Field Study". *Leukos*, 4, 7-29, 2007.
- [8] Dubin FS. "Energy-Efficient Building Design". *Innovative HVAC, Lighting, Energy- Management Control, And Fenestration Elsevier*, 36, 11-20, 1990.
- [9] Jafrancesco D, Mercatelli L, Fontani D, Francini F, Sansoni P. "Indoor Illumination By Solar Light Collectors". *Chartered Institution of Building Services Engineers, Lighting Research & Technology*, 40, 323-332, 2008.
- [10] Dounis AI, Tiropanis P, Argiriou A, Diamantis A. "Intelligent Control System For Reconciliation Of The Energy Savings With Comfort In Buildings Using Soft Computing Techniques". *Energy and Buildings*, 43, 66-74, 2011.
- [11] Gençoğlu MT. "İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu". *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 2005.
- [12] Özbudak YB, Gümüş B, Çetin FD. "İç Mekan Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi". *II.*

- Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Elektrik Mühendisleri Odası*, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [13] Singh MC, Garg SN. "Illuminance Estimation And Daylighting Energy Savings For Indian Regions". *Renewable Energy*, 35, 703-711, 2010.
- [14] Kazanasmaz T, Günaydın M, Binol S. "Artificial Neural Networks To Predict Daylight Illuminance In Office Buildings". *Building and Environment*, 44(8), 1751-1757, 2009.
- [15] Krainer A, Peternelj B, Lah J, Zupančič MT. "Daylight Illuminance Control With Fuzzy Logic". *Solar energy*, 80, 307-321, 2006.
- [16] Üncü İS, Coşkun S, Uysal S. "Ekonomik Çözüm Odaklı Fotometrik Ölçüm Sistemleri". *Ulusal Aydınlatma Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [17] Blakeslee T, Bryll E. "Integrating Light Meter with Movable Meter Mechanism". U.S. Patent No. 3,709,615, 1973.
- [18] Ekrias M, Eloholma M, Halonen L, Song XJ, Zhang X, Wen Y. "Road lighting and headlights: Luminance measurements and automobile lighting simulations". *Build. Environment*, 43, 530-536, 2008.
- [19] Glenn J, Dodds G, Robinson R. "Calibration and use of camera-based systems for road lighting assessment". *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32, 33-40, 2000.
- [20] Zatarı A, Dodds G, McMenemy K, Robinson R. "Glare, luminance and illuminance measurements of road lighting using vehicle mounted CCD cameras". *Leukos*, 1(2), 85-106, 2005.
- [21] Ayas MŞ, İsmail HA, and Turhan A. "Fast measurement of headlamps by means of a developed fuzzy luxmeter based on a fuzzy mapping algorithm." *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* 24.4, 2627-2637, 2016.
- [22] Wüller D, Gabele H. "The usage of digital cameras as luminance meters". In *Proceedings of the SPIE Digital Photography III*, 6502, 65020U, 2007.
- [23] Bajad RA, Srivastava M, Sinsha A. "Survey on Mobile Cloud Computing". *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, 1, 8-19, 2012.
- [24] Sumriddetchkajorn S, Sombonkaew A. "Low-cost cell phone-based digital lux meter". *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 7853, 78530L, 2010.
- [25] Ismail AH, Azmi MM, Hashim MA, Ayob MN, Hashim MM, & Hassrizal HBL. "Development of a webcam based lux meter." *IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*, IEEE, 2013.
- [26] Yusuf MA, Azmi MM, Ismail AH, Ibrahim II, Hashim MSM, & Kamarrudin NS. "Webcam Based Lux Meter Using Grid-Based Image Processing". *International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)*, 1-6, 2018.
- [27] Gonzalez RC and Woods RE. *Digital Image Processing*: Prentice Hall, 2008.
- [28] Saleh SAM, and Haidi I. "Mathematical equations for homomorphic filtering in frequency domain: a literature survey." *Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Management*, 2012.