

# Yüksek dinamik ölçekli fotoğraf ve monitörlerin aydınlatma araştırma projelerinde kullanımı

Duygu ÇETEGEN-MOREWOOD<sup>1,\*</sup>, Ramazan ÇAĞLAR<sup>1</sup>, Jennifer A. VEITCH<sup>2</sup>, Guy R. NEWSHAM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul,

<sup>2</sup> NRC Institute for Research in Construction, 1200 Montreal Road, M-24, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada

## Özet

*Bu çalışmanın amacı, Yüksek Dinamik Ölçekli (YDÖ) görüntüleme tekniğinin kullanıldığı YDÖ monitörlerin aydınlatma mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu makalede sunulan ilk deney, YDÖ monitörde görüntülenen YDÖ fotoğrafların, LCD ekranda görüntülenen (tek pozlamadan oluşan) geleneksel fotoğraflardan daha gerçekçi olduğu hipoteziyle tasarlanmıştır. Altı adet hacmin detaylı parıltı ölçümleri noktasal ölçüm yapabilen bir parıltı ölçer ve parıltı kamerası kullanılarak yapıldıktan sonra, bu parıltı değerleri YDÖ ekrana yansıtılmıştır. Deney sonuçları YDÖ fotoğraf tekniği ile üretilen fotoğrafların YDÖ ekrandaki görüntülerinin, LCD ekranda görüntülenen tek pozlamadan oluşan fotoğraflardan daha gerçekçi algılandığını göstermiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, YDÖ görüntüleme tekniğinden faydalanılarak bir açık plan ofisteki aydınlatma kalitesi incelenmiştir. Bu çalışmada, görüntü karakteristikleri (ortalama parıltı, parıltı dağılımı ve doğal ışığı hacme alan pencere büyüklüğü) ile hacmin aydınlatma kalitesi arasındaki bağıntı incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları, YDÖ ekranda sergilenen YDÖ fotoğrafların özellikle doğal ışık içeren görüntülerde aydınlatma kalitesi analizi yapmak amacıyla gerçek hacim yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Henüz inşa edilmemiş binaların grafik simülasyonlarının, gerçek hacimde sağlanması öngörülen parıltı değerleriyle YDÖ ekranda görüntülenmesi, aydınlatma projesine ilişkin karar aşamasında faydalı olacaktır. YDÖ teknolojisi kullanılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla tutarlı olması, YDÖ teknolojisinin aydınlatma mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılmasına ilişkin güveni arttırmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** Aydınlatma tasarımı, Yüksek Dinamik Ölçekli fotoğraflama tekniği, Yüksek Dinamik Ölçekli monitör, aydınlatma kalitesi, ofis aydınlatması.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Duygu ÇETEGEN-MOREWOOD. duygu.cetegen@gmail.com; Tel: 00-1-613-224 0528. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Validation of the use of high dynamic range images and displays in lighting research and lighting design " adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 11.02.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 15.03.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir. Bu makaleye "Çetegen-Morewood, D., Çağlar, R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., (2011) 'Yüksek dinamik ölçekli fotoğraf ve monitörlerin aydınlatma araştırma projelerinde kullanımı', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 1, 103-110" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Validation of the use of high dynamic range images and displays in lighting research

### Extended abstract

*The main goal of this study is to show that a High Dynamic Range (HDR) display can be used in the study of lighting engineering problems, and as a tool in the lighting design process to enhance communications between lighting designers and their clients.*

*Printed photographs, renderings or images displayed on conventional Cathode-Ray Tube (CRT) or Liquid-Crystal Display (LCD) monitors do not represent the spaces in realistic luminances. Calibrated HDR images contain luminance information from the real space, but current LCD monitors cannot present luminances as high as the luminances encountered in the real world. Therefore, these sources do not provide enough information to make accurate judgements of light and shade in the lighting design process. The HDR display used in this study could display luminances up to 4000 cd/m<sup>2</sup> and overcame these problems. This research shows that the HDR method may be used as a surrogate for experiencing a real space to investigate lighting engineering problems both for research and the design process.*

*The first experiment was designed to investigate the hypothesis that HDR images on an HDR screen would be perceived as more realistic than conventional images displayed on conventional LCD displays. Extensive luminance measurements were conducted using a spot luminance meter and a luminance camera to facilitate accurate reproduction of real space luminances of six scenes (corridor, gym, mezzanine, lobby, open-plan office, staircase) on the HDR display. Thirty-nine participants viewed six scenes in three modes: the real scenes (observing real spaces in the building), single exposure photographs of the scenes shown in conventional mode (screen resolution and luminance of HDR display adjusted to that of a conventional LCD display), and the HDR photographs shown in HDR mode (capable of luminances as high as 4000 cd/m<sup>2</sup> and 2<sup>16</sup> distinct luminance levels). Half of the participants visited the real spaces first, and the other half saw the digital images first. For each presentation (real and digital images), participants rated what they saw on four semantic differential scales: dim — bright; non-uniform — uniform; unpleasant — pleasant; glaring*

*— not glaring. Participants then viewed the six digital image pairs again, and recorded whether the HDR or conventional image was more realistic. This experiment demonstrated that HDR images presented on an HDR display are rated as significantly more realistic than conventional computer images.*

*The second experiment demonstrated the use of HDR images as a research tool. The experiment focused on the relationship between scene characteristics (average luminance, luminance variability and view size) and space appearance judgements. Twenty-one scenes were created, each scene being the view from an interior cubicle across one cubicle to the exterior wall. The scenes varied in terms of the cubicle panels, window blind setting, and presence or absence of a neighbour in the adjacent cubicle. Extensive luminance measurements were conducted. Sets of bracketed images were taken for each of the 21 scenes, and then these images were combined into HDR images using the software Photosphere. The calibrated HDR images were shown on an HDR display at realistic luminances to 43 participants. The participants rated each scene on 8 scales. The average ratings for each image were plotted against the average luminance, luminance variability and relative view size for that image. The second experiment of the dissertation supported the hypothesis that as panel height in an open office gets lower, ratings for satisfaction with lighting increase, and ratings for privacy decrease. As the view size increased, ratings for satisfaction with lighting and amount of view increased. Regarding satisfaction with privacy, Hybrid (one fabric and one glass stack-on on the second panel) performed as well as Standing Privacy (two fabric stack-ons on the second panel), and regarding satisfaction with view and satisfaction with lighting, Hybrid performed better than Standing Privacy.*

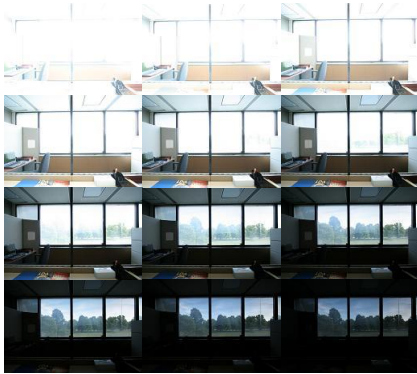
*The results imply that HDR displays may be successfully deployed in the lighting research projects. Both experiments show that people can respond to HDR images in the same way as they would respond to the real space. The results of both experiments are consistent with what is already known from studies of images and in real spaces, which adds confidence to the use of HDR display.*

**Keywords:** Lighting design, High Dynamic Range images, High Dynamic Range display, real space luminance matching, open-plan office lighting, lighting quality.

## **Giriş**

Bu çalışmanın amacı Yüksek Dinamik Ölçekli (YDÖ) görüntüleme tekniğinin kullanıldığı YDÖ monitörlerin aydınlatma mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılabileceğini göstermektedir.

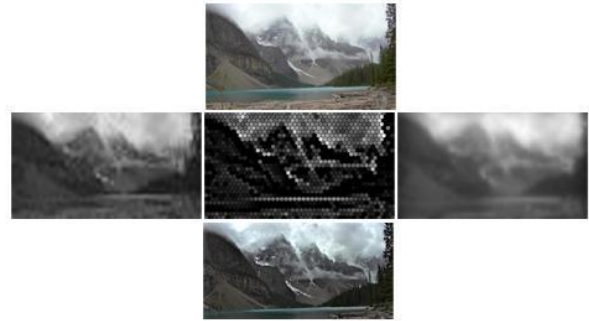
Günümüzdeki dijital fotoğraf makineleri ile çekilen ve tek bir pozdan oluşan fotoğraflar, söz konusu görüntünün tüm parlaklık skalasını ve kontrast oranlarını içermekten yoksundurlar. Bu engelleri aşmak amacıyla, farklı pozlamalarda çekilen birkaç fotoğraf bir yazılım aracılığıyla bir araya getirilebilir ve kalibrasyon sonrasında gerçeğe uygun parlaklık oranlarını içeren tek bir fotoğraf elde edilebilir (Reinhard vd., 2006). Uygun kamera yansıma fonksiyonunun kullanımıyla bir dizi fotoğrafı birleştirerek tek bir fotoğraf elde etmeye yarayan pek çok teknik mevcuttur (Mann ve Picard, 1995; Debevec ve Malik, 1997; Mitsunaga ve Nayar, 1999). Fotoğraf çekimi esnasında yapılan parlaklık ölçümleri referans alınarak, piksel parlaklık değerlerinin gerçek hacim parlaklık değerlerini yansıtacak şekilde kalibrasyonu mümkündür. Şekil 1’de verilen düşük dinamik ölçekli 12 adet fotoğraf arasındaki tek fark, 2 saniye ile 1/1000 saniye arasında değişen pozlama süresidir. Bu fotoğrafların bir yazılım ile birleştirilmesiyle, gerçek hacim parlaklık değerlerini içeren YDÖ fotoğraf elde edilir (Ward, 2005). İnanıcı (2006)’nın çalışması, YDÖ fotoğraf tekniğinin, maksimum parlaklık değeri 13000 cd/m<sup>2</sup> ye dek olan hacimlerde parlaklık ölçer kullanımına oranla yaklaşık %12 hata payını aşmayan parlaklık değerleri verdiğini göstermiştir.



*Şekil 1. Yüksek dinamik ölçekli fotoğraf oluşturmada kullanılacak düşük dinamik ölçekli fotoğraf ailesi*

## **Yüksek dinamik ölçekli monitörün özellikleri**

YDÖ fotoğrafların içerdiği parlaklık değerlerinin ne geleneksel katod ışıklı tüp (CRT) ekranlara, ne de sıvı kristal diyot içeren (LCD) monitörlere yansıtılması mümkün değildir. 2009 yılı itibarıyla LCD monitörler 300 cd/m<sup>2</sup> ye dek olan parlaklık değerlerini 1000 ayrı parlaklık seviyesinde yansıtabilmektedirler. YDÖ monitörler, LCD monitörlere ait parlaklık kısıtının aşma özelliğine sahiptirler (Seetzen vd., 2003; Whitehead vd., 2005). YDÖ monitörün özelliği, LCD monitörlerin arka planındaki tezdüze ve sabit parlaklık değerlerinde ışık yayan ışık kaynağının, herbiri yaklaşık 5 mm çapındaki bir dizi beyaz ışık yayan diyot (IYD) ile değiştirilmiş olmasıdır. Görüntü rengi LCD monitörde görüntülenmeye oranla değişiklik göstermeyip, söz konusu görüntünün parlaklığı, ışık yayan diyotlar tarafından oluşturulan aynı resmin düşük çözünürlüklü versiyonu ile desteklenir (Şekil 2). Işık yayan diyotların yaydığı parlaklık, kullanılan diyotların teknik özelliklerine bağlı olarak çok yüksek seviyelere (kullanılan monitörde 4000 cd/m<sup>2</sup> ye) çıkabilmektedir. LCD ve IYD’ den oluşan iki katmanın birleştirilmesinin ardından, ekran ayarlarının yapılmasıyla, görüntülerin gerçek ortamlarındaki parlaklık ve kontrast oranlarına yakın değerlerde görüntülenmeleri mümkündür.



*Şekil 2. Orjinal görüntü, hedeflenen arka görüntü, IYD lerin katkısı, arka görüntü simülasyonu ve görüntülenen fotoğraf (Görüntüler UBC den alınmıştır)*

## **Fotoğrafların aydınlatma tekniğinde kullanımı**

Fotoğrafların ve grafik simülasyonların mimari amaçlarla kullanımı oldukça yaygındır. Genellikle gerçek hacmin kullanılması mümkün olmayan durumlarda simülasyonlardan faydalanılır.

lır. Araştırma projelerinde dikkat edilmesi gereken husus, farklı simulasyon teknikleri kullanılarak elde edilen sonuçların, gerçek hacim kullanıldığı takdirde elde edilmesi muhtemel sonuçlarla ne derecede örtüştüğüdür. Aydınlatma tekniği ve aydınlatma projelerinde gerçek hacim simulasyonu yapılırken en önemli parametrelerden biri, gerçeğe uygun parlıltı değerlerinin sağlanmasıdır.

### **Yüksek dinamik ölçekli fotoğrafların araştırma projelerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi**

Akyüz ve diğerleri (2007) maksimum parlıltısı  $3000 \text{ cd/m}^2$  ve çözünürlüğü  $1920 \times 1080$  olan bir YDÖ monitör kullanarak, düşük dinamik ölçekli (DDÖ) görüntü içeriğinin YDÖ ekranda görüntülenmesini incelemişlerdir. Farklı iç ve dış mekanları temsilen gece ve gündüz koşullarında çekilen toplam on fotoğraf, yaşları 20 ile 40 arasında değişen 22 denek tarafından, sıralama yöntemiyle değerlendirilmiştir. Her fotoğraf altı farklı yöntemle görüntülenmiştir; YDÖ ekranda görüntülenen YDÖ fotoğraf, YDÖ fotoğraflara uygulanan üç farklı ton eşleştirme yöntemi sonrasında geleneksel ekran modunda görüntüleme, ve DDÖ yani tek pozlamadan oluşan fotoğrafların objektif ve subjektif en iyi pozlamaları. *Objektif fotoğraf* eşit sayıda az pozlandırılmış ve fazla pozlandırılmış piksele sahip olup, *en iyi subjektif pozlama* pilot çalışmaya katılan 20 kişi tarafından seçilmiştir.

Akyüz ve diğerlerinin (2007) elde ettiği sonuçlar, YDÖ monitörün DDÖ monitörden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Ancak çalışmalarında YDÖ monitörde görüntülenen YDÖ fotoğrafların kalibrasyonu yapılmamıştır ve bu görüntüler gerçek ortam parlıltı değerlerini yansıtmamaktadırlar.  $3000 \text{ cd/m}^2$  yi aşan parlıltı değerleri budanarak resimlerden çıkarılmıştır. Yazarlar ayrıca ton eşleştirmesi yapılan (dinamik ölçek indirgemesinden geçen) YDÖ fotoğrafların, geleneksel ekran modundaki görüntülerinin, geleneksel ekranda görüntülenen DDÖ fotoğraftan daha yüksek değerlerle ifade edilmediği sonucuna ulaşmışlardır; YDÖ ekrana yansıtılmak üzere parlıltı değerleri lineer olarak yükseltile-

DDÖ fotoğrafların, YDÖ fotoğrafların verdiği izlenimden daha iyi izlenim verdiğini rapor etmişlerdir.

Yoshida ve diğerleri (2006) deneklere maksimum parlıltısı  $3000 \text{ cd/m}^2$  olan YDÖ görüntüleri ve bu görüntülere karşılık gelen gerçek mekanları aynı anda göstererek, deneklerden gerçek görüntüyü YDÖ ekrana yansıtacak şekilde parlaklık, kontrast ve renk doygunluk ayarlarını yapmalarını istemişlerdir. Bu ayarlar yapıldıktan sonra, denekler reproduksiyonların gerçeği yansıtma oranlarını değerlendirmişlerdir. Farklı özelliklere sahip ekranların simulasyonunu elde etmek amacıyla (sıvı kristal diyot içeren (LCD) monitörler dahil), YDÖ ekranın parlıltısı sınırlandırılarak deneme çalışmaları yürütülmüştür. Üç farklı görüntü kullanılmıştır; iki farklı aydınlatma sistemi ile aydınlatılan bir ofis masası ve doğal ışık altında görüntülenen bir dış mekan görüntüsü. Sonuçlar tercih edilen kontrol ayarlarının, görüntünün içeriğine göre değiştiğini göstermektedir. YDÖ görüntüler istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar vermiş ve geleneksel görüntülere nazaran gerçeğe daha yakın reproduksiyonlar oluşturmuşlardır.

### **Hipotez ve deneyler**

Bu makalede sunulan çalışmada, yukarıda bahsi geçen iki çalışma daha ileri taşınarak, gerçek hacim parlıltı değerleri YDÖ ekrana birebir yansıtılmıştır. Çalışmanın hipotezleri şunlardır:

**H1:** Gerçek hacimle karşılaştırıldığında YDÖ fotoğraflar geleneksel fotoğraflardan daha gerçekçi olarak algılanacaklardır.

**H2:** YDÖ ekran kullanılarak elde edilen aydınlatma kalitesine ilişkin sonuçlar, literatürdeki gerçek hacimden elde edilen aydınlatma kalitesi sonuçlarıyla tutarlı olacaktır

### **Deney 1: Gerçek hacim görüntülerinin yüksek dinamik ekran ve geleneksel ekran görüntüleriyle karşılaştırılması**

Ottawa, Kanada'da bulunan bir araştırma merkezinde, ofis ortamında bulunması muhtemel altı adet hacim seçilmiştir (Şekil 3). Bu hacimlerdeki detaylı aydınlatma ölçümleri, noktasal ölçüm yapan bir parlıltı ölçer ve parlıltı kamerası

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneklerden veri toplama süreci gerçek hacimlerde ve bu hacimlerinin fotoğraflarının görüntülediği YDÖ monitörün bulunduğu bir açık plan ofiste gerçekleştirilmiştir. Fotoğrafların çekimi ve ilgili parlıtlı ölçümleri 17-22 Ocak 2007 tarihlerinde tamamlanmıştır. Otuz dokuz denek 19 Şubat – 23 Mart 2007 tarihleri arasında, altı adet hacmin geleneksel (DDÖ) ve YDÖ görüntülerini görüp değerlendirdikten sonra bizzat bu hacimlerde bulunarak, aydınlatma kalitesi değerlendirmesinde bulunmuşlardır.

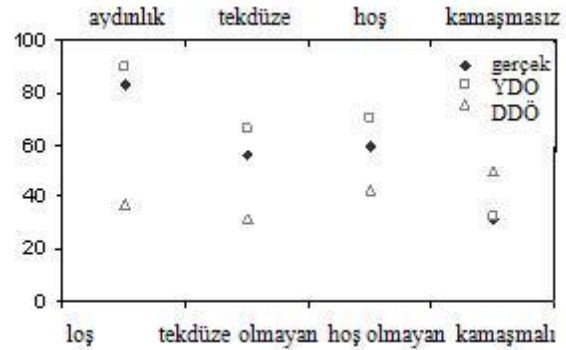


Şekil 3. Deneyde kullanılan görüntüler, soldan sağa; spor salonu, açık-plan ofis, deney laboratuvarı, merdiven boşluğu, koridor ve lobi

Tüm fotoğraflar dijital SLR fotoğraf makinesi ve uzaktan fotoğraf çekimini sağlayan bir yazılım aracılığıyla, oturma pozisyonundaki bir kişinin göz yüksekliğine göre konumlandırılmış bir tripod ve geniş açılı bir lens kullanılarak çekilmiştir. Kameranın otomatik ayarları kullanılmamış ve tüm pozlar tam manuel ayarla çekilmiştir. YDÖ görüntü oluşturmak amacıyla çekilen bir dizi fotoğraf arasındaki tek fark, pozlama süresidir; ve 4 - 1/4000 saniye arasında değişmiştir. DDÖ ve YDÖ fotoğraflar aynı monitör üzerinde gösterilmişlerdir. DDÖ fotoğraflar düşük dinamik ölçek modunda, ekran parlıtlısı  $200 \text{ cd/m}^2$  yi geçmeyecek şekilde görüntülenmiştir. Her görüntü için Photosphere yazılımıyla (Ward, 2005) kaç adet fotoğrafın bir araya getirileceği, ortamın parlıtlı değerlerine bağlı olarak kararlaştırılmıştır (Reinhard, 2006).

Deneklerin yarısı ilk olarak gerçek hacimleri, diğer yarısı da öncelikli olarak dijital fotoğrafları, her sahneyi dört farklı sıfat çiftini baz alarak değerlendirmişlerdir: loş – aydınlık, tekdüze – değişken, hoş – hoş olmayan, kamaşmaya neden olan – kamaşmaya neden olmayan. Denekler daha sonra altı fotoğraf çiftini tekrar görüp, YDÖ fotoğrafın mı geleneksel fotoğrafın mı gerçeği daha iyi yansıttığına ilişkin görüşlerini belirtmişlerdir.

Genel deney tasarımı 3 x 6'dır (üç sunum tipi: gerçek hacim, YDÖ görüntü ve DDÖ görüntü; ve altı sahne) ve dört çıkış parametresi vardır. MANOVA analizleri, YDÖ görüntünün gerçek hacim görüntüsüne karşı, ve YDÖ görüntünün DDÖ görüntüye karşı değerlendirilmesini içermektedir. Hipotezin doğrulanması için, YDÖ görüntü ile gerçek hacim arasındaki kontrastın istatistiksel olarak anlamlı olmaması, YDÖ görüntü ile DDÖ görüntü arasındaki kontrastın ise istatistiksel olarak anlamlı olması gerekmektedir. Ayrıca YDÖ görüntüye ait ortalama değerlerin, gerçek hacimlerden alınan değerlendirme sonuçlarına, DDÖ görüntülerine ait değerlerden daha yakın olması öngörülmektedir. Hipotezler altı görüntüden ikisi için (lobi ve merdiven boşluğu) doğrulanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Lobi ve merdiven boşluğuna ilişkin değerlendirmeler

YDÖ fotoğraflar ile DDÖ fotoğraflar arasındaki hangisinin gerçeğe daha yakın olduğuna ilişkin değerlendirme, chi-square testi ile yapılmıştır (Tablo 1). İstatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilen dört görüntü, YDÖ monitörün yüksek parlıtlı kapasitesinin kullanıldığı görüntüler-

dir. Diğer iki görüntünün sonuçları istatistiksel olarak anlamlı olmamasına karşın, YDÖ görüntü daha fazla denek tarafından gerçeğe yakın olarak değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlar, beklenenin dışına çıkmamıştır (Newsham vd., *bas-kıda*).

Tablo 1. Gerçeklik ikili değerlendirmeleri

Sahne			$\chi^2$
	YDÖ	DDÖ	
koridor	21	12	2.46
spor salonu	21	12	2.46
deney laboratuvarı	28	5	16.03***
lobi	31	2	25.49***
ofis	24	9	6.82**
merdiven boşluğu	26	7	10.94***

\* =  $p \leq 0.05$ , \*\* =  $p \leq 0.01$ , \*\*\* =  $p \leq 0.001$

Deney sonuçları YDÖ fotoğraf tekniği ile üretilen fotoğrafların YDÖ ekrandaki görüntülerinin, doğal ışık içeren hacimlerde LCD ekranda görüntülenen geleneksel fotoğraflardan daha gerçekçi algılandığını göstermiştir.

## Deney 2: Yüksek dinamik ölçekli fotoğrafların aydınlatma kalitesi değerlendirmesinde kullanımı

Bu çalışma bir önceki bölümde verilen deneyin ardından, YDÖ monitörün aydınlatma kalitesi analizinde kullanımını test etmek amacıyla tasarlanmıştır. Deney tasarımında monitörün kapasitesi göz önüne alınmış ve bir önceki deneyin sonuçlarına dayanarak, doğal ışık içeren bir hacmin analizi yapılmıştır.

2009 yılı itibariyle LCD monitörler, pencere içeren ofislerin parlaltısını yansıtamamaktadır. Bu çalışma, pencere içeren ofislerin aydınlatma tasarımında YDÖ ekranların kullanılabileceğini göstermek amacıyla tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlarının literatürdeki çalışmalar ile tutarlı olması, sonuçların ve yöntemin güvenilirliğini arttırmaktadır.

Bu çalışmada denekler YDÖ monitörde görüntülenen YDÖ fotoğrafları gözlemleyip, aydınlatma kalitesine ilişkin değerlendirme formlarını

doldurmuşlardır. Kullanılan yöntemin özelliği, fotoğrafların ekranda gerçek hacimdeki parlaltı değerleriyle görüntülenmesidir. Fotoğraflar pencereden ikinci derecede uzakta bir ofis çalışanının bakış açısından, çeşitli paravan yüksekliği ve malzemesi ile jaluzi açıklık değerlerini kapsayacak şekilde, pencereye karşı çekilmişlerdir (Şekil 5). Çalışmada ofis tasarım değişkenlerinin çalışanların memnuniyeti üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 5'te sütunlarda jaluzi açıklığının değişimi (kapalı, eğimli ve yatay pozisyonda olmak suretiyle) verilmiştir. İlk üç sütunda paravan yüksekliğinin değişimi görülmektedir. Denekler bu çalışmada gerçek hacimleri görmeyip, sadece hacimlerin görüntülerini görmüş ve değerlendirmişlerdir. Bu yöntemin faydalarından biri, doğal ışığın kontrolünü sağlamaktır. Bu çalışmanın gerçek hacimde gerçekleştirilmesi durumunda, değişen gün ışığının etkisinin sonuçlara yansımaları ve pratik bazı zorluklar kaçınılmazdır. Örneğin her bir sahnenin oluşturulması zaman alacaktır ve zaman içerisinde gök koşulları değişebilir.



Şekil 5. Deneyde kullanılan görüntü örnekleri

Kullanılan görüntülerin ortalama parlaltısı 24-348  $cd/m^2$  arasında, en düşük ortalama parlaltıya sahip görüntünün parlaltı değerleri 3-82  $cd/m^2$ , en yüksek ortalama parlaltıya sahip görüntünün parlaltı değerleri ise 5-2608  $cd/m^2$  arasında değişmiştir. Aydınlatma memnuniyeti, görüntülerin verdiği ışık miktarı ve görsel konfor baz alınarak ölçülmüştür.

Yirmibir adet açık plan ofis görüntüsünün parlaltı ölçümleri ve fotoğraf çekimleri, her bir görüntüye ait ölçümler 20 dakika içerisinde tamam-

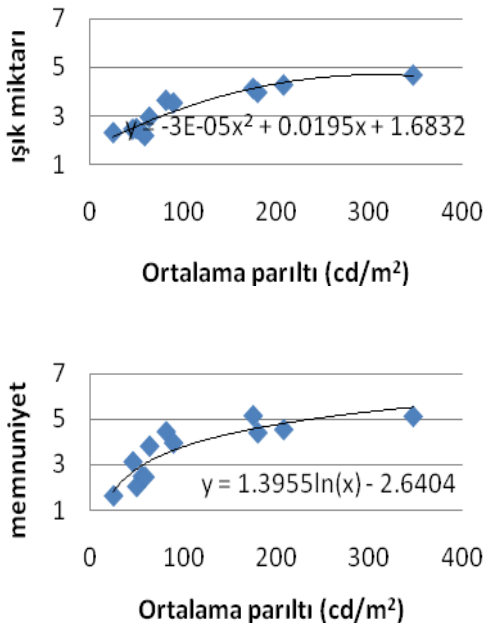
lanmak suretiyle, 27 ve 28 Ağustos 2007 tarihlerinde tamamlanmıştır. Kanada Ulusal Araştırma Merkezinde çalışan 43 denek, deneye bireysel olarak 5 Kasım – 26 Kasım 2007 tarihleri arasında katılmışlardır. Her denek 12 adet YDÖ görüntüyü sekizer değerlendirme skalasına göre değerlendirmişlerdir. Tüm işlem yaklaşık bir saat sürmüştür.

Tablo 2 ortalama parlılık değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçları, Şekil 6 ve 7 ışık miktarı, ortam memnuniyeti, manzara memnuniyeti ve görsel konfora ilişkin eğrileri, ortam ortalama parlılına göre vermektedir.

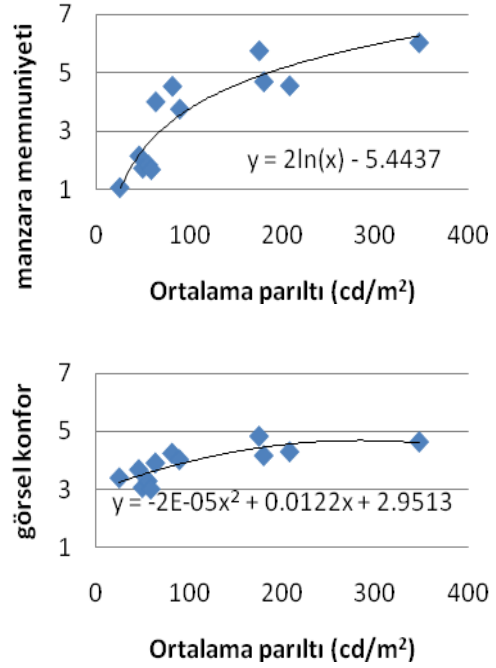
Tablo 2. Ortalama parlılık değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

	df=11,25 Multivariate			df=1,35 Linear	
	Wilks' lambda	F	$\eta^2$ partial	F	$\eta^2$ partial
Işık miktarı memnuniyet	0.184	10.06***	0.82	133.85***	0.79
Manzara büyüklüğü	0.117	17.11***	0.88	124.77***	0.78
Görsel konfor	0.038	57.89***	0.96	267.80***	0.88
	0.448	2.80*	0.55	15.39***	0.30

\* = p≤0.05, \*\* = p≤0.01, \*\*\* p≤0.001



Şekil 6. Işık miktarı ve ortam memnuniyetinin ortalama parlılıya bağlı olarak değişimi



Şekil 7. Manzara memnuniyeti ve görsel konforun ortalama parlılıya göre değişimi

## Sonuçlar

Bu araştırmanın ilk aşaması, YDÖ görüntülerin, gerçek hacim parlılık değerlerini yansıtacak şekilde kalibrasyonu yapıldığı takdirde, aydınlatma kalitesi araştırma projelerinde estetik açıdan gerçek hacimlerin yerine kullanılabilceğini göstermiştir. İkinci aşamada YDÖ görüntüler kullanılarak, bir açık-plan ofise ilişkin aydınlatma kalitesi incelenmiştir.

Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalarla tutarlı olup, incelenen fotoğrafların doğal ışık içermesi sebebiyle, literatürdeki çalışmalarını daha ileriye taşımaktadır. Osterhaus (2008) kendi çalışmasında gerçek mekan parlılık değerlerini yansıtacak şekilde parlılık kalibrasyonu yapmamış olmasına karşın, kamaşma problemlerinin çözümünde YDÖ fotoğraf kullanımını önermiştir.

Bu çalışma, YDÖ ekranda görüntülenen YDÖ fotoğraflama tekniğinin, kamaşma araştırmaları açısından büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın sonuçları, YDÖ ekranda sergilenen YDÖ fotoğrafların özellikle doğal ışık içeren

görüntülerde aydınlatma kalitesi analizi yapmak amacıyla gerçek hacim yerine kullanılabilirliğini göstermektedir.

## Teşekkürler

Bu çalışma:

- İstanbul Teknik Üniversitesi
- National Research Council Canada Institute for Research in Construction
- Haworth, Inc.
- University of British Columbia (UBC) Structured Surface Physics Laboratory
- Brightside / Dolby

tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

Akyüz, A.O., Fleming, R., Riecke, B.E., Reinhard, E., ve Bühlhoff, H.H., (2007). Do HDR displays support LDR content? A psychophysical evaluation, *ACM Transactions on Graphics*, **26**, 3, Article No. 38.

Debevec, P. ve Malik, J., (1997). Recovering high dynamic range radiance maps from photographs, *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, Los Angeles, CA, USA, 369-378.

Inanici, M.N., (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system, *Lighting Research and Technology*, **38**, 2, 123-136.

Mann, S. ve Picard, R.W., (1995). On being 'undigital' with digital cameras: extending

dynamic range by combining differently exposed pictures, *Proceedings of IS&T (Imaging Science & Technology)* 46th annual conference, Cambridge, MA, USA, 422-428.

Mitsunaga, T. ve Nayar, S.K., (1999). Radiometric self calibration, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Fort Collins, CO, USA, 1, 374-380.

Newsham, G.R., Cetegen, D., Veitch J.A. ve Whitehead, L., (2010). Comparing lighting quality evaluations of real scenes with those from high dynamic range and conventional images, *ACM Transactions on Applied Perception*, **7**, 2.

Reinhard, E., Ward, G., Pattanaik, S. ve Debevec P., (2006). *High dynamic range imaging: acquisition, display and image-based lighting*, Morgan Kaufman, Amsterdam, the Netherlands.

Seetzen, H., Whitehead, L.A. ve Ward, G., (2003). High dynamic range display using low and high resolution modulators, *Proceedings of the Society for Information Display International Symposium*, Baltimore, MD, USA.

Yoshida, A., Mantiuk, R., Myszkowski, K. ve Seidel, H.P., (2006). Analysis of reproducing real-world appearance on displays of varying dynamic range, *Proceedings of Eurographics 2006*, Vienna, Austria, **25**, 3, 415-426.

---

Ward, G., (2005). Photosphere. Albany, CA: Anywhere Software.

<http://www.anywhere.com>. (18.07.2007)