

PARILTI DAĞILIMI DÜZGÜN OLMAYAN ARMATÜRLER İÇİN CIE 232:2019 KONFORSUZLUK KAMAŞMASI HESAP YÖNTEMİ

Lale ERDEM ATILGAN

Elektrik Mühendisliği Bölümü

Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

e-posta: erdeml@itu.edu.tr

ÖZET

LED çiplerinin görünür olduğu ışık kaynakları düzgün olmayan parlıtlı dağılımlarına sahiptir. Görsel konforun en önemli bileşenlerinden biri olan konforsuzluk kamaşmasını hesaplayan geleneksel yöntemler ortalama parlıtlı değerlerini kullanmakta ve ışık kaynağının parlıtlı dağılımındaki düzgünlükleri hesaba katmamaktadır. Bu çalışmada, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun hazırlamış olduğu CIE 232:2019 – Kaynak Parlıtlı Düzgün Olmayan Armatürlerden Kaynaklanan Konforsuzluk Kamaşması teknik raporu incelenerek yeni hesap yöntemi konusunda bilgi verilecektir.

1. GİRİŞ

Konforsuzluk kamaşması, görsel konforun en önemli bileşenlerinden biridir. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de L'Eclairage – CIE) tarafından yayınlanan uluslararası aydınlatma kelime dağarcığında konforsuzluk kamaşması 'cisimlerin görüntüsünün bozulmasına sebep olmasa bile rahatsızlık veren kamaşma' olarak tanımlanmaktadır [1]. Geçmiş yıllarda konforsuzluk kamaşmasının sayısal olarak hesaplanması için farklı ülkelerde Görsel Konfor Olasılığı, Birleşik Kamaşma Endeksi, İngiliz Kamaşma Endeksi, Kamaşma Limitleme Sistemi gibi çeşitli metrikler öne sürülmüş, bu yöntemlerden CIE'nin 117:1995 teknik notunda iç aydınlatma için önermiş olduğu temel konforsuzluk kamaşma hesap yöntemi Birleşik Kamaşma Endeksi (Unified Glare Rating – UGR) günümüzde en çok kullanılan yöntem halini almıştır [2]. UGR aynı zamanda TS EN 12464-1 standardında

da yer alarak, Türkiye'de gerçekleştirilen aydınlatma tasarımlarında mutlaka kullanılması gereken bir metrik halini almıştır [3]. Temel UGR yöntemi, ışık kaynağının parlıtlısı, çevre parlıtlısı, kamaşmayı yapan kaynağın gözde açtığı uzay açısı ve kaynağın görüş alanındaki pozisyonuna bağlı olarak hesap yapmakta ve nümerik bir konforsuzluk kamaşması değeri sunmaktadır.

LED'li ışık kaynaklarının genel aydınlatmada kullanımının başlamasıyla, geleneksel kaynaklara kıyasla oldukça farklı armatür çeşitleri ve ışık dağılımları ortaya çıkmıştır. LED çiplerinin boyutlarının küçük, parlıtlılarının yüksek olması, çok sayıda ufak kaynağın armatürler içinde bir arada kullanılması ve geleneksel kaynaklardan farklı optik sistemlerin uygulanması, yüksek parlıtlı kontrastlarına ve bölgesel olarak yüksek tepe değerlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Oysa ki UGR ve benzeri geleneksel kamaşma hesap yöntemleri bir

ortalama parıltı değeri üzerinden hesap yapmakta ve ışık kaynağının parıltı dağılımındaki düzgünsüzlükleri hesaba katmamaktadır. Literatürdeki çalışmalar, bu özellikleri barındıran ve “düzgün olmayan parıltı dağılımına sahip” olarak tanımlanan kaynakların, mevcut kamaşma formülleri kullanılarak yapılan hesaplara kıyasla daha yüksek konforsuzluk kamaşması yarattığını göstermektedir. Çalışmaların çoğunda, benzer ortalama parıltı değerleri için düzgün dağılımlı ve düzgün olmayan dağılımlı kaynaklar arasında belirgin bir konforsuzluk kamaşması farkı olduğu ortaya koyulmaktadır. Bu durum, kaynaklar için tek bir ortalama kaynak parıltısı değerinin kullanılmasının uygun olmadığının bir göstergesidir [4-10].

CIE, literatürdeki bu çalışmalardan yola çıkarak, CIE 232:2019 – Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance – Kaynak Parıltısı Düzgün Olmayan Armatürlerden Kaynaklanan Konforsuzluk Kamaşması teknik raporunu hazırlamıştır [11]. Bu çalışmada, öncelikle CIE 117:1995 ile önerilen geleneksel birleşik kamaşma endeksi UGR hesap yöntemi üzerinde durulacak, daha sonra parıltı dağılımı düzgün olmayan kaynaklar için önerilen teknik not CIE 232:2019 incelenerek, önerilen yeni yöntemin detayları ele alınacaktır.

2. BİRLEŞİK KAMAŞMA ENDEKSİ

CIE'nin 117-1995 Discomfort Glare in Interior Lighting – İç Aydınlatmada Konforsuzluk Kamaşması yayınında tanımladığı Birleşik Kamaşma Endeksi UGR, literatürdeki diğer geleneksel

kamaşma hesap yöntemlerine benzer şekilde dört temel parametre kullanarak konforsuzluk kamaşması için sayısal bir değer veren bir yöntemdir. UGR değeri (1) numaralı formül ile hesaplanır:

$$UGR = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \quad (1)$$

Buradaki dört temel parametre;

L_b : Gözlemcinin göz adaptasyon seviyesini kontrol eden genel alan parıltısı veya arkaplan parıltısı [cd/m^2],

L_s : Gözlemci doğrultusundaki kaynak parıltısı [cd/m^2],

ω : Işık kaynağının gözlemcinin gözünde açtığı uzay açısı [sr],

p : Işık kaynağının gözlemcinin görüş alanındaki açısal konumuna bağlı olan Guth pozisyon endeksi'dir.

Denklemdaki toplama işareti görüş alanındaki tüm kaynakların oluşturduğu konforsuzluk kamaşmasının bir araya getirilmesi içindir. UGR değeri için çoğu aydınlatma sistemindeki genel kabul edilebilir aralık 10-30 arasındadır. Yüksek bir UGR değeri belirgin bir konforsuzluk kamaşmasını gösterirken, düşük bir değer konforsuzluk kamaşması olasılığının düşük olduğunu belirtmektedir. 10'dan daha küçük UGR değerlerine sahip aydınlatma sistemlerinin rahatsızlık yaratmadığı varsayılır ve genel olarak $UGR < 10$ şeklinde karakterize edilirler.

UGR sistemi, 2002 senesinde CIE 147:2002 ile geliştirilerek orjinal UGR formülü küçük, büyük ve karmaşık kaynaklar için hesaplamaları içerecek şekilde çeşitlendirilmiştir [12]. Buna göre,

görünen alanı 0,005 m²'den küçük olan (örn. 80 mm çaplı bir disk) ışık kaynakları için alan değeri 0,005 m² kabul edilmekte ve kaynağın parıltısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$L = \frac{I}{A_p} = 200 \cdot I \quad (2)$$

Burada,

L: Parıltı [cd/m²],

I: Işık şiddeti [cd],

A_p: Görünen alandır [m²].

Literatürdeki çalışmalar, küçük kaynaklar için tanımlanan yöntemin de boyutları 0,005 m²'den oldukça küçük olan LED çipleri için uygun sonuçlar vermediğini göstermektedir. Tüm çalışmalar, parıltı dağılımı düzgün olmayan LED'li sistemler için yeni bir yöntemin önerilmesini gerekli kılmıştır.

3. CIE 232:2019 HESAP YÖNTEMİ

CIE 232:2019 teknik notunda parıltı dağılımı düzgün olmayan kaynaklar için kamaşma hesabı 3 farklı yöntemle ele alınmaktadır. Bu yöntemlerden biri standartta "tercih edilen" yöntem olarak tanımlanmıştır ve bu çalışmada incelenecektir.

Önerilen yeni kamaşma hesap yöntemi, literatürdeki 60 farklı çalışmanın incelenmesi ve bu çalışmalarda ele alınan LED'ler arası mesafe, LED'lerin yerleşim sıklığı, ışık kaynağının yüzey alanı, çevre ve kaynak arasındaki parıltı oranı, LED ve çevresi arasındaki parıltı değişimleri, ışıklı yüzey yüzdesi (parıltı alan oranları), bakış doğrultusu, direkt, yan görüş, arka plan parıltısı, kaynak altında gerçekleştirilen işin zorluğu, ve benzeri parametrelerin

irdelenmesi sonucunda, orjinal kamaşma endeksi UGR'yi bir düzeltme katsayısıyla güncellemektedir. Buna göre parıltı dağılımı düzgün olmayan ışık kaynakları için önerilen birleşik kamaşma endeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$UGR' = 8 \log \frac{0,25}{L_b} \sum k^2 \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \quad (3)$$

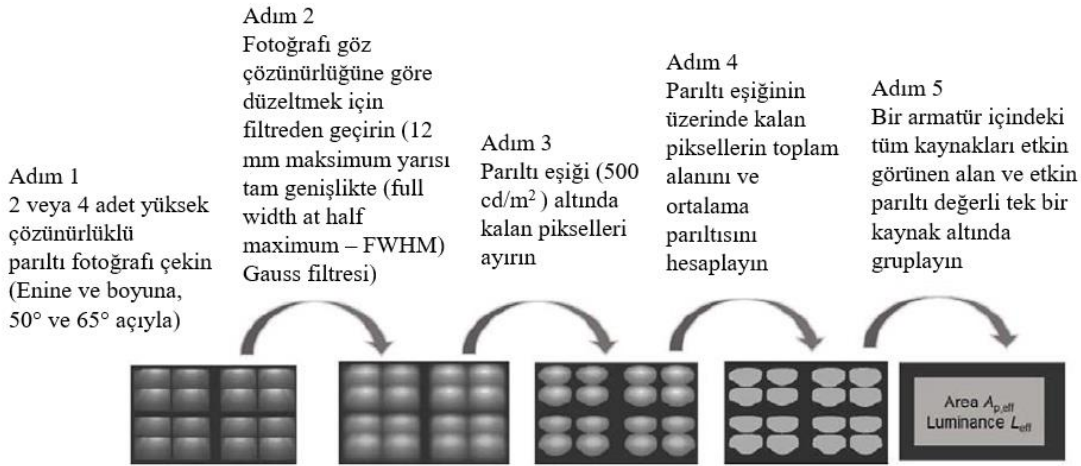
Burada yeni formül, (1) numaralı formülle karşılaştırıldığında, düzeltme katsayısı *k*'nın karesinin bir çarpan olarak eklendiği görülmektedir. *k* değeri, bir düzgünlük düzeltme parametresidir. Bu değer, ortalama parıltı, etkin ışıklı alan, pozisyon endeksi veya tüm terimler için ortak bir düzeltme katsayısı olarak kullanılabilir.

Yöntemde, *k* değerinin hesabı için, konforsuzluk kamaşması hesaplanacak ışık kaynağının parıltı fotoğraflarının çekilmesi ve bu fotoğrafların görüntü işleme yöntemleriyle analiz edilerek belli hesapların yapılması önerilmektedir. Bu noktada, ışık kaynağının parıltı fotoğraflarından faydalanılarak etkin parıltı *L_{eff}* ve etkin uzay açısı *ω_{eff}* değeri tanımlanmaktadır. Bunun için, fotoğrafların Şekil 1'de detayları verilen 5 adımlık bir işleme tabi tutulması gerekmektedir.

Etkin parıltı *L_{eff}* ve etkin uzay açısı *ω_{eff}* değerlerinin hesabı için, birinci adım olarak parıltı dağılımı düzgün olmayan ışık kaynağının yüksek çözünürlüklü 2 veya 4 adet parıltı fotoğrafı çekilir; bunlar armatür düzleminin normaline göre, enlemesine ve boylamasına 50 ve 65 derece açıyla çekilmelidir. Buradaki açısal değerler, normal bir çalışma ortamı için, gözlemcinin göz yüksekliği zeminden 1.2

m yüksekte olacak şekilde oturur konumda olduğu ve yatay bakış doğrultusuna sahip olduğu durum için 2.4 m'lik alçak tavan koşulunda, kamaşmanın en yüksek konforsuzluğu doğuracağı durumlar için tanımlanmıştır. İkinci adımda çekilen fotoğraf, yine en kötü kamaşma koşulları dikkate alınarak göz çözünürlüğü için 12 mm maksimum yarısı tam genişlikte bir Gauss filtresinden geçirilir. Üçüncü adımda fotoğraf tekrar işlem den geçirilerek 500 cd/m²'lik bir parl ılı eş iğinin altında kalan parl ılı bölgeleri elimine edilir. Dördüncü adımda eş iğ parl ılı nın üzerinde kalan

piksellerin toplam alan ı ve ortalama parl ılı s ı hesaplanır. Beşinci ve son adımda ise armatür içindeki tüm kaynakları tek bir kaynak haline getirmek için etkin görünen alan ve etkin parl ılı değ erleri belirlenir. Elde edilen etkin görünen alan değ eri ölçüm mesafesinin karesine bölünerek etkin uzay aç ı değ eri tespit edilir [11]. Burada en kötü senaryo yaklaşımıyla, iki veya dört fotoğraftan hesaplanan en yüksek rakamsal k değ eri dikkate alınır ve konforsuzluk kamaşması hesabında tüm bakış doğrultularına bu en yüksek, veya en kötü değ er uygulanır.



Şekil 1. Etkin görünen alan ve etkin parl ılı için ölçüm ve görüntü işleme adımları [11]

Düzgünlük düzeltme katsayısı k 'nın hesaplanması için, kaynağın ışık yayan yüzeyinin etkin uzay aç ısı ω_{eff} ve etkin parl ılı s ı L_{eff} değ erlerinin belirlenmesi gereklidir. Etkin uzay aç ı değ eri (4) numaralı denkleme göre doğrudan parl ılı fotoğraf ı verisinden yüksek çözünürlüklü her piksel i 'nin uzay aç ısına ağırlıklandırma çarpanları atayarak ve bu ağırlıklandırılmış uzay aç ıları toplayarak hesaplanır.

$$\omega_{eff} = \sum_{i=1}^{n_p} v_i \omega_i \quad (4)$$

Burada,

ω_{eff} : Işık yayan alanın etkin uzay aç ısı;

n_p : Dikkate alınan piksel sayısı;

v_i : i pikselinin parl ılı değ erine göre belirlenen ağırlıklandırma çarpanı;

ω_i : i pikselinin uzay aç ısıdır.

Burada ağırlıklandırma çarpanı v_i i pikselinin parlıltısı eşik değeri olan 500 cd/m^2 'ye eşit veya büyükse 1, eşik değeri küçükse 0 değerini almaktadır.

Etkin parlıltı değeri de (5) numaralı denklemde verildiği üzere etkin uzay açığına benzer bir ağırlıklandırma yöntemiyle hesaplanmaktadır. Buna göre, w_i ağırlıklandırma katsayısı i pikselinin parlıltısı eşik parlıltı değeri 500 cd/m^2 'ye eşit veya büyükse, i pikselinin uzay açısının etkin uzay açığına bölünmesiyle elde edilirken; i pikselinin parlıltısı eşik parlıltıdan küçükse, 0'a eşittir.

$$L_{eff} = \sum_{i=1}^{n_p} w_i L_i \quad (5)$$

Burada;

L_{eff} : Etkin parlıltı;

n_p : Dikkate alınan piksel sayısı;

w_i : i pikselinin parlıltı değerine göre belirlenen parlıltı ağırlıklandırma çarpanı;

L_i : i pikselinin parlıltısıdır.

Sonuç olarak, parlıltı fotoğraflarından elde edilen etkin uzay açığı ve etkin parlıltı değerleri kullanılarak, k düzgünlük düzeltme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega} \quad (6)$$

Burada L_s ortalama kaynak parlıltısı, ω geleneksel UGR tanımına göre en kötü gözlem açığı ve mesafesi koşullarında kaynağın uzay açısıdır. Konforsuzluk kamaşmasının hesabı için, elde edilen k düzeltme parametresi tüm bakış doğrultularına uygulanır. Bu durumda düzeltme katsayısı k her bakış mesafesi,

bakış doğrultusu ve tüm armatürler için aynı olur ve düzeltilmiş UGR formülü aşağıdaki şekli alır:

$$UGR' = UGR + 8 \log k^2 \quad (7)$$

Buna göre, (3)'te verilen düzeltilmiş birleşik kamaşma endeksi formülü, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$UGR' = UGR + 8 \log \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega} \quad (8)$$

Burada geleneksel UGR formülüne eklenen ikinci terim, aynı ortalama parlıltıya sahip düzgün parlıltı dağılımlı bir kaynakla düzgün olmayan parlıltı dağılımlı kaynak arasındaki konforsuzluk kamaşması farkını ifade etmektedir.

4. SONUÇLAR

LED'li ışık kaynaklarının geleneksel ışık kaynaklarından farkları ve buna bağlı olarak aydınlatma tekniğinde kullanılan alışlageldik yöntemlerle karakterize edilememeleri konusundaki problemler, yeni standartların ve hesap yöntemlerinin ortaya koyulmasını mecbur kılmaktadır. LED çiplerinin gözle görünür olduğu ve bu sebeple parlıltı dağılımı düzgün olmayan ışık kaynakları için geleneksel kamaşma hesap yöntemleriyle yapılan analizler, kullanıcıların tecrübe ettiği konforsuzluk kamaşması seviyeleriyle örtüşmemektedir. Bu sebeple CIE 2019 yılında parlıltı dağılımı düzgün olmayan kaynaklar için yeni bir konforsuzluk kamaşması hesap yöntemi hazırlamıştır. Bu yeni yöntemde, mevcut UGR formülüne, geleneksel yöntemlerde kullanılan ortalama parlıltı yerine parlıltı fotoğrafları üzerinde yapılan analizlerden elde edilen etkin parlıltı ve etkin uzay açığı değerlerinden yola çıkarak

yeni bir bileşen eklenmiştir. Bu şekilde, ortalama parıltı değeri aynı olan fakat parıltı dağılımı düzgün olan ve olmayan iki ışık kaynağının konforsuzluk kamaşması hesapları farklı sonuçlar verecektir. Bu sayede düzgün olmayan parıltı dağılımına sahip ışık kaynağının konforsuzluk kamaşması değeri kullanıcıların tecrübe ettiği daha yüksek seviyelerdeki konforsuzluk kamaşmasını karşılayacak şekilde güncellenmiştir. Teknik notta da belirtildiği üzere LED'lerden ve diğer parıltı dağılımı düzgün olmayan ışık kaynaklarından kaynaklanan konforsuzluk kamaşmasına dair araştırmalar CIE araştırma yol haritasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu amaçla konforsuzluk kamaşmasının fizyolojik ve psikolojik mekanizmaları, kamaşmada ışık spektrumunun etkisi, farklı bakış doğrultularının kamaşmaya etkisi, yaş ve aktivitenin kamaşma tecrübesine etkisi gibi pek çok konu incelenmeye devam etmektedir. Konu üzerinde devam eden aktif çalışmalar önerilen yeni konforsuzluk kamaşması hesap yönteminin mevcut araştırmaların ışığında en verimli yöntem olmakla birlikte, geliştirilmeye açık olduğunu da açıkça göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] CIE International Lighting Vocabulary. 2014.
- [2] CIE 1995, CIE 117:1995 Discomfort Glare in Interior Lighting, Vienna, CIE.
- [3] TS EN 12464-1 Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları
- [4] Erdem, L., Trampert, K., Neumann, C., Evaluation of Discomfort Glare from LED Lighting Systems, Ingineria Iluminatului,

Journal of Lighting Engineering, Volume 14, Number 2, 12/2012, pp. 17-27.

[5] Kasahara, T., Aizawa, T., Irikura, T., Moriyama, T., Toda, M., Iwamoto, M., Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources, Journal of Light & Visual Environment, 2006, 30(2), pp. 95-103.

[6] Tashiro T, Kawanobe S, Kimura-Minoda T, Kohko S, Ishikawa T, Ayama M. Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements. Lighting Research and Technology 2015; 47: 316–337.

[7] Hara, N., Hasegawa, S., Study on Discomfort Glare Rating of the Luminaire with LED Array, Journal of The Illuminating Engineering Institute Of Japan, 2012, 96 (2), pp 81-88.

[8] Scheir, G.H., Hanselaer, P., Bracke, P., Deconinck, G., Ryckaert, W.R., Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources, Building and Environment, Volume 84, 2015, pp 60-67.

[9] Yang, Y., Luo, M.R., Ma, S.N., Liu, X.Y., Assessing Glare. Part 1: Comparing uniform and non-uniform LED luminaires. Lighting Research & Technology, 49(2), 195-210.

[10] Yang, Y., Luo, M.R., Ma, S.N., Liu, X.Y., Assessing Glare. Part 2: Modifying Unified Glare Rating for Uniform and Non-Uniform LED Luminaires, Lighting Research & Technology, 49, 727-742.

[11] CIE 2019, CIE 232:2019 Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance, Vienna, CIE.

[12] CIE 2002, CIE 146 + 147: 2002 CIE Collection on Glare, Vienna, CIE.