



IŞIN HARİTALAMA YÖNTEMİ İLE YAPAY GÖRÜ AYDINLATMA ARMATÜRÜ İÇİN LENS TASARIMI

*Safinur COŞKUNSU DOĞAN¹ , İsmail Serkan ÜNCÜ² 

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Isparta

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, Isparta

(Geliş/Received: 06.06.2024, Kabul/Accepted: 19.06.2024, Yayınlanma/Published: 26.06.2024)

ÖZ

Enerji verimliliğinin sürekli önem kazanması ile aydınlatma sektöründe daha verimli ürünler kullanılmaya başlamıştır. LED (Light Emitting Diode)'ler uzun ömürlülükleri, enerji verimlilikleri ve çevreci olmalarından dolayı tüm aydınlatma alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır. Yapay görü sistemleri ile görüntü verileri üzerinde nesne tanıma, hata bulma, sınıflandırma gibi işlevler yapılabilir. Bu yöntemlerin başarılı olabilmesi için amacına uygun aydınlatma ile mümkündür. LED'ler noktasal ışık kaynakları olduklarından istenilen açıda ışın yayabilmesi için ikincil optik kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada hedef aydınlatma alanına uygun lens tasarımı üzerine çalışılmıştır. Lens tasarımı için ışın haritalama yöntemi kullanılmıştır. Işın haritalama yöntemi profesyonel optik tasarım programları kullanılmadan C# yazılım dili ile gerçekleştirilmiştir. Işın haritalama yönteminde giriş yüzeyi küresel olarak kabul edilir ve bu sebeple hesaplanmaz. Yazılım ile lensin çıkış yüzeyinin X ve Z eksenindeki verileri elde edilmiştir. X eksenini etrafında döndürülmesi ile Y eksenini verileri elde edilmiştir. Bu çalışmada lens tasarımı karmaşık formüllerin çözümü yerine parametrelerin değiştirilmesini sağlayacak bir arayüz ile yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: LED, Lens, Işın Haritalama Yöntemi.

LENS DESIGN FOR ARTIFICIAL VISION LIGHTING FIXTURE USING RAY MAPPING METHOD

ABSTRACT

Since energy efficiency constantly gains importance, more efficient products have begun to be used in the lighting industry. LEDs (Light Emitting Diodes) are actively used in all lighting areas due to their long lifespan, energy efficiency, and environmentally friendly nature. Artificial vision systems can perform functions such as object recognition, fault detection and classification on image data. For these methods to be successful, suitable lighting is necessary. Because LEDs are point light sources, secondary optics are required for them to emit light at the desired angle. This study, we focused on designing lenses suitable for the target lighting area. The ray mapping method was used for lens design. The ray mapping method was implemented with the C# software language without using professional optical design programs. In the ray mapping method, the input surface is considered spherical and therefore not calculated. The software was used to obtain data for the output surface of the lens in the X and Z axes. The data for the Y axis was obtained by rotating around the X axis. In this study, the lens design was made with an interface that will allow changing parameters instead of solving complex formulas.

Keywords: LED, Lens, Ray Mapping Method.

1. Giriş (Introduction)

Dünya nüfusunun hızla artması enerji tasarrufu konusunu ön plana getirmektedir. Bu sebeple üretilen her yeni cihazın enerji verimliliği bakımından optimum düzeyde olması istenmektedir. Aydınlatma sektöründe de durum aynıdır. Çünkü dünya çapındaki elektrik tüketimin yaklaşık 1/6 ile 1/5 arası aydınlatma ürünleri tarafından yapılmaktadır [1]. Aydınlatma geçmişine göz atarsak sürekli enerjiyi daha verimli kullanan aydınlatma araçlarına bir geçişin olduğu görülmektedir. Akkor flamanlı lambalar kullandıkları enerjinin büyük çoğunluğunu ısıya dönüştürdükleri için yerini floresan lambalara bırakmıştır [2]. Floresan lambalar ise çalışma başlangıçlarında kullandıkları yüksek akımdan dolayı yerlerine kompakt floresan lambalar geçmektedir. Günümüzde çevre dostu ürünlerin üretilmesi önem kazanmıştır. Floresan ve kompakt floresan lambalar yapısında bulundurduğu cıva ve fosfor yüzünden tehlikeli atık kapsamına alınmıştır. Aydınlatma ürünlerinin üretiminde enerji verimliliğinin yanı sıra çevre dostu ürünlerinin üretilmesine özen gösterilmektedir. Her iki durumu da karşılayan aydınlatma ürünü LED'lerdir. LED'ler enerji verimlilikleri, uzun ömür, sağlamlık küçük boyutluluk gibi avantajlara sahiptir [3]. LED'ler zehirli atık barındırmaması sebebiyle çevre kirliliği yaratmamakta hem de kullanılan çeşitli lenslerle noktasal ışık kaynağı özelliğinden kurtularak genel aydınlatmada kullanılabilirlerdir.

Gelişen teknoloji ile birçok otomasyon sisteminde yapay görü sistemleri kullanılmaktadır. Yapay görü sistemleri görüntü verileri üzerinde nesne tanıma, hata tespiti, sınıflandırma gibi fonksiyonları gerçekleştirebilmektedir. Bu yöntemlerin başarılı olabilmesi uygun aydınlatma ile mümkündür. LED'ler yapısı itibarıyla noktasal ışık kaynaklarıdır. Sağlıklı bir aydınlatma için ışık kaynağından yayılan ışınların ortama dağıtılması gerekmektedir. LED'lerde bu işlemi aydınlatma armatürünün önüne yerleştirilen lensler sayesinde yapabilmektedir. Bu lensler ile LED'den çıkan ışınlar üretilen aydınlatma armatürünün amacına uygun olarak dağıtmaktadır. Noktasal ışık kaynağı olan LED'lerin amaca uygun aydınlatmasını sağlamak için lensler kullanılmaktadır. Bu lenslerin tasarımları çeşitli ticari yazılımlarla yapılabilmektedir. Ancak tasarım süreci uzmanlık gerektiren bir işittir. Lens tasarımının daha rahat yapılabilmesi LED'lerin yoğun olarak kullanılmasıyla giderek önem kazanmaktadır. Lensler, özel programlar sayesinde birçok parametre yardımıyla tasarlanan yapılardır. Bu çalışmada ışın haritalama yöntemi kullanarak lens tasarımı geliştirilmiştir. Lens tasarımı için profesyonel optik tasarım yazılımları yerine C# programlama dili ile oluşturulmuş bir yazılım kullanılmıştır. Böylece yazılım kullanıcı karmaşık hesaplamalar yerine sadece giriş parametrelerini değiştirerek lens tasarımı yapabilir hale gelmiştir.

Chen ve arkadaşları (2011), çalışmalarında iki aşamalı LED lens tasarım optimizasyonunu önermişlerdir. Bu optimizasyonda ışık kalitesi ve homojen parlaklık optik kalite hedefidir. Simülasyon deneylerinde optik tasarım programı (TracePro) ve Taguchi yöntemi kullanılmıştır. İlk aşamada, merceğin şeklinin ön optimizasyonu için görüş açısı optik kalite hedefi olarak belirlenmiştir. İlk aşamadaki LED lens parametreleri Taguchi yönteminde kullanılmış ve sonra lensin görüş açısını ve homojen parlaklığı tahmin edebilmek için geriye yayımlı yapay sinir ağı kurulmuştur. Genetik algoritmalar ise optimum dizayn parametrelerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır. Genetik algoritmaların sonucuna göre en iyi görüş açısı 135°, homojenlik %93.35 bulunmuştur [4].

Ding ve arkadaşları (2008), LED ışık akısının aydınlatma durumuna göre dağıtımını yapacak ikincil bir optik tasarımı önermektedirler. LED kaynağı ve istenilen aydınlatma karakterlerini temsil eden bir set birinci dereceden kısmi diferansiyel denklem sunulmuştur. Serbest biçimli optik lensler bu verilen denklemler çözülerek hesaplanmıştır. Simülasyonlarda herhangi bir optik tasarım programı yerine C programlama dili kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, serbest formülü lenslerde %90 oranında homojen aydınlatmaya yaklaşıldığını göstermiştir [5].

Zheng ve arkadaşı (2013), çalışmalarında LED dizisinden homojen aydınlatma elde edebilmek için tek bir LED'in aydınlatma dağılımını tasarlamışlardır. En az varyasyon katsayısı ile ortalama karesel hata hesaplanmıştır. Kare LED'ler için aydınlatma homojenliği 0.94'e ulaşmıştır. LED dizisinin homojenliğinin testi için ikincil bir lens tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçlarında yükseklik-mesafe oranı 3.33 iken aydınlatma homojenliğinin 0.92 olduğu gözlenmiştir [6].

Wei ve arkadaşları (2019), yol aydınlatma uygulamaları için çok yüzeyli serbest biçimli bir lens tasarımı üzerine çalışmışlardır. Lens konfigürasyonu bir giriş yüzeyini, bir iç yansıtıcı ve iki serbest biçimli çıkış

yüzeyini içermektedir. Çok yüzeyli tasarım problemini çözmek için ışın haritalama yöntemi, genetik algoritma ve yüzey yeniden yapılandırma yöntemiyle birleştirilen verimli bir yöntem önerilmiştir [7].

Wu ve arkadaşları (2018) çalışmalarında aydınlatma mühendisliğinin gelişimini ilerletmede kilit bir faktör olan serbest biçimli aydınlatma optiklerinin tasarımına odaklanmışlardır. Serbest biçimli aydınlatma tasarımı yöntemlerini incelemişlerdir. Bu yöntemler ışın haritalama yöntemi, Monge-Amp'ere denklem yöntemi ve destekleyici kuadrik yöntem, Monge-Amp'ere denklem yöntemi ve destekleyici kuadrik yöntemidir. Bu tasarım yöntemlerinin özellikleri ve sınırlamaları gösterilmiş ve bu yöntemlerin ileriye dönük bakış açılarıyla bir özeti de verilmiştir [8].

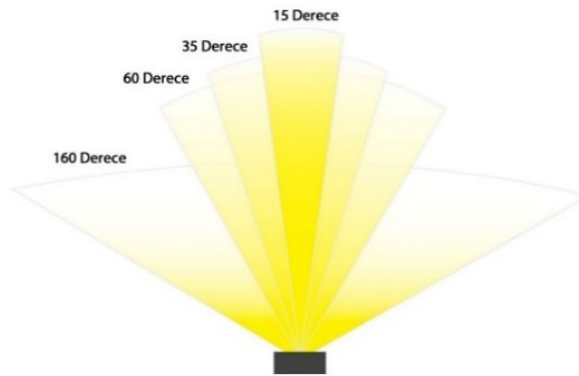
Ma ve arkadaşları (2015) LED'li aydınlatma ürünleri için ışın haritalama yöntemi ile serbest form lens tasarımı yapmışlardır. Kullandıkları yöntem istenilen aydınlatma desenini sağlarken yüzey entegrasyonu ve hesaplama açısından zorluklar içermektedir. Çalışmalarında serbest biçimli TIR yüzeyleri tasarlamak için geleneksel küresel koordinat sistemini kaynak yoğunluğuna göre bölümlere ayırmışlardır. Böylece yüzey hataları azaltılmış ve daha sağlam lens elde edilmiştir [9].

2. Materyal ve Metot (Material and Method)

2.1. İkincil Optikler (Secondary Optics)

LED'ler ışıklarını belirli açılarda yaydıklarından istenilen özellikle aydınlatma armatürü üretmek isteyen tasarımcılar birincil ya da ikincil optik kullanmalıdır. Optikler ışığı istenilen açılarda dağıtmak için kullanılan bileşenlerdir. Birincil optikler direkt LED'e tutturulmuştur [10]. LED'e tümleşik haldeki birincil optikten çıkan ışık, genellikle geniş bir açıda yayılmaktadır. Bu şekilde yayılan ışık eğer aydınlatılacak hedef yüzey uzaktaysa o yüzeye ulaşmadan kaybolmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için LED aydınlatmada ikincil optik kullanımı gerekli olmaktadır [11]. En etkili ışık kaynaklarında iyi bir optik kullanılmazsa verimliliğini yüksek oranda kaybetmektedir. Örneğin kompakt flüoresan lamba da doğru optik kullanılmazsa ışığının %70'ini kaybedebilir [12].

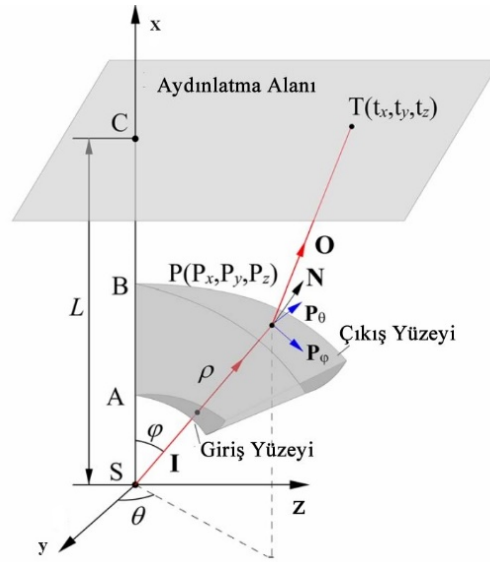
LED'ler belirli derecede ışık yayarlar ve bu derece maksimum 180 derece olabilir. Birincil optiğe sahip LED'ler genellikle 120 derecede ışık açısına sahiptirler. Ancak 120 derece çoğu uygulama için yeterli değildir. Bu sebeple ikincil optik ihtiyacı duyulur [11]. Şekil 1'de ikincil optik kullanarak ışık açıları gösterilmiştir. Işığın dağılımın kontrolü bu şekilde açılı ikincil optiklerin kullanılması ile sağlanmaktadır.



Şekil 1. İkincil optik kullanımı [10]

2.2. Işın Haritalama Yöntemi (Ray Mapping Method)

Işın haritalama yöntemi, ışık kaynağı ile hedef aydınlatma yüzeyi arasında ışın haritasının hesaplanmasına dayanır. Bu yöntemin amacı sürekli bir yüzeyin hesaplanmasını sağlayan integrallenebilir bir ışın haritası bulmaktır [13]. Tasarımı yapılacak lensin giriş yüzeyi küresel olduğu kabul edilir. Işık kaynağı giriş yüzeyine yerleştirilir. Tasarımda serbest biçimli lens kayıpsız olarak kabul edilir. Şekil 2'de serbest biçimli bir merceğin geometrik tasarımı gösterilmiştir. Kartezyen koordinat sisteminin başlangıç noktasında bulunan kaynak S'den gelen bir ışık ışını, yayılma yönünü değiştirmeden giriş yüzeyinden geçerek P noktasında merceğin çıkış yüzeyi ile kesişir ve ardından çıkış yüzeyi tarafından kırıldıktan sonra T noktasındaki aydınlatma düzlemine çarpmaktadır [8].



Şekil 2. Işın haritalama yöntemi [8]

Işın haritalama yöntemi Denklem 1'deki gibi ifade edilebilir [8].

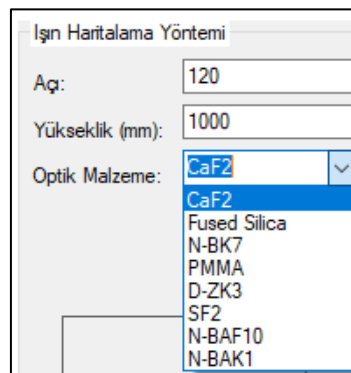
$$\begin{cases} tx = X \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_{max}}, & tz = \frac{4\theta}{\pi} x Z \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_{max}}, & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{4} \\ tx = X \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_{max}} x \left(2 - \frac{4\theta}{\pi}\right), & tz = Z \frac{\sin\varphi}{\sin\varphi_{max}}, & \frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Denklem 1 ışığın belirli bir yönde nasıl dağıldığını ve lensin şeklini nasıl değiştirebileceğini hesaplamak için kullanılır. X ve Z'nin kesişim noktası ışık kaynağının konumu kabul edilir. φ lensin odak açısını temsil eder. $\sin\varphi_{max}$ ise lensin maksimum ışık dağılım kapasitesidir. θ ise ışığın yayılma açısıdır [8].

3. Araştırma Bulguları (Research Findings)

LED'ler, Lambert ışık dağılımları nedeniyle genellikle genel aydınlatmaya doğrudan uygulanamaz. LED ışığını istenen bir hedefe yeniden dağıtmak için ikincil optiğe ihtiyaç vardır. Aydınlatma tasarımının amacı, özenle tasarlanmış bazı optik yüzeyler aracılığıyla önceden belirlenmiş bir aydınlatma dağılımı üretmektir.

Işın haritalama yöntemi belirli parametrelerin kullanıcı tarafından seçilmesi ile gerçekleştirilir. Bu parametreler tasarımı yapılacak lensin performansını ve etkinliğini etkiler. Bu parametreler; lensin ne kadar geniş ya da dar açı ile ışık yayacağını belirleyen açı, lensin hedef yüzeye olan uzaklığı Yükseklik (mm) ve ışığın geçirgenliğini ve yansımaya özelliklerini etkileyecek optik malzeme seçimidir. Şekil 3'te parametre seçim alanı verilmiştir.



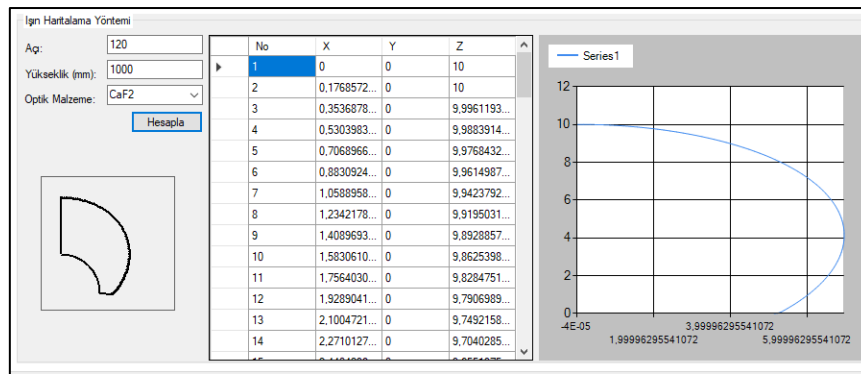
Şekil 3. Parametre seçim alanı

Lens tasarımında kullanılan optik malzemenin türüne göre serbest biçimli yüzeyin koordinat noktaları değişmektedir. Çünkü her optik malzemenin kırılma indeksleri birbirinden farklıdır. Yazılımda lens tasarımında sıklıkla kullanılan 8 optik malzemeye yer verilmiştir. Bu malzemelerin kırılma indeksleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Lenslerin yapımında kullanılan optik malzemeler, lenslerin performansı ve dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Tablo 1. Yazılımda verilen malzemelerin kırılma indeksleri

No	Malzeme Adı	Kırılma İndeksleri
1	CaF2	1.4338
2	Fused Silica	1.4585
3	N-BK7	1.4990
4	PMMA	1.4935
5	D-ZK3	1.5891
6	SF2	1.6477
7	N-BAF10	1.6700
8	N-BAK1	1.5728

Işın haritalama yöntemi ile lens tasarımı için oluşturulacak lensin aydınlatma açısı, lens ile hedef yüzey arasındaki mesafe ve lens malzemesi seçilerek tasarımın X ve Z noktaları hesaplanabilir. Şekil 4’de örnek bir hesaplama gösterilmiştir. Bu örnek hesaplamada 120 derecede ışık yayan, 1000 mm hedef yüzeyi aydınlatacak ve optik malzemesi CaF2 olan bir lens tasarımı yapılmıştır.



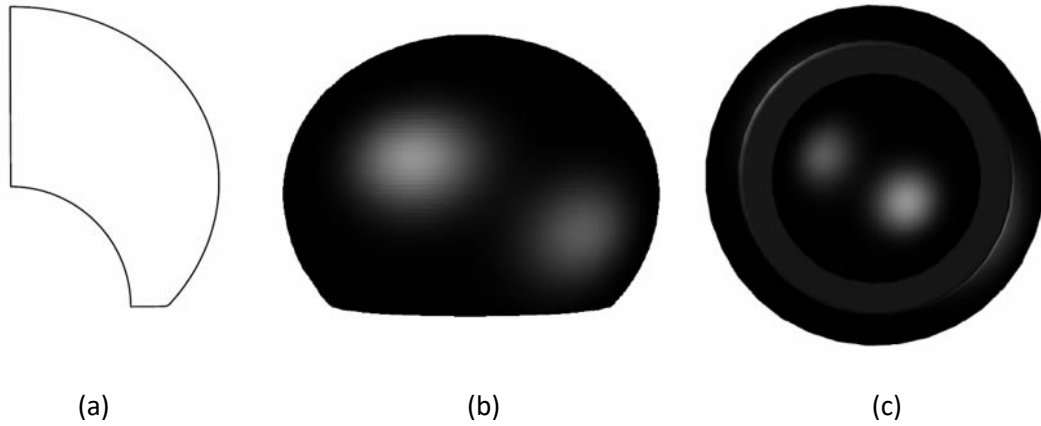
Şekil 4. Işın haritalama yöntemi

Işın haritalama yöntemi ile lensin koordinat düzleminin birinci bölgesindeki 91 noktası elde edilir. Bu durum Şekil 4’te çizim şeklinde verilmiştir. Tablo 2’de ışın haritalama yönteminden elde edilen X ve Z koordinatları verilerinin bir kısmı verilmiştir.

Tablo 2. Işın haritalama yöntemi verileri

No	X	Y	Z
1	0	0	10
2	0.176857262	0	10
3	0.353687887	0	9.99611933
4	0.530398317	0	9.98839148
5	0.706896682	0	9.97684327
6	0.883092411	0	9.961498791
7	1.058895844	0	9.942379296
8	1.234217833	0	9.919503146
9	1.408969344	0	9.892885799
10	1.583061065	0	9.862539858
...

Işın haritalama yöntemi ile elde edilen veriler sadece X ve Z koordinatlarına aittir. Ayrıca ışın haritalama yöntemine göre lensin sadece dış yüzeyi hesaplanır, LED'in yerleştirileceği alt yüzey küresel olarak kabul edilir. Lens tasarımının tamamlanabilmesi için Y koordinatlarının ve alt yüzeyin oluşturulması gerekmektedir. Bu işlemler için Şekil 5 (a)'daki gibi ışın haritalama yönteminden elde edilen veriler ile dış yüzey çizilir. İç yüzey bir yarım küre gibi kabul edileceği için çeyrek çember çizilir. Elde edilen şekil X ekseninde döndürülerek lens Şekil 5 (b)'deki gibi yan görünüş, Şekil 5 (c)'deki gibi alt görünüş elde edilir.



Şekil 5. Işın haritalama yöntemi ile elde edilen lens tasarımları

4. Tartışma ve Sonuç (Results and Discussion)

Bu çalışmada yapay görü sistemlerinde kullanılabilen bir lens tasarımı üzerine çalışılmıştır. LED'ler noktasal ışık kaynakları olduğu için istenilen şekilde aydınlatma alanı oluşturabilmek için ikincil optiklerden lenslere ihtiyaç duyarlar. Lens tasarımı için ışın haritalama yöntemi kullanılmıştır. Işın haritalama yöntemi istenilen aydınlatma düzeni için birden çok optik yüzeyin aynı anda işlenmesine olanak sağlar. Ayrıca bu yöntem noktasal ışık kaynakları için çok hızlı ve etkilidir [14]. Ancak karmaşık optik hesaplamalar gerektirdiği için zaman alıcıdır. Işın haritalama yönteminde LED'in konumlandırılacağı giriş yüzeyi küresel kabul edilerek çıkış yüzeyi tasarlanır. Hazırlanan yazılım ile lens verilerinin X ve Z koordinat düzleminde noktaları elde edilmiştir. Elde edilen çıkış yüzeyine küresel giriş yüzeyi eklenerek Y düzleminde döndürülmesi ile lens tasarımı elde edilmiştir. Bu çalışmada ile ışın haritalama metodu profesyonel optik tasarım programı yerine C# yazılım dili kullanılarak hazırlanmıştır. Böylece karmaşık optik hesaplamayı ortadan kaldırarak sadece kullanıcıdan giriş parametrelerinin girilmesi sağlanarak lens tasarımı yapılmıştır.

Kaynaklar (References)

- [1] G. Zissis, Energy Consumption and Environmental and Economic Impact of Lighting: The Current Situation, Handbook of Advanced Lighting Technology, Springer International Publishing, 2017, 921-933, doi:10.1007/978-3-319-00176-0_40.
- [2] C. Perdahçı, U. Hanlı, Verimli Aydınlatma Yöntemleri, 3E Elektrotech Dergisi, 2009, 323-327, ISSN: 1303-4782
- [3] Y. Erol, T. Canbolat, Aydınlatma Sektöründe Yeni Nesil Power LED Teknolojileri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2011.
- [4] W.C. Chen, T.T. Lai, M.W. Wang, H.W. Hung, An optimization system for LED lens design, Expert Systems with Applications, vol. 38, 11976-11983, 2011.
- [5] Y. Ding, X. Liu, Z. Zheng, P. Gu, Freeform LED lens for uniform illumination, Optics Express, Vol. 16, Issue 17, 12958-12966, 2008. [DOI: 10.1364/OE.16.012958]
- [6] J. Zheng, K. Qian, Designing single LED illumination distribution for direct-type backlight, Applied Optics, Vol. 52, Issue 28, 7022-7027, 2013. [DOI: 10.1364/AO.52.007022]

- [7] S.L. Wei, Z.B. Zhu, Z.C. Fan, Y.M. Yan, D.L. Ma, Multi-surface catadioptric freeform lens design for ultra-efficient off-axis road illumination, *Optics Express*, Vol. 27, Issue 12, A779-A789, 2019. [DOI: 10.1364/OE.27.00A779]
- [8] R. Wu, Z. Feng, Z. Zheng, R. Liang, P. Benítez, J. C. Miñano, F. Duerr, Design of Freeform Illumination Optics, *Laser & Photonics Reviews*, Vol. 12, Issue 7, 2018 [DOI: 10.1002/lpor.201700310]
- [9] D. Ma, Z. Feng, R. Liang, Freeform illumination lens design using composite ray mapping, *Applied Optics*, Vol. 54, no. 3, pp. 498-506, 2015. DOI: 10.1364/AO.54.000498.
- [10] LED Armatürlerde Optik Tasarımın Faydaları, Aydınlatma Teknolojileri Araştırma ve Eğitim Derneği. Erişim Tarihi: 22.05.2024
- [11] Lens, Aydınlatma Teknolojileri Araştırma ve Eğitim Derneği, <https://aydinlatma.org/lens.html>. Erişim Tarihi: 23.05.2024
- [12] LED'ler: Optik Performansı Anlamak, <https://agustos.com/yazilar/ledler-optik-performans-anlamak>. Erişim Tarihi: 23.05.2024
- [13] C. Bösel, H. Gross, Ray mapping approach for the efficient design of continuous freeform surfaces, *Optics Express*, Vol. 24, Issue 13, 14271-14282, 2016 [DOI: 10.1364/OE.24.014271]
- [14] D. Ma, Exploration Of Ray Mapping Methodology In Freeform Optics Design For Non-Imaging Applications, PhD thesis. University of Arizona, 2015.