



OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜNİTELERİNDE  
KULLANILAN MALZEMELERİN VE YÜZEYLERİNİN  
IŐIŐA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hakan KARAGÖL

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ender Gökhan GECE

2017



**T.C.**  
**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜNİTELERİNDE KULLANILAN  
MALZEMELERİN VE YÜZEYLERİNİN IŞIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAKAN KARAGÖL**

**İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**BURSA**

**Mart 2017**



**T.R.**  
**BURSA TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MATERIALS USED IN  
AUTOMOTIVE EXTERIOR LIGHTING PARTS TO LIGHT**

**A THESIS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**HAKAN KARAGÖL**

**ADVANCED TECHNOLOGIES PROGRAM**

**BURSA**

**March 2017**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

“HAKAN KARAGÖL” tarafından “DOÇ.DR. ENDER GÖKHAN GECE” yönetiminde hazırlanan “OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜNİTELERİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN VE YÜZEYLERİNİN IŞIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tez, kapsamı ve niteliği açısından incelenmiş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Sınav Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ender Gökhan GECE, .....  
(Bursa Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü)

Prof. Dr. Deniz UZUNSOY .....  
(Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)

Prof. Dr. Enver OKTAY .....  
(İstanbul Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği)

Tez Savunma Tarihi: 03/03/2017

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Murat ERTAŞ

## MASTER OF SCIENCE THESIS EXAMINATION RESULT FORM

The thesis entitled “INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MATERIALS AND THEIR SURFACES USED IN AUTOMOTIVE EXTERIOR LIGHTING PARTS TO LIGHT” completed by “HAKAN KARAGÖL” under supervision of “ASSOC. PROF. DR. ENDER GÖKHAN GECE” has been reviewed in terms of scope and quality and approved as a thesis for the degree of Master of Science.

### Jury Members

Assoc. Prof. Dr. Ender Gökhan GECE .....  
(Bursa Technical University, Chemistry)

Prof. Dr. Deniz UZUNSOY .....  
(Bursa Technical University, Metallurgical and Materials Engineering)

Prof. Dr. Enver OKTAY .....  
(Istanbul University, Metallurgical and Materials Engineering)

Date of Examination: 03/03/2017

Director of Graduate School of Natural and Applied Sciences

Assoc. Prof. Dr. Murat ERTAŞ

## İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Hakan KARAGÖL

İmzası:

X X X X

## TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması sürecinde ve yüksek lisans eğitimi süresince anlayıő gösteren eőim Zahide Ümit Karagöl'e, eğitim ve tez süreci boyunca destekleyen değerli danışman hocam Doç.Dr. Gökhan Gece'ye, eğitime ve bu teze temel oluşturan projedeki ekstra çalıőmalarına izin verdiği için FARBA A.Ő'deki yöneticilerime ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



## İçindekiler

### Sayfa No

Dış Kapak .....	
İç Kapak.....	
Tez Sınav Sonuç Formu.....	
İntihal Beyanı.....	
Önsöz .....	
İçindekiler .....	i
Şekil Listesi.....	ii
Çizelge Listesi.....	v
Sembol Listesi.....	vi
Kısaltma Listesi .....	vii
ÖZET .....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Otomotiv Aydınlatması .....	5
2.2 Otomotiv Regülasyonları .....	8
2.3 Işığın Katılarla Etkileşimi .....	9
2.4 LED Genel Bilgi.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	54



## Şekil Listesi

### Sayfa No

Şekil 2.1 Matrix LED sistemine sahip bir araç .....	6
Şekil 2.2 Işık dağıtıcı özellikli malzemelerin karşılaştırmasını gösteren görsel.....	7
Şekil 2.3 Işık demetinin etkileşimleri .....	9
Şekil 2.4 Polimer malzemeden geçen ışığın davranışı.....	10
Şekil 2.5 Pus değerinin hesaplanmasında kullanılan ışınlar .....	11
Şekil 2.6 Gelen ışının farklı ortamdaki davranışı .....	11
Şekil 2.7 Parlaklık hesaplanmasında kullanılan ışın.....	12
Şekil 2.8 Osram Topled LA T67F'nin ışık yayılım karakteristiği .....	13
Şekil 2.9 Osram Topled LA T67F'nin sıcaklık-ışık akısı grafiği.....	14
Şekil 3.1 Yayılım sensörü - İzometrik görünüş .....	20
Şekil 3.2 Yayılım sensörü ayar penceresi .....	21
Şekil 3.3 Yayılım Sensörü - Karşıdan görünüş.....	21
Şekil 3.4 Yoğunluk sensörü ayar penceresi .....	22
Şekil 3.5 Yoğunluk sensörü - İzometrik görünüş .....	23
Şekil 3.6 Yoğunluk sensörü - Arkadan görünüş .....	23
Şekil 3.7 Işık yayılım kontrol çizgisi .....	24
Şekil 4.1 Unistop-4 lambasının karşıdan görünümü.....	25
Şekil 4.2 Unistop-4 patlatılmış görüntüsü .....	25
Şekil 4.3 Pozisyon lambasına ait LED'lerin dağılımı .....	26
Şekil 4.4 LED'ler arası mesafe.....	27
Şekil 4.5 LED'ler ile lensin iç yüzeyi arasındaki mesafe.....	28
Şekil 4.6 LED'lerin ışık çıkış açıları .....	28
Şekil 4.7 Kuşlamsız PMMA gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	29
Şekil 4.8 Kuşlamsız PMMA ters renk ışık yayılım görüntüsü.....	29
Şekil 4.9 Kuşlamsız PMMA ters renk ışık yayılım grafiği .....	29
Şekil 4.10 Kuşlamsız PMMA ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	30
Şekil 4.11 Kuşlamsız PMMA - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	30
Şekil 4.12 Kuşlamalı PMMA gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	31
Şekil 4.13 Kuşlamalı PMMA ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	31
Şekil 4.14 Kuşlamalı PMMA ters renk ışık yayılım grafiği .....	31
Şekil 4.15 Kuşlamalı PMMA ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	32

Şekil 4.16	Kuclamalı PMMA - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	32
Şekil 4.17	Kuclamasız Diffuse101 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	33
Şekil 4.18	Kuclamasız Diffuse101 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	33
Şekil 4.19	Kuclamasız Diffuse101 ters renk ışık yayılım grafiği .....	33
Şekil 4.20	Kuclamasız Diffuse101 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	34
Şekil 4.21	Kuclamasız Diffuse101 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	34
Şekil 4.22	Kuclamalı Diffuse101 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	35
Şekil 4.23	Kuclamalı Diffuse101 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	35
Şekil 4.24	Kuclamalı Diffuse101 ters renk ışık yayılım grafiği.....	35
Şekil 4.25	Kuclamalı Diffuse101 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	36
Şekil 4.26	Kuclamalı Diffuse101 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	36
Şekil 4.27	Kuclamasız Diffuse301 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	37
Şekil 4.28	Kuclamasız Diffuse301 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	37
Şekil 4.29	Kuclamasız Diffuse301 ters renk ışık yayılım grafiği .....	37
Şekil 4.30	Kuclamasız Diffuse301 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	38
Şekil 4.31	Kuclamasız Diffuse301 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	38
Şekil 4.32	Kuclamalı Diffuse301 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	39
Şekil 4.33	Kuclamalı Diffuse301 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	39
Şekil 4.34	Kuclamalı Diffuse301 ters renk ışık yayılım grafiği.....	39
Şekil 4.35	Kuclamalı Diffuse301 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	40
Şekil 4.36	Kuclamalı Diffuse301 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	40
Şekil 4.37	Kuclamasız Diffuse502 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	41
Şekil 4.38	Kuclamasız Diffuse502 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	41
Şekil 4.39	Kuclamasız Diffuse502 ters renk ışık yayılım grafiği .....	41
Şekil 4.40	Kuclamasız Diffuse502 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	42
Şekil 4.41	Kuclamasız Diffuse502 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	42
Şekil 4.42	Kuclamalı Diffuse502 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	43
Şekil 4.43	Kuclamalı Diffuse502 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	43
Şekil 4.44	Kuclamalı Diffuse502 ters renk ışık yayılım grafiği.....	43
Şekil 4.45	Kuclamalı Diffuse502 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	44
Şekil 4.46	Kuclamalı Diffuse502 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	44
Şekil 4.47	Kuclamasız DF23 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	45
Şekil 4.48	Kuclamasız DF23 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	45
Şekil 4.49	Kuclamasız DF23 ışık yayılım grafiği .....	45

<b>Şekil 4.50</b> Kuşlamasız DF23 ters renk ışık şiddeti görüntüsü.....	46
<b>Şekil 4.51</b> Kuşlamasız DF23 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	46
<b>Şekil 4.52</b> Kuşlamalı DF23 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü .....	47
<b>Şekil 4.53</b> Kuşlamalı DF23 ters renk ışık yayılım görüntüsü .....	47
<b>Şekil 4.54</b> Kuşlamalı DF23 ters renk ışık yayılım grafiği.....	48
<b>Şekil 4.55</b> Kuşlamalı DF23 ters renk ışık şiddeti görüntüsü .....	48
<b>Şekil 4.56</b> Kuşlamalı DF23 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri.....	48



## Çizelge Listesi

### Sayfa No

Çizelge 2.1 VDI Büyüklük Tablosu.....	7
Çizelge 2.2 Osram Topled LA T67F'nin ışık şiddetine göre grupları .....	13



## Sembol Listesi

cd Kandela – Işık Şiddeti Birimi

cd/ m<sup>2</sup> Metrekareye düşen ışık şiddeti

lm Lümen

mlm Mililümen

mcd Milikandela

m Metre

mm Milimetre



## Kısaltma Listesi

LED	Light Emitting Diode Işık Yayan Diyot
PC	Polycarbonate Polikarbonat
PMMA	Polymethyl Methacrylate Polimetilmetakrilat
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene Akrilonitril Bütadien Stiren
PP	Polypropylene Polipropilen
PA	Polyamide Poliamit
BMC	Bulk Moulding Compound Temel Kalıplama Bileşigi
UV	Ultraviolet Ultraviyole
OEM	Original Equipment Manufacturer Orjinal Ürün Üreticisi
VDI	Verein Deutsche Ingenieure Alman Mühendisler Birliği
UNECE(ECE)	United Nations Economic Commission of Europe Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Topluluğu
CIE	Commission International de l'Eclairage Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
ASTM	American Society for Testing and Materials Amerikan Test ve Materyal Derneği
SPIE	The International Society for Optical Engineering Optik Mühendisliği için Uluslararası Derneği
ISAL	International Symposium on Automotive Lighting Otomotiv Aydınlatması Uluslararası Sempozyumu

## ÖZET

### OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜNİTELERİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN VE YÜZEYLERİNİN IŞIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Hakan KARAGÖL**

Bursa Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Doç. Dr. Ender Gökhan GECE

03.03.2017, 53 Sayfa

Otomobillerin aydınlatması aracın stilinde önemli bir paya sahiptir. Trafikte güvenliği sağlamak için kullanılan aydınlatmalar, gün geçtikçe aracın stilinde daha fazla söz sahibi olmaktadır. Bundan dolayı farklı malzemeler ve yüzeyler kullanılarak daha özgün tasarımlar yapma ihtiyacı otomobil üreticilerinde ortaya çıkmıştır. LED'lerin de kullanılmaya başlanmasıyla tasarımlar daha kompakt ve daha özgür yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı ışığın yayılımına etki eden malzemeler ve bu malzemelerden üretilen parçalara uygulanan işlemlerin etkisini araştırmaktır. Bunun için otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanılan standart malzemeler dışında özel malzemeler de incelenerek aralarındaki farklar göz önüne koyulmuştur.

Işık yayılımının homojen ya da iyi olup olmaması kişiden kişiye değişen bir olgudur. Bu çalışmada temel alınan homojen yayılım ise en az piyasada bulunan benzerleri kadar homojen bir lamba olmasını sağlamaktır.

Piyasada bulunan ve bu çalışmadaki pozisyon lambasına sahip ürünler ile kıyaslama yapıldığında LED'lerin lenslere olan mesafesi diğerlerine göre daha azdır. Bundan dolayı iç lensin iç ve dış yüzeylerine kumlama denen ışık dağıtmaya yarayan işlem yapılmasına rağmen yeterli olmamış, bundan dolayı özel ışık dağıtıcı malzeme kullanılmak zorunda kalınmıştır.

Çıkan sonuçlarda ortaya çıkan özel malzemeler, genel malzemelere göre daha pahalı olduğundan dolayı, performans-fiyat endeksi yapılarak ve piyasa koşulları göz önüne alınarak malzeme seçimi yapmak en doğrusu olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, Aydınlatma, Işık, Malzeme, Geçirgenlik, Kumlama, Saçılma

## **ABSTRACT**

# **INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MATERIALS USED IN AUTOMOTIVE EXTERIOR LIGHTING PARTS TO LIGHT**

**Hakan KARAGÖL**

Bursa Technical University

Graduate School of Natural and Applied Science

Advanced Technologies Program

Master of Science Thesis

Assoc. Prof. Dr. Ender Gökhan GECE

03.03.2017, 53 Pages

Automotive lighting has a big role in the appearance of the cars. Exterior Lighting which was started for security reasons in the traffic, is becoming more important in the style of the car. That is why different materials and surfaces are used for the unique design needs. More compact and unique designs can be done with the use of LEDs.

Scope of this thesis is to investigate new materials and surfaces' effects to the Light output. Special manufactured materials were also used rather than standard materials to see the differences between them.

Homogeneous or good light output is a concept which is different for any human. Homogeneous light distribution definition for this thesis is to be as homogeneous as any other lamps in the market.

When a comparison was made between lamps in the market and the lamp created for this thesis, it has been seen that distance between light sources and lens is less than other lamps in the market. Graining on the surfaces of inner lens was applied to scatter the light more but this was not enough. That is why special scattering materials were forced to use.

According to results, it will be the best choice to make a performance-price index before choosing the material, since special materials are expensive compared to most sold materials.

Keywords: Automotive, Lighting, Light, Material, Graining, Scattering



## 1. GİRİŞ

1886 yılında Karl Benz'in ilk motorlu arabanın patentini almasıyla ve ilk montaj hattının kurulmasıyla başlayan otomotiv endüstrisi, insanoğlunun ihtiyaçlarından dolayı giderek büyümüş ve günümüzdeki en büyük endüstrilerden biri olmuştur [1]. Otomotiv endüstrisi, kendisinin büyük olmasının yanında, kendisine bağlı olan tüm endüstrileri de büyütebilmeyi sağlayan sektörlerden birisidir. Kimya endüstrisi, otomotiv sayesinde ilerlemiş, elektronik sektörü otomotiv sayesinde daha sağlam ürünler yapmayı sağlamıştır. Otomotiv endüstrisinin bu kadar büyümesinin en büyük nedeni tabii ki insanların daha hızlı ve rahat seyahat edebilmeleri içindir.

Günümüzde 800 milyon adet araç dünya çapında kullanılmaktadır ve bu sayı dünya nüfusunun %12'sine denk gelmektedir. 2020 yılında bu oran, o günkü nüfusun %15'ine geleceği tahmin edilmektedir[2]. Nüfus artışının devam edeceği varsayılırsa otomotiv endüstrisinin geleceğinin parlak olacağı aşikârdır. Ancak yıllar ilerledikçe otomobil üreticilerinin üzerindeki baskılar artmış ve bu baskılar onları daha güvenli ve verimli araçlar yapmaya teşvik etmişlerdir. Otomobil üreticileri, her bir parçada yapılabilecek tüm iyileştirmeleri yapmaya başlamışlardır. Bu iyileştirmeler üretim teknolojilerinin ilerlemesiyle paralel olarak mümkün olmuştur. Ağırlık azaltılmasıyla başlayan bu süreç, diğer tüm parçalara da etki etmiştir ve özellikle polimer endüstrisinin uzun ömürlü, dayanıklı ve kolay şekillendirilebilir parçalar yapmasıyla ivme kazanmıştır. Tabii ki bu ivmenin kaynağı, kompozit malzemelerin bulunmasıyla olmuştur.

Polimerlerin bulunması ve seri üretiminin yapılabilmesi, otomotiv aydınlatmasını da etkilemiştir. İlk başlarda metalden üretilen gövdeler, daha sonra plastik malzemelerden üretilmeye başlamıştır. İlk araçlarda lensler camdan üretilirken, artık PC(Polikarbonat) ve PMMA(polimetilmetakrilat) gibi plastik malzemelerden üretilmektedir. Bu geçişin amacı, hem aracın daha hafif olması, hem de aynı ya da daha fazla ömre ve özelliklere sahip olmalarındandır. Gövdede kullanılan sac metaller, plastiklere göre; üretilmesi ve şekillendirmesi çok daha zor iken, plastiklerde (enjeksiyon ve kalıp üretiminin gelişimi ile) kompleks geometriler tek parça olarak üretilebilmektedir. Lenslerde kullanılan camlar, hem ağır hem de kolaylıkla kırılıbiliyorken, PC ve PMMA malzemeler hem daha hafif, hem üretimi kolay, hem de şekillendirmesi çok daha basit olmaktadır. Cam

lenslerdeki, yoldan gelen taş ve benzeri parçalardan dolayı kırılma sorunu, plastik lensler ile minimuma indirgenmektedir.

Farklı polimerlerin kullanılabilceğinin anlaşılmasıyla araç üreticileri, kendi araç stillerinin öne çıkması için farklı tarzlarda stil çalışmalarında bulunmuşlardır ve dış aydınlatma ürünleri de bu çalışmalara dâhil edilmişlerdir. Dış aydınlatma ürünlerinde istenen ışığın farklı şekillerde görünerek stile katkıda bulunmasıdır. Bunun için ise farklı özelliklere sahip ışık kaynakları ve lenslere ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı özelliklere sahip lensler için polimer endüstrisi de farklı polimerler oluşturarak araç üreticilerinin istediği özelliklere sahip lenslerin üretimi için katkıda bulunmaktadır.

Araç üreticilerinin LED (Light Emitting Diode – Işık yayan diyotlar)'lerin kullanımının artmasıyla birlikte kullanıcılarından aldığı şikâyet LED'lerin parlaklığının arkadan gelen sürücüyü rahatsız etmesidir. LED'ler ise daha az güç sarf etmesi ve küçük olmaları nedeniyle kullanılmaktadır. Hem LED'lerin kullanılmasını sağlamak, hem de LED'lerden kaynaklanan şikâyetleri engellemek için şeffaf lensler yerine ışığı dağılmasını sağlayacak özel malzemelerden üretilen lensler kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin ışığı ne kadarını geçirip geçirmediği vb. bilgiler ürün kartlarında mevcuttur.

LED'lerin parlaklığını engellemek için yapılan bir diğer işlem ise kumlama işlemidir. Bu işlem sayesinde ışık düz yüzey yerine pürüzlü bir yüzeye çarparak ışık saçılması sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, endüstride araç aydınlatmalarında kullanılan farklı malzemelerin ve farklı yüzeylerin ışığın şiddetine ve yayılmasına nasıl etki ettiğini araştırmaktır. Çalışmada, farklı malzemelerin etkisini görmek için şeffaf PMMA ve polimer üreticilerinin ürettiği özel ışık dağıtıcı özellikli malzemeler kıyaslanmıştır. Bu malzemeler piyasada “diffuse” malzemeler olarak anılmaktadır ve ışık dağıtma derecesine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu çalışmada, PMMA ile birlikte Diffuse 101, Diffuse 301, Diffuse 502 ve DF23 kodlu malzemeler incelenmiştir. Bu özel malzemeler kod numarası arttıkça ışığı dağıtma yüzdesi artacak şekilde sınıflandırılmaktadır. Farklı yüzeylerin etkisini görmek için de Unistop-4 arka aydınlatma lambası içinde bulunan pozisyon fonksiyonunun iç lensinin iç ve dış yüzeylerine kumlama uygulanmış ve kumlama uygulanmamış halleri ile kıyas yapılarak yüzeyin etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda ışık dağıtıcı özellikli malzemelerin derecesi arttıkça ışığı daha iyi dağıttığı doğrulanmıştır. Fakat ışığın dağılması şiddetini de azaltmıştır.

Lambanın tam karşısındaki merkez noktadaki ışık şiddeti değeri temel alındığında, kumlama olmayan hallerinde PMMA için 17,080 cd, Diffuse 101 için 12,46 cd, Diffuse 301 için 10,180 cd, Diffuse 502 için 6,620 cd değerleri bulunmuştur. Bu, PMMA ile Diffuse 502 arasındaki farkın %60'dan fazla olduğunu göstermiştir. 6,620 cd'lık değer de ECE (Economic Commission of Europe – Avrupa Ekonomik Komisyonu) şartnamesine göre pozisyon lambası için belirlenmiş minimum değer olan 6cd'ye çok yakındır[3]. Işık dağılımını kıyaslamak için ise, ışık yayılım grafiklerinin sonucu kullanılmıştır. Grafiklerin yorumlanmasında minimum ve maksimum noktalar ele alınmıştır. Bu noktalar arasındaki fark ne kadar az ise, görülen ışığın o kadar homojen olduğu söylenebilir.

Kumlamasız PMMA'nın grafiğinde minimum ve maksimum değerler arasındaki fark yaklaşık olarak 18000 cd/m<sup>2</sup> iken, kumlamasız Dif101, Dif301 ve Dif502 için ise sırasıyla 1100, 600 ve 300 cd/m<sup>2</sup> bulunmuştur. Kumlamasız hallerinde görülen değerlerdeki azalma kumlama hali için de aynı azalma görülmüştür.

Elde edilen bulgulara göre, ışık dağıtıcı özellikli malzemelerin ışığı daha iyi yaydığı anlaşılmakta ancak buna bağlı olarak ışık şiddetinin de azaldığı görülmektedir. Öte yandan yüzeylerin etkisi incelendiğinde, kumlamanın ışık dağılımına özel malzemeler kadar etkisi olmadığı ancak homojen ışık dağılımına pozitif etki ettiği tespit edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Otomotiv farları, yolu aydınlatması ve trafikteki diğer etmenlerin bizi görmesini sağladığı için önemli bir güvenlik elemanıdır. Aracın üzerinde farklı koşullara maruz kaldığı için kullanılan malzemelerden belli bir dayanıklılık istenmektedir. Gövde, ara bağlantı elemanları, estetik parçalar gibi mat olan parçaların malzemelerinden istenen ölçüsel tutarlılık, maksimum ısı dayanımı, yanıcı olmaması vb. özelliklerdir. Bu özellikleri gösteren malzemelere ABS(akrilonitrilbütadienstiren), PP(polipropilen), PA(poliamit) ve BMC(bulk moulding compound) örnek gösterilebilir.

Otomotiv farlarındaki en önemli parçalardan birisi lenstir. Lenste kullanılan malzemelerden istenen güneş ışığına dayanıklı olması, maksimum ışık geçirgenliğine sahip olması ve araç üstünde karşılaşılabilecek koşullara karşı dayanıklı olmasıdır. Bu özelliklere sahip genel olarak 2 malzeme bulunmaktadır. Bunlar PMMA ve PC'dir.

Akrilik ya da akrilik cam olarak da bilinen PMMA, metilmetakrilat'ın polimerizasyonu ile oluşturulan bir polimerdir. Ticari isimler olan Plexiglas, Acrylite, lucite vb. isimler ile de anılan PMMA, saydam termoplastik sınıfındadır. Cam kadar şeffaf olup camdan daha hafif ve dayanıklı olmasından dolayı çok kullanılmaktadır. Çok dayanım istenmeyen durumlarda, Polikarbonat'a göre ekonomik olması bir diğer kullanım tercihi sebebidir.

Otomotiv sanayisinde PMMA, genellikle saydamlık ve cam görüntüsü istenen yerlerde kullanılmaktadır. Araç içinde estetik gözükmesi istenen parçalar renkli şekillerde ya da renksiz olarak PMMA'dan üretilmektedirler.

Geçirgenliği yüksek olduğundan ve parlak görünüme sahip olduğundan PMMA tercih edilmektedir. Geçirgenliğinin yüksek olması, şartnamelerde istenen ışık değerlerinin sağlanmasında önemli etkidir. Şeffaf PMMA'nın geçirgenliği 6mm'ye kadar %92'dir[4]. Bu da kullanılan ışık kaynağından çıkan ışınların diğer malzemelerden yapılan parçalara göre daha fazla ışık geçirmesi anlamına gelmektedir. Böylece istenen ışık değeri, daha az güç ile sağlanabilmektedir. Bundan dolayı, otomotiv aydınlatmasında dış lensler genellikle PMMA'dan yapılmaktadır.

PMMA'nın tek dezavantajı kırılma olmasıdır. Araç dış aydınlatması özellikle yol koşullarında farklı cisimlerin çarpma, sürtme vb. olaylarına maruz kalmaktadır. PMMA'nın kırılma olması, bu tür durumlarda kullanılmasını etkilemektedir. Lensin

üretiminde hangi malzemenin kullanılacağına, tasarım aşamasında yapılan analizlerde, üretim sonrası araç üzerinde yapılan dayanıklılık testleri ile karar verilmektedir. Bazı durumlarda PMMA'nın üzerinde kaplama yapılarak dayanıklılığının artırılmasıyla kullanımı mümkün olmaktadır.

PMMA'dan sonra şeffaf yerlerde en çok kullanılan malzeme, kısaltması PC olan polikarbonattır. Korozyona dayanıklı olması, yandığında kendi kendini söndürebilmesi ya da alevin ilerlemesini yavaşlatması, boyutsal olarak değişiminin az olması, nem absorpsiyonunun düşük olması, UV(Ultraviolet – Mor Ötesi) dayanımının olması ve ışık geçirgenliğinin yüksek olması PC'nin en iyi özelliklerindedir.

PMMA'ya göre avantajı ise, PMMA'ya nazaran darbelere daha dayanıklı olmasıdır. Fakat PMMA'ya göre saydamlığı ve ışık geçirgenliği biraz daha azdır. Ayrıca fiyat olarak PMMA'dan daha pahalıdır.

## **2.1 Otomotiv Aydınlatması**

Otomobiller, üretim teknikleri de ilerledikçe tasarımsal olarak müşterinin dikkatini çekmek için farklı stillerde üretilebilmektedir. Dış aydınlatma ürünleri de aracın dışında bulunduğundan, aracın dış stilinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bundan dolayı, uluslararası şartnameler de göz önüne alarak tasarımlar yapılmaktadır.

Araçların dış stilleri, araç üreticilerinin (İngilizce bir tabir olan “Original Equipment Manufacturer”ın kısaltması olan OEM diye anılır) özel dış tasarım uzmanları(stilistler) tarafından belirlenir. Stilistler stili oluştururken dış aydınlatmaların da aracın stiline uygun olarak konseptler çalışırlar. Bu çalışmalar esnasında arka farlarda bulunan her fonksiyon için açık ve kapalı oldukları haller düşünülerek çalışma yaparlar. Özellikle pozisyon lambası sürekli yandığı için en önem verdikleri fonksiyondur ve pozisyon lambası için özel çalışma yapmaktadırlar ve arka aydınlatma tedarikçilerinden de özel çalışmalar beklerler. Bu çalışmalarda yeni nesil teknolojilerin kullanılması da istenir. Bu teknolojilerden birisi de LED'lerdir.

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle hayatımıza giren LED'ler, otomotiv endüstrisinde de yerini almıştır. Ampullere göre uzun yaşam ömrü, daha az yer kaplaması, şok, vibrasyon vb. çevre koşullarına daha dayanıklı olması LED'leri daha kullanılabilir kılmaktadır. Ayrıca LED'ler ampullere göre çok daha az güç harcayarak aynı işlevi yerine getirebilmektedir. Bu avantajlarının yanında, LED'ler tasarım

özgürlüğü de kazandırmaktadır. LED'lerin küçük olması yukarıda bahsedilen araç stillerinde dış aydınlatmalarından istenen estetik özellikleri vermede ampullere göre çok daha avantajlıdır.



**Şekil 2.1** Matrix LED sistemine sahip bir araç

Şekil 2.1'de görülen 2016 model aracın farlarında Matrix LED sistemi, ışık tüpü sistemi ışık dağıtıcı özelliğe sahip malzemedен yapılmış lens kullanılmıştır[5].

Şekil 2.1'deki far eski ampullü tasarımlara göre hacimsel ve boyutsal olarak çok daha küçük olup, estetik olarak çok şık ve istenen tüm fonksiyonların dışında ek özellikleri de yerine getirmektedir.

Otomotivdeki arka aydınlatma farlarına bakıldığında LED'lerin kompakt yapısı sayesinde tasarımda birçok özgün konsept oluşturulabilmektedir. LED'lerin gizlenebildiği, LED'ler için özel ışık tüpleri ve benzeri yapılar optik tasarım yapılırken başvurulan özelliklerdir. Bu çalışmada ise, ışık dağıtıcı sistem kullanılmıştır. Bu konseptte şeffaf lens yerine yarı saydam ve ışığı dağıtıcı özelliği bulunan lensler kullanılır. Amaç, ışığın çıktığı kaynağın merkezinin parlamasını önlemek ve homojen bir ışık elde etmeye çalışmaktır. Malzemenin ışık dağıtıcı özelliği ya da başka bir deyişle "diffuse" özelliği arttıkça Şekil 2.2'deki gibi daha homojen bir yayılım, fakat daha az ışık elde edilmektedir[6].



**Şekil 2.2** Işık dağıtıcı özellikli malzemelerin karşılaştırmasını gösteren görsel

Işığı dağıtıcı özelliğe sahip malzemelerin, normalde kullanılan PMMA, PC vb. malzemelere göre daha pahalı olduğunu belirtmekte fayda vardır. Bundan dolayı kimi zaman bu malzemeleri kullanmak yerine ışığın çarptığı yüzeylere kumlama denilen bir işlem yapılarak birebir aynı görüntü olmasa da, yakın görüntü elde edilebilir. Fakat bu tür işlemler uygulandığı zaman ışık, malzeme tarafından saçılmaya uğrayacağı için azalacaktır.

Bu azalma, kullanılan malzemenin niteliğine göre ve yapılan kumlama işleminin büyüklüğüne göre değişmektedir. Yapılan kumlamalar VDI(Verein Deutscher Ingenieur – Alman Mühendisler Birliği) 3400 kodlu Alman standardının içinde belirtilen büyüklüğe göre yapılmaktadır. Büyüklük arttıkça VDI standart kodu da artmaktadır(bkz. Çizelge 2.1). Uygulanan kumlamalar bu kodlar ile tasvir edilir ve uygulanır[7].

**Çizelge 2.1** VDI büyüklük tablosu

VDI Standart Numarası	Büyüklüğü ( $\mu\text{m}$ )
0	0,1
5	0,18
11	0,35
18	0,8
25	1,8
30	3,2
36	6,3
42	12,6

Uygulanan kumlamanın büyüklüğüne göre ışık kayıplarının ne kadar olacağı tartışmalıdır. VDI arttıkça ışık kaybının daha çok olacağı bilinmektedir, fakat deneysel bir sonuç elimizde bulunmamaktadır. Bu çalışmanın bir amacı da, bu kayıpları oransal olarak tespit etmektir.

## 2.2 Otomotiv Regülasyonları

Her ürün gibi otomobillerde de nasıl üretileceğine dair belli uluslararası kurallar mevcuttur. ECE olarak anılan bu kurum, otomobildeki her parça için belli kurallar yayınlamakta, üye ülkeler de bu kurallara uymaktadır. Arka aydınlatma lambasında bulunan pozisyon lambası regülasyonu 7 numaralı regülasyondur ve Türkiye dâhil yaklaşık 80 ülke tarafından kabul edilmektedir[8]. Otomotiv dış aydınlatma tasarlarken ve üretilirken bu şartnameler dikkate alınır.

Ön aydınlatmada amaç; görmektir. Bu amaç doğrultusunda, yolu aydınlatma ve gidilen istikametteki objeleri görmek için tasarlanırlar. Bunun için araçlarda ön aydınlatmada kısa huzme, uzun huzme ve sis farı bulunmaktadır. Ayrıca aracın önden görülmesi için gündüz farı, dönüş yapacağını belirten sinyal ve varlığını belirten pozisyon lambası bulunmaktadır.

Arka aydınlatmada amaç aracın görülmesidir. Bu amaç doğrultusunda, aracın varlığını gösteren pozisyon lambası, aracın yavaşladığını ya da durduğunun ya da duracağını gösteren fren lambası, aracın döneceğini gösteren sinyal lambası, aracın geri gideceğini gösteren geri vites lambası, sisli havalarda aracın varlığını göstermek için arka sis lambası bulunmaktadır. Ayrıca aracın varlığını göstermek amacıyla ışık verme özelliği bulunmayan, sadece kendisine gelen ışığı yansıtan refleks reflektörler de bulunmaktadır.

Bu lambaların her birinin amacı farklı olduğundan, verdikleri ışık miktarları, ışık dağılımları ve renklerinde de farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların amacı, hangi fonksiyonun aktif olduğunu anlayabilmek ve aracın hangi hareketi yapıyor olduğunu ya da yapacağını tahmin edebilmek içindir.

Ön aydınlatmada sinyal fonksiyonu dışında tüm ışıklar beyaz renktedir. Tüm şartnamelerde de aracın önüne kırmızı ışık gelmesi yasaklanmıştır. Hem ön, hem arka sinyal lambası kehribar (amber) rengindedir[9].



Arka aydınlatmada ise pozisyon, fren ve sis fonksiyonları kırmızı renktedir. Aralarındaki fark, sadece ışık şiddetidir. ECE şartnamelerine göre pozisyon fonksiyonu minimum 4 cd ışık verirken, stop fonksiyonu minimum 60 cd, sis fonksiyonu min. 150 cd ışık vermektedir. Ayrıca istenilen ışık dağılımları da farklıdır. Pozisyon fonksiyonu için 80°'ye kadar ışık göndermesi istenirken, bu değer stop fonksiyonu için 45°'dir. Sis için 10° yeterlidir. Geri vites ise arkadaki diğer fonksiyonlardan farklı olması için, ayrıca daha iyi görünür olması için beyaz renktedir, 80-300 cd aralığında ışık vermektedir ve 45°'ye kadar ışık göndermesi istenmektedir[3, 10, 11].

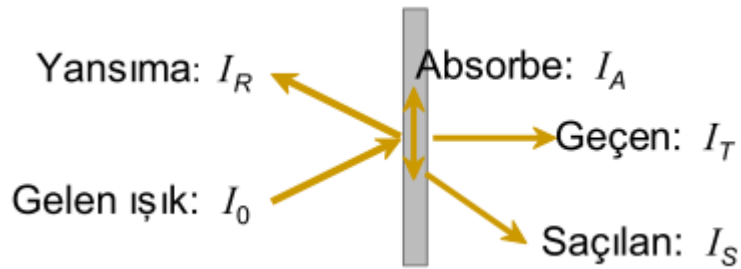
ECE şartnamelerinde bahsedilen beyaz, kırmızı ve amber renklerinin tanımı, kısaltılmış hali CIE olan "Commission Internationale de l'éclairage" isimli Uluslararası Aydınlatma Komisyonu tarafından belirlenen EK-1'deki grafiğe göre yapılmaktadır.

CIE grafiği, renklerin tanımını koordinat olarak yapılmasını sağlayan bir araçtır. Çalışmanın konusu olan pozisyon lambası kırmızı renktir. Kırmızı renk ise, CIE grafiğine göre belirtilen kromatik koordinatlar arasında kalan bölgeye denk gelen ışığın rengine verilen addır. Regülasyondaki koordinatların oluşturduğu bölge, EK-2'de grafikte gösterilmiştir.

### 2.3 Işığın Katularla Etkileşimi

Işık katularla etkileştiği zaman üç olasılığı vardır, ya yansıtılır, ya emilir ya da geçirilir.

Katı maddenin yüzeyine düşen ışık demetinin şiddeti ( $I_0$ ); geçen ( $I_T$ ), emilen ( $I_A$ ), saçılan ( $I_S$ ) ve yansıyan ( $I_R$ ) demetlerin şiddetlerinin toplamına eşit olmalıdır ve toplam katsayı olarak 1 olmalıdır.



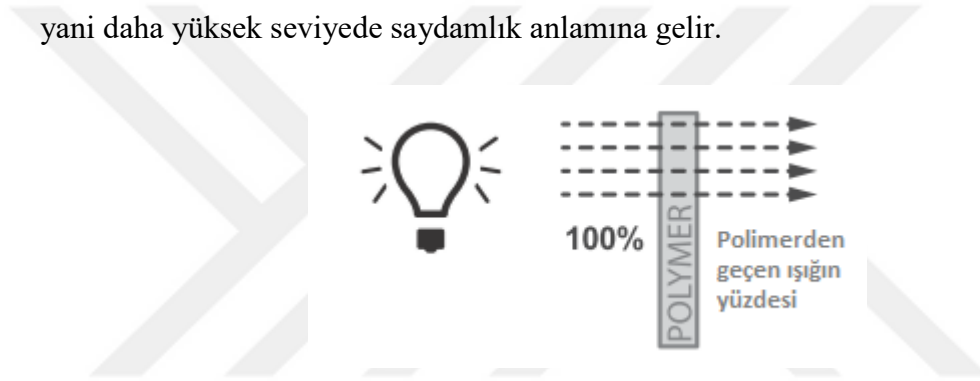
Şekil 2.3 Işık demetinin etkileşimleri

Yukarıdaki üç olasılığa göre maddelere saydam, yarı saydam ya da opak denmektedir. Eğer gelen ışıktaki, geçen ışık ile yansıtılan ya da emilen ışığın arasındaki fark fazla olduğunda cisim bize saydam görünür. Fark azaldıkça malzemeler yarı saydam görünürken, yansıtılan ya da emilen ışık, geçirilen malzemeden fazla ise o malzeme opaktır.

Opaklık, saydamlık vb. durumları belirtmek için kullanılan karakteristiklerden birkaçı aşağıdaki gibidir:

### 2.3.1 Geçirgenlik(Transmittance)

Bir polimerin geçirgenlik değeri, saydamlığını tanımlamak için önemli bir parametredir. Malzemeden daha fazla ışık geçmesi, daha fazla geçirgenlik değerine yani daha yüksek seviyede saydamlık anlamına gelir.



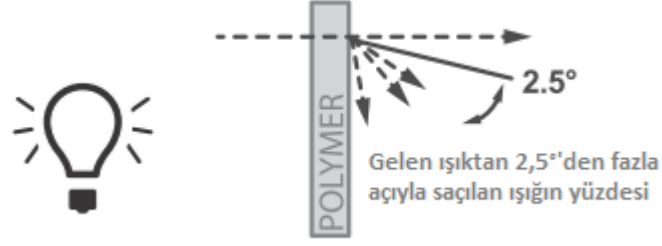
Şekil 2.4 Polimer malzemeden geçen ışığın davranışı

### 2.3.2 Pus(Haze)

Pus, ışığın malzeme içinde dağılması neticesinde malzemenin bulanıklık seviyesini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Pus, malzemenin içindeki pigment parçacıklar ve katkı maddelerinin etkisiyle oluşur. Ayrıca parçanın yüzeyindeki toz, kum, yağ vb. yabancı maddeler de pus değerini etkileyebilir. Pus değeri, kullanılacağı alan için uygunluğunu belirlemede kullanılan bir parametredir.

$$\% Pus = \frac{T_{saçılan}}{T_{tamamı}} \times 100 \quad (2.1)$$

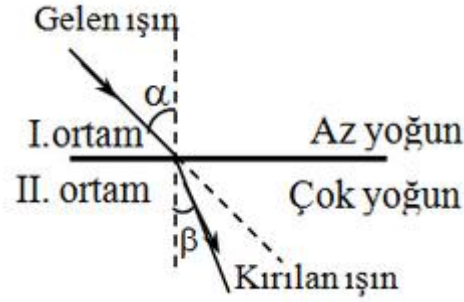
Pus değeri, 2,500°'den fazla açıyla saçılan ışık ile ışık kaynağından çıkan ışığın değerinin yüzdesel olarak oranı ile belirlenir. %30'dan fazla pus değeri olan malzemeler ışık-saçan (Light-diffusing) malzeme olarak kabul edilir. Bu tür malzemeler genellikle LED'lerin lenslerinde veya homojen ışık istenen durumlarda kullanılır[12].



Şekil 2.5 Pus değerinin hesaplanmasında kullanılan ışınlar

### 2.3.3. Kırılma İndisi (Refractive Index)

Kırılma indisi, ışığın vakumdaki hızı ile saydam malzemenin içindeki hızının oranıdır. İndis değeri, ışık huzmesinin bir ortamdan diğerine geçerken eğilme yarıçapını hesaplamak için kullanılır. Optik lenslerin tasarımında kullanılan önemli bir performans ölçütüdür. Ayrıca, saydam malzemelerin üretiminin kalite kontrol ölçümlerinde de kıstas olarak kullanılır.

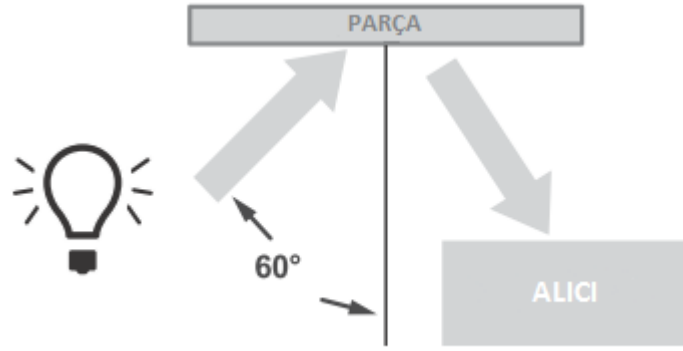


Şekil 2.6 Gelen ışının farklı ortamdaki davranışı

### 2.3.4 Parlaklık (Gloss)

Parlaklık, bir yüzeyin ışığı belli bir yönde yansıtma kabiliyetini gösteren bir optik özelliktir. Malzemenin kırılma indisi, yüzeyin topolojisi ve gelen ışığın açısı parlaklığı etkileyen faktörlerdendir.

Parlaklık, parçanın görsel olarak görünümünü tasvir eden faktörlerden biridir. Pürüzsüz yüzeye sahip malzemeler parlak görünürken, çok pürüzlü yüzeyler belirli yönde ışığı yansıtmadığı için mat görünürler.



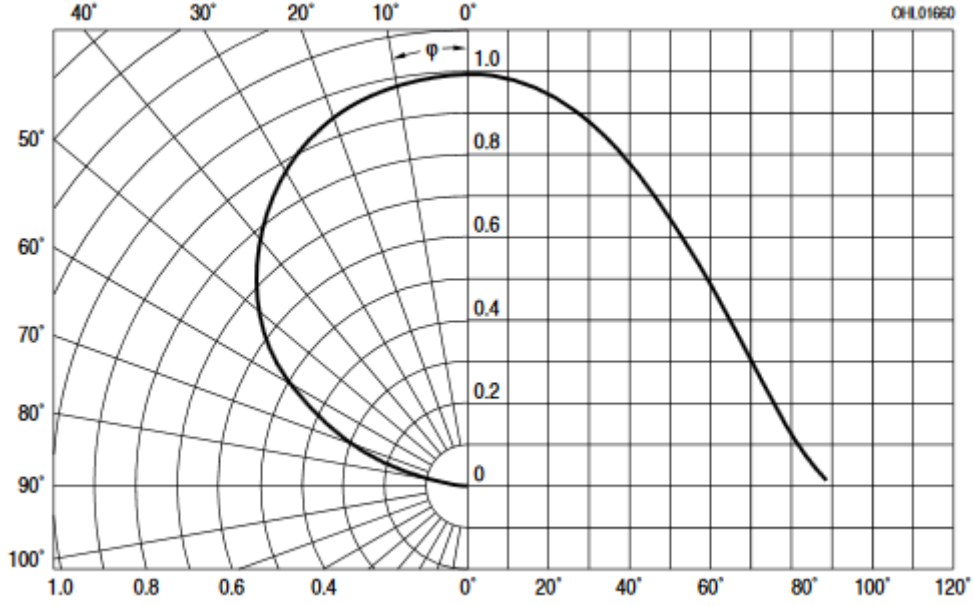
**Şekil 2.7** Parlaklık hesaplanmasında kullanılan ışın

## 2.4 LED Genel Bilgi

Işık yayan diyotlar (kısaca LED) tek yönde akımın akmasına izin veren yarı iletken ya da elektronik aletlerdir. Bu diyotlar farklı iki malzemenin PN eklem oluşturmak için bir araya gelmesiyle oluşurlar.

LED'lerin otomotiv aydınlatması için avantajı hem küçük olması, hem de ampullere göre daha verimli olmasıdır. Dezavantajı olarak ışığın çıkışı yerinin ampullere çok küçük olmasından dolayı neredeyse noktasal ışık kaynağı gibi davranmasıdır. Noktasal olarak görünmesi hem homojen ışık dağılımını bozmaktadır, hem de LED'e bakan gözü rahatsız etmektedir. Farklı malzeme ve optik konseptlerin kullanımının nedeni bu noktasal parlamanın gözükmesini engellemektir.

Her LED için ışığın çıkış açısı farklıdır. Bu bilgi LED'lerin ürün kartlarında verilir ve bu bilgiye göre seçim yapılır. Eğer bu çalışmada kullanılan pozisyon lambası gibi etrafı açık ve mümkün olduğunca ışığın yayılması isteniyorsa ışığın çıkış açısının mümkün olduğunca büyük olması gerekmektedir. Bu çalışmada seçilen LED, Osram'ın TOPLED ailesinden amber renkte olan LA T67F'tir. Bu LED'in ışık çıkış açısı 120°'dir. Bu bilgi ürün kartında da bulunan Şekil 2.8'deki grafikten anlaşılmaktadır[13]. Çıkan ışığın %50'sinin denk geldiği açının iki katı bize LED'in toplam çıkış açısını vermektedir. Şekil 2.8'e göre 0,5 değerine 60° karşılık geldiğinden toplamda 120° çıkış açısını olduğunu anlıyoruz.



**Şekil 2.8** Osram Topled LA T67F'nin ışık yayılım karakteristiği

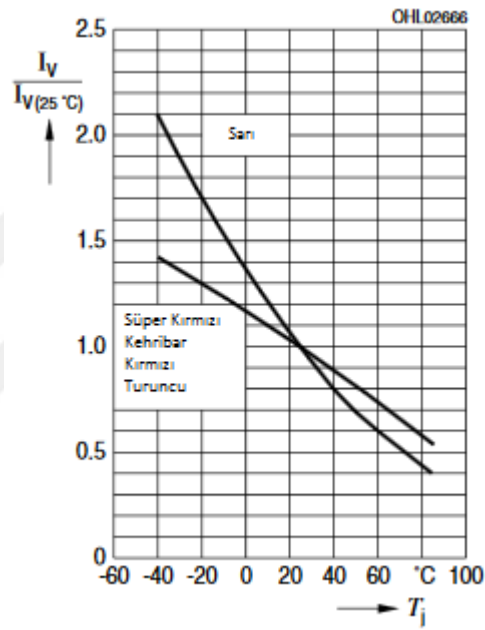
Şekil 2.8'in verdiği bir diğer bilgi de hangi açıda ne kadar ışık yoğunluğunun olduğunu göstermesidir. Buradan LED'den çıkan ışığın şiddetinin her açıda aynı olmadığı anlaşılmaktadır.

LED'ler teknolojileri gereği tek bir ışık şiddeti veremezler. Fosfor tabakaları üretilip kesildikten sonra dış gövdenin içine monte edilirler. Bu montajdan sonra her LED ölçülerek sınıfına ayrılır. Üretici daha sonra her LED'i kendi içinde "bin" denilen sınıflara ayırır. Çizelge 2.2'te bu çalışmada kullanılan LA T67F'in sınıfları bulunmaktadır[13]. Üretici firma tarafından Çizelge 2.2'de bulunan tüm sınıflar gönderilmektedir. Bundan dolayı optik çalışmalar yapılırken minimum ve maksimum değerler göz önüne alınmalıdır. Bu çalışma için min. Işık şiddeti olan 1,9 lm değeri temel alınmıştır.

**Çizelge 2.2** Osram Topled LA T67F'nin ışık şiddetine göre grupları

Grup(Bin)	Min. Işık Şiddeti(mcd)	Mak. Işık Şiddeti (mcd)	Tipik Işık Şiddeti(mlm)
U2	560	710	1900
V1	710	900	2400
V2	900	1120	3000
AA	1120	1400	3800
AB	1400	1800	4800

Dikkat edilen bir diğer faktör de ısıdan dolayı oluşan düşüştür. Çizelge 2.2’de verilen değerler oda sıcaklığı olan 25°’de yapılan ölçümler ile alınan değerlerdir. Fakat bu çalışmada olduğu gibi neredeyse tüm otomobil aydınlatma ürünleri dış koşullara maruz kalmaktadır. Araçta bulunan ısı üreten motor vb. parçalara yakınlığı, üzerlerinden geçen akımın yarattığı ısı ve kapalı hacimde bulunmaları nedeniyle 25°’den daha yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadırlar. Bu sıcaklık artışı LED’lerde verim düşüklüğüne yol açmaktadır. Bu verim düşüklüğünün ne kadar olduğunu da Şekil 2.9’daki gibi ürün kartlarında bulunan grafikler ve yapılan termal analizler sayesinde hesaplanabilmektedir[13].



Şekil 2.9 Osram Topled LA T67F'nin sıcaklık-ışık akısı grafiği

Şekil 2.9’da herhangi bir sıcaklıkta 25°C’deki ışık akısına göre oranı verilmiştir. Örneğin, 60°C sıcaklıkta ışık akısı 25°C sıcaklıktaki ışık akısına oranı 0,650 verilmiştir. Yukarıdaki sınıflardan minimum değer olan 1,900 lm temel alındığında aynı 60°C sıcaklıkta 1,235 lm ışık verecektir. Yapılan optik çalışmalarda bu düşüş göz önüne alınarak tasarım yapılmaktadır. Her tasarım öncesi %20 düşüş ön görülür, termal analiz tamamlandığında çıkan değere göre tekrardan kontrol yapılır. Bu çalışma için ısıl düşüş de göz önüne alınarak her LED için 1,400 lm ışık akısı ön görülmüştür. Pozisyon lambası fonksiyonu için yapılan termal analiz sonucu ise EK-3’te görülmektedir.

Termal analiz sonucu incelendiğinde lehim bölgesi denen LED'in bacaklarının elektronik devreye bağlandığı bölgelerde maksimum sıcaklık 43,170°C gözükmektedir. LED'in ışığın çıktığı merkezlerdeki maksimum sıcaklık ise 57,170°C gözükmektedir. Bu değerlere göre ısıl düşüş maksimum %15,080 olmaktadır. Bu değer öngörülen %20 değerinin de altındadır.

Literatürde yapılan araştırmalarda bu çalışmanın konusu olan otomotiv aydınlatması gibi özgün bir alanda benzer çalışmaya rastlanılmamıştır. Fakat LED'lerin verimliliği üzerine ve kullanılan malzemeler ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları aşağıda ele alınmıştır.

1989 yılında Pittsburg, Pennsylvania'da yapılan çalışmada yüzey yansımada kullanılan modeller tartışılmıştır. Modeller arasında optik tasarımların analizinde kullanılan programların da kullandığı Lambertian model gerçeğe en yakın sonuç veren model olduğu bildirilmiştir[14].

2006 yılında yapılan çalışmada ise otomotiv aydınlatmasında LED'lerin yeri incelenmiştir. Bu çalışmada, LED'lerin otomotiv aydınlatmasında kullanılmasının tarihçesi ve LED'lerin sağladığı kolaylıklardan bahsedilmiştir. Daha az hacim kaplaması nedeniyle estetik lambaların yapılabilmesi, servis ömrünün ampullerde birkaç yüz saat iken LED'lerde 10000 saat civarında olması, daha az ısı üretmesi gibi artılarından bahsedilmiştir[15].

2007 yılında yapılan çalışmada ise LED'lerin avantajları kullanılarak bir pozisyon lambasını nasıl tasarladıklarından bahsetmişlerdir. Makalede LED'lerin küçük olmasının tasarım açısından faydaları kullanılarak pozisyon lambası tasarımlarının hikâyesi anlatılmıştır[16].

2008 yılında yapılan çalışmada ise otomotiv aydınlatma sektöründe LED'lerin yeri, ampullü teknolojiler ile kıyaslaması kullanılmasının faydalı olup olmayacağı araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre, LED'li ürünler ampullü çeşitlerine kıyasla karanlık vakitlerde kullanımlarda %50, gündüz kullanımlarda ise %75 güç kazancı sağlamıştır. Elektrikli araçlarda LED kullanımı ise batarya ömrünü %1 artırmıştır. LED'lerin daha az güç ile çalışmasının neticesinde (durumlar arası değişiklik göstermekle beraber) 2006 yılında Amerika için yılda 5\$ ile 17\$ arası bir tasarruf

sağlanmaktadır. Yıllar geçtikçe LED'lerin veriminin artacağı varsayılarak bu farkın artacağı öngörülebilir[17].

2010 yılında aracın iç parçalarındaki yansımayı araştırıldığı bir çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada karşıtlık parlama üç farklı polimer malzeme ile kumlama uygulanmış parçalar üzerinde hem görsel hem de deneysel farkları araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile bu çalışma arasındaki fark, bu çalışma yüzeye düşen ışığın yansımalarının etkisini araştırırken bu çalışmada malzemenin içinden geçen ışığın şiddet olarak etkisi incelenmektedir[18].

2011 yılında yayınlanan bir başka çalışmada ise otomotiv aydınlatmasında kullanılan Optik geometrik metot ile tasarım anlatılmıştır. Bu makale, optik tasarım aşamalarını ASAP adlı program ile nasıl yapılacağını ve sonuçlarını incelemiştir[19].

2015 yılında yapılan çalışmada, bazı ana sanayi üreticilerinin pozisyon lambasının ışık yayılımının homojenitesi için belirledikleri analitik kriterleri kıyaslanmıştır[20]. Bu çalışmanın sonucunda, ışığın homojen dağılıp dağılmadığı ile alakalı genel bir formül türetilmemiştir. İleride yapılacak çalışmaların aydınlanmadan çok gözün nasıl algıladığına göre yapılması gerektiğidir. Bu çalışma homojenitenin gözden göze ve kişiden kişiye değişen bir olgu olduğunu göstermiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Işığın malzemeler ve yüzeyler ile etkileşimini sanal olarak değerlendirmek için bir analiz programına ihtiyaç vardır. Piyasada birçok analiz programı bulunmaktadır ve her programda farklı özellikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacına göre, programda aranan özellikler ve nedenleri şöyledir:

1 – İstenilen ışın sayısı ile analiz yapabilme yetisi: Gerçek hayatta bir ışık kaynağının milyonlarca belki milyarlarca ışık çıkmaktadır. Simülasyonlarda da gerçek hayattaki görüntüsüne en yakın görüntüyü elde edebilmek için ışın sayısının mümkün olduğunca çok olması gerekmektedir, fakat ışın sayısı arttıkça yapılan analizin süresi uzamaktadır. Buradaki amaç, zaman ile ışın sayısını uygun değerde tutmaktır. Programdan istenen, istenilen ışın sayısı ile mümkün olan en kısa zamanda simüle edebilmesidir. Buradaki bir diğer faktör, kullanılan bilgisayarın donanımsal gücüdür. Donanımsal olarak güçlü olması analiz süresini kısaltmaktadır. Bu da daha fazla ışınla analiz yapılmasını, yani gerçeğe daha yakın görüntü elde edilmesini sağlar.

Optik analiz programlarında en önemli konulardan birisi de ışık kaynağı tanıma konusudur. İster ampullü olsun, ister LED ya da ortam ışığı olsun, bu ışığın şiddetinin, saçılma açısının ya da açıların, renginin tanımlanması çok önemlidir. Bu tanımlamalar ile malzeme-ışık ilişkisinden ortaya çıkan sonuçlar irdelenebilir.

2 – Malzeme Tanımlayabilme Özelliği: Analizlerin amacı, gerçek hayattaki hallerini önceden görmek olduğundan, analizdeki öğelerin malzeme tanımlarının mümkün olduğunca gerçeğe yakın olması gerekmektedir. Örneğin, PC veya PMMA malzemeler, içyapılarının farklı olmasından dolayı ışık ile farklı şekilde reaksiyona girerler. Hatta üreticiden üreticiye PC ve PMMA malzemeler farklı özellikler gösterebilirler. Bu farklı özelliklerin analizde etkisini görebilmek için bu malzemelerin laboratuvarında ölçülmüş verilere göre oluşturulmuş malzeme tanımları olması gerekmektedir. Bazı programlarda bu tanımlama sadece kırılma indisi olarak yapılabilmektedir. Bu tanımlama, farklı iki üretici tarafından üretilmiş PC malzemenin farkının incelenmesini mümkün kılmamaktadır. Bu özellik sayesinde malzemenin etkisi direk olarak görülebilecektir. Ayrıca bazı malzemeler, renkli olarak üretilmektedir, fakat renginin tonu hakkında ne kadar olduğu bilgisi elimizde mevcut olamamaktadır. Bunun için laboratuvarında ölçüm yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Programa uygun ölçülmüş olan hazır malzeme dosyalarının olması, laboratuvarında ölçüm yapıp doğrulama ve veriyi elde etme uğraşından kurtarmaktadır.

3 – Kolorimetrik Analiz Yapabilme Yetisi: Regülasyonlara göre her fonksiyon için bir renk belirlenmiştir ve bu rengin tanımı CIE grafiğinde koordinat tabanlı alanlar ile gösterilmiştir (bkz. EK-2). Yapılan fonksiyondan çıkan ışığın şartnamede belirtilen rengin alanında olup olmadığının kontrol edilmesi gerekir ve bu ancak kolorimetrik analiz ile mümkün olmaktadır.

LED'ler, üretildikleri yarı-iletken teknoloji ve içerlerinde bulunan fosfor tabakasından dolayı, verdikleri ışığın şiddeti ve rengi değiştirilebilmektedir. Işığın çıkış açısı ise fosfor tabakası dışında tasarımsal olarak da kontrol edilebilmektedir.

LED'lerden çıkan ışığın rengi, fosfor tabakasına yapılan katkılama ile değiştirilmektedir. Daha sonra kullanılan yonganın büyüklüğü ve fosfor tabakasının üzerinde bulunan dome diye tabir edilen mercekle çıkış açıları ayarlanmaktadır. LED üreticileri, farklı yonga büyüklükleri ve farklı çıkma açıları ve farklı renklerde LED'ler üretmektedirler.

Üretilen her LED için önde gelen büyük üreticiler, aynı zamanda bir sanal ışın dosyası ve renk spektrumunu içeren dosyaları da yayınlamaktadırlar. Bu dosyalar, programda tanıtılarak analizler yapılabilmektedir. Kullanılan programın bu dosyaları tanıyabilmesi, gerçek halini simüle etmesi açısından önemlidir.

4 – Belirli mesafeye gelen ışık şiddetini ölçebilme yetisi: Şartnamelerde her fonksiyon için belirli açı değerlerinde ışık şiddetleri belirtilmiştir. Sistemden çıkan ışığın şiddeti, şartnamelerde belirtilen değerleri sağlamalıdır. Bunu sanal olarak doğrulayabilmek için programda sensör ve/veya sensörler oluşturulabilmeli ve bu sensörler istenilen büyüklükte oluşturulabilmelidir. Ayrıca, sensörün çözünürlük değeri de ayarlanabilmelidir. Çözünürlük değeri, belli bir birime gelen ışık şiddetine göre değer vermesini sağlamaktadır. Çözünürlük değeri ne kadar küçük olursa, yani bir nevi piksel değeri ne kadar küçük olursa alınan değerler o kadar kesin olmaktadır. Yalnız, çözünürlük değeri ne kadar küçük olursa da, analiz süresi o kadar da uzamaktadır. Burada önemli olan, çözünürlük değerinin uygun değerde tutulmasıdır.

Çözünürlük değerinin analizin daha kısa sürmesi için büyütülmesi, çıkan sonuçların doğruluğunu etkileyebilmektedir. Fakat ölçüm yapılan sisteme göre çözünürlük

değiştirilebilir. LED yongasının içindeki ışığın hareketleri için yapılan analizlerde, LED'in kendisi de zaten küçük olduğu için burada mikron seviyelerde çözünürlüğe sahip bir sensör gerekirken, bu çalışmada olduğu gibi otomotiv aydınlatması ölçüldüğü zaman milimetre seviyelerinde çözünürlük yeterli olmaktadır.

Buradaki bir diğer önemli konu da ışın sayısıdır. Çözünürlük değeri gibi, ışın sayısı da arttıkça gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Çözünürlük değerinin küçük olmasının süreyi artırması gibi, ışın sayısının çok olması da süreyi artırmaktadır. Fakat aynı mantık ile az olması da doğru sonuçlar vermeyebilmektedir. Bunun için, en az ışın sayısından başlayarak sonuçlar takip edilmeli ve sonuçlardaki değişiklik, yapılan sisteme göre göz ardı edilebilir seviyeye gelene dek ışın sayısı artırılmalıdır.

Ölçülen değerlerin, istenen şartname değerine uygun olup olmadığını incelemek için makro adı verilen program içinde küçük yazılımlara ihtiyaç vardır. Bu yazılımın içinde şartnamelerde belirtilen minimum ve maksimum değerler tanımlı olmalı, çıkan sonucun uygun olup olmadığı hakkında bilgi vermelidir. Eğer böyle bir yazılım olmaz ise, belirlenen tüm noktalar için tek tek kontrol yapılmalıdır ve bu durum çok zaman kaybettirecektir. Özellikle, şartnamelerde belirtilen belli alanlardaki değer kontrolü çok daha zor olacaktır. Bu tür yazılımlar, otomatik kontrol ederek zaman kazandırmaktadır.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı optik analizlerde SPEOS isimli optik analiz programı kullanılmıştır. Bu programın kütüphanesinde PMMA, PC ve benzeri birçok düz malzeme dışında plastik üreticileri tarafından özel olarak üretilen difüzer özellikli malzemeler de bulunmaktadır. Yapılacak analizlerde bu kütüphanedeki malzemelerden faydalanılacaktır. SPEOS' da bu tür malzeme atamalarına Hacimsel Optik Özellik (Volume Optical Properties) adı verilmektedir. Bu tanıtım lens, gövde vb. parçanın tamamına yapılmaktadır. Örneğin, lens seçilip hacimsel optik özellik olarak PMMA tanıtılmaktadır. O zaman program o parçanın tamamının PMMA olduğunu bilecek ve ışığın güzergâhını ona göre hesaplayacaktır. Eğer hacimsel optik özellik dışında herhangi bir yüzeye optik özellik verilmesi gerekiyorsa Yüzey Optik Özellik (Surface Optical Properties) verilmelidir. Bu özellik ile kumlama yapılacak yüzeyler bu birimin içinde işaretlenerek istenen yüzey özelliği atanabilmektedir. Bu çalışmada bahsedilen lensin iç ve dış yüzeylerine kumlama tanıtılması bu birim ile olmaktadır.

Çalışmanın amacına uygun olarak farklı malzemelerin etkisini inceleyebilmek için programda iç lense şeffaf ve difüzer özellikli malzemeler tanıtılmıştır. Şeffaf malzemeler PMMA ve PC, difüzer malzemeler Altuglas firmasının Diffuse 101, Diffuse 301, Diffuse 502 ve DF23 malzemeleri tanımlanarak ışık şiddeti ve dağılımı olarak kıyas yapılmıştır.

Şeffaf malzemeler saydam olmasından dolayı arkasında bulunan objeleri gösterecektir. Unistop-4 için bu durumda iç lensin arkasında bulunan PCB ve üzerindeki parçaları gösterebilir. Genel görünüm açısından bu durum istenmediği için şeffaf malzeme kullanılmayacak olsa da referans değer alabilmek amacıyla araştırmaya dâhil edilmiştir.

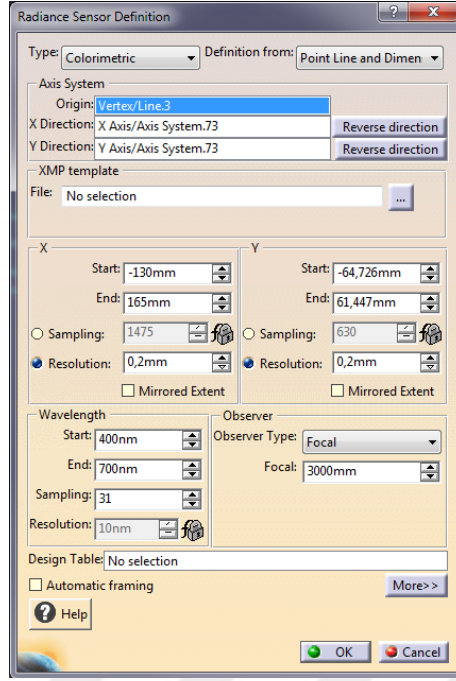
Işığı dağıtıcı özellikli malzemelerin en büyük özelliği; ışığın dağılımı ile ışığın gücünün arasındaki ideal dengeyi sağlamasıdır. Kullanılan malzemenin kalitesi, bu iki kıstas için nasıl davrandığına göre belirlenmektedir. Malzemedan geçen ışığın yüzdesine bakarsak şeffaf PMMA %92 iken, Diffuse 101 için %91, Diffuse 301 için %92, Diffuse 501 için %76, DF23 için %86'dır[21,22]. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere, belli bir seviyeye kadar ışık geçirgenlik değeri bize bir fikir vermediğinden her bir malzeme için ayrı test yapmak gerekmektedir. Bundan dolayı laboratuvar ortamında ölçümü yapılmış olan ve kullanılan SPEOS programına uygun hale getirilmiş dosyalar kullanılmıştır.

İlk aşamada bulguların açıklanmasından önce bulgularda belirtilen resimlerin ve grafiklerin ne manaya geldiğini ve nasıl irdeleneceğini iyi bilmek gerekir.

İlerleyen bölümlerde bahsedilen gerçek renk ve ters renk ışık yayılım görüntüleri yayılım sensöründen (radiance sensor) alınmaktadır. Bu sensörün amacı, hangi bölgenin ne kadar ışık ile parlayacağını incelemek içindir. Bu çalışmada sensör, Şekil 2.1'deki gibi yerleştirilmiştir. Sensörün ayar penceresi görüntüsü ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

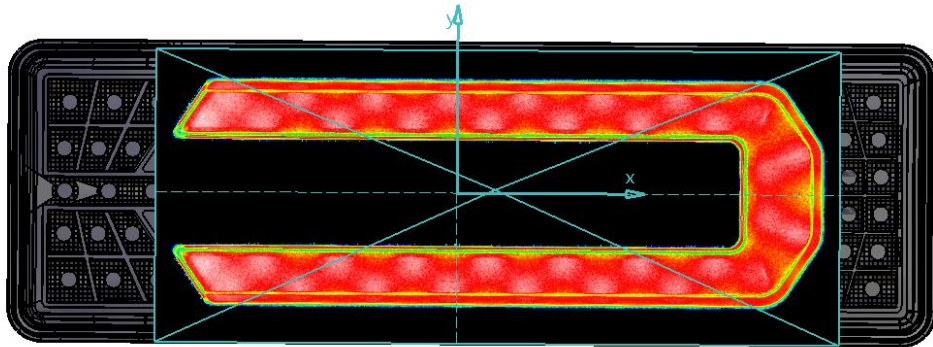


**Şekil 3.1** Yayılım sensörü - İzometrik görünüş



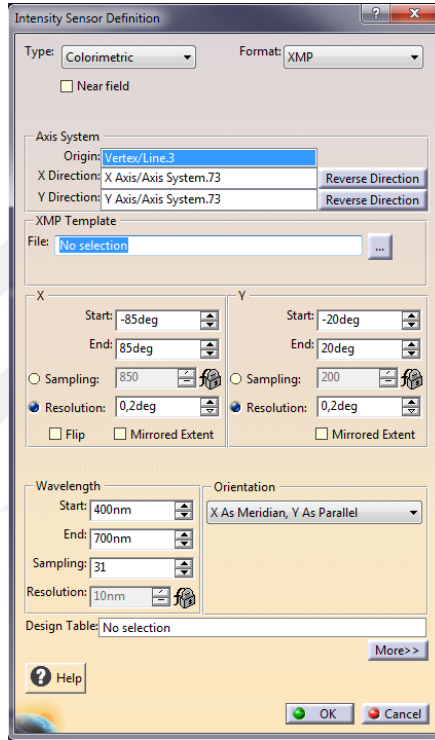
**Şekil 3.2** Yayılım sensörü ayar penceresi

Sensörü kurmadan önce parçanın ortasında bir nokta belirlenmiştir. Bu nokta Şekil 3.2’de bulunan “Axis System” bölümünden tanımlanmıştır. X ve Y denem bölümlerde ise yatay ve dikey olarak sensörün büyüklüğü tanımlanmıştır. Buradaki sensör Şekil 3.3’de görüldüğü üzere pozisyon lambasının tamamını görecek büyüklükte ayarlanmıştır. Ayrıca sensörün çözünürlüğü de 0,200 mm olarak belirlenmiştir. Dalga boyu (wavelength) bölümünde ise ışığın hangi dalga boyları görülmesi isteniyorsa o değerler tanımlanmıştır. Burada sadece görünür alandaki ışıklar görünmesi istendiğinden 400-700 nm arası belirlenmiştir. Gözleyen (observer) bölümünde ise, gözleyenin ne kadar mesafeden bakacağı belirlenmiştir. Bu çalışma için gözleyenin mesafesi 3 m olarak tercih edilmiştir.



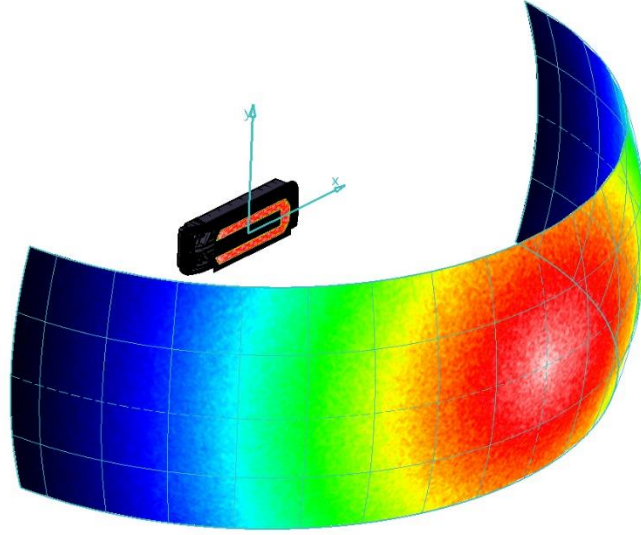
**Şekil 3.3** Yayılım Sensörü - Karşıdan görünüş

Elde edilen verilerde ayrıca ışık şiddeti görüntüleri de bulunmaktadır. Işık şiddeti değerlerini alabilmek için yoğunluk sensörü (Intensity Sensor) sisteme dâhil edilmelidir. Bu sensör de yayılım sensörü gibi orta nokta temel alınarak oluşturulur. X ve Y alanında yine büyüklük parametreleri girilir. Bu parametreler için hangi açıdaki değerler isteniyorsa ona göre açı bilgileri girilmektedir. Pozisyon lambasında şartname gereği 80°'den görünürlük istendiğinden sağ ve sol taraf için 85° girilmiştir. Dikeyde ise alt ve üst olarak 20° girilmiştir. Dalga boyu, çözünürlük vb. ayarlar iki sensör için de aynı girilmiştir. Ayar penceresinin görüntüsü Şekil 3.4'deki gibidir.

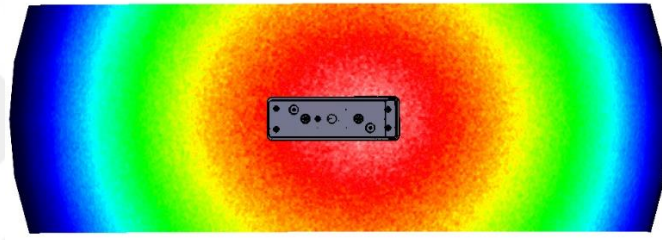


Şekil 3.4 Yoğunluk sensörü ayar penceresi

Yoğunluk sensörü sistemde Şekil 3.5'deki gibi gözükmemektedir. Yoğunluk sensörü teoride sonsuzda oluşurken, program bunu 1 m'deymiş gibi göstermektedir. Fakat sonuçlar sonsuzda oluşan sonuçlardır. Şekil 3.6'da ise lambanın tam arkasından görünen görüntü bulunmaktadır.



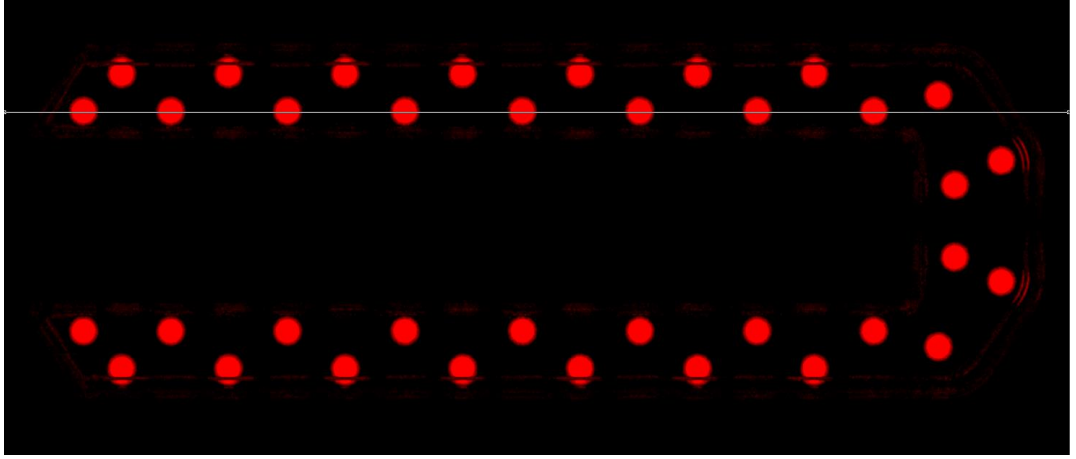
**Şekil 3.5** Yoğunluk sensörü - İzometrik görünüş



**Şekil 3.6** Yoğunluk sensörü - Arkadan görünüş

Sonuçlardan birisi de ECE şartname noktalarındaki ışık değerlerini gösteren bir tablodur. Bu tablodaki değerler, ECE şartnamelerinde pozisyon fonksiyonu için belirtilen değerlerdir. Şartnamede her nokta için minimum ve maksimum değerler yüzde olarak belirtilmiştir (bkz. EK-4). Tablodaki değerler o noktada şartnamede istenen değer uygun olup olmadığını görmemizi sağlamaktadır.

Sonuçlardan bir diğeri de ışık yayılım grafiğidir. Bu grafikte istenen bölümdeki ışık yoğunluğu değerleri bulunmaktadır ve bu grafik sayesinde ışık yayılımının homojen olup olmadığı anlaşılmaktadır. Unistop-4 pozisyon lambası yatayda simetrik olduğundan ve alt ve üst sıralarının LED'leri aynı aralıklarla dizildiğinden sadece tek bir çizgide kontrol yapmak yeterli olmaktadır. Grafiklerdeki değerler Şekil 3.7'de gösterilen çizgi üzerinden alınmıştır.



Şekil 3.7 Işık yayılım kontrol çizgisi

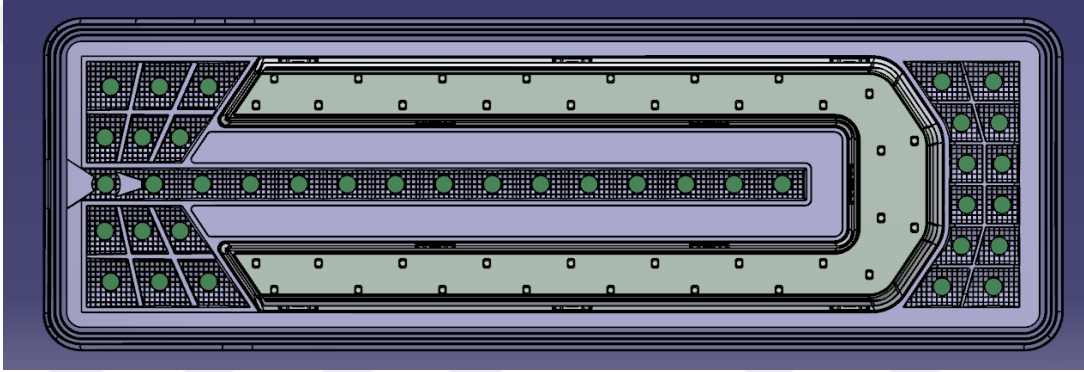




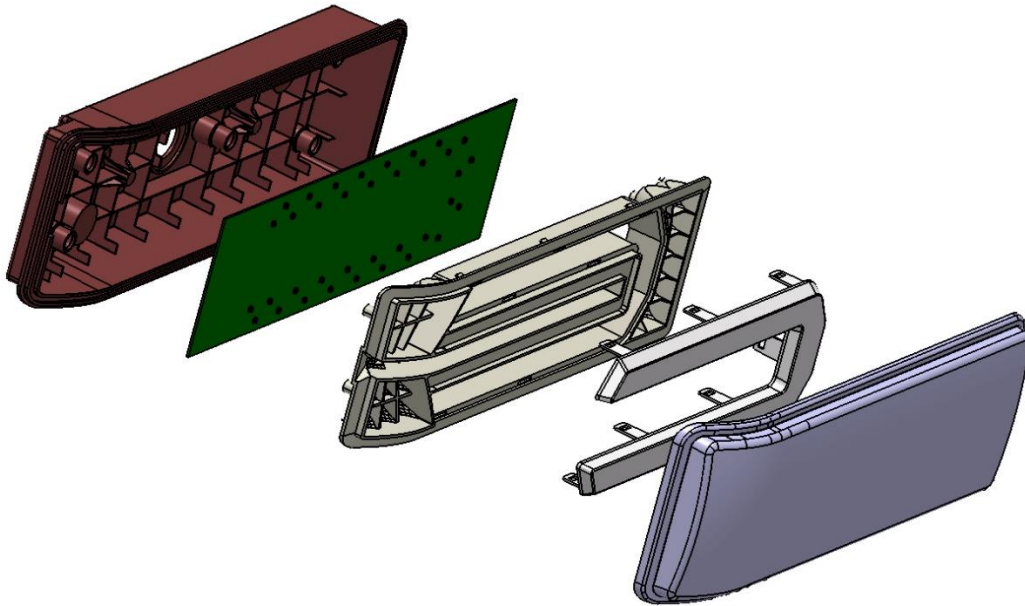
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmanın amacı farklı malzemelerin ve yüzeylerin etkisini görmektir. Bundan dolayı basit geometriye sahip olan FARBA A.Ş. bünyesinde universal ürün olarak tasarlanan Unistop-4 projesinin pozisyon lambası seçilmiştir. Bu projenin pozisyon lambasının çalışma için seçilmesindeki amaç karmaşık bir geometrisinin olmaması ve reflektörlü yapılarda bulunabilen reflektörün tasarımı, reflektörü oluşturan parabolün odak noktası vb. parametrelerden arındırılıp sadece malzeme ve yüzey etkileşimlerini görebilmektedir.

Baz alınan Unistop-4 projesinin sanal görünümü aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1 Unistop-4 lambasının karşıdan görünümü

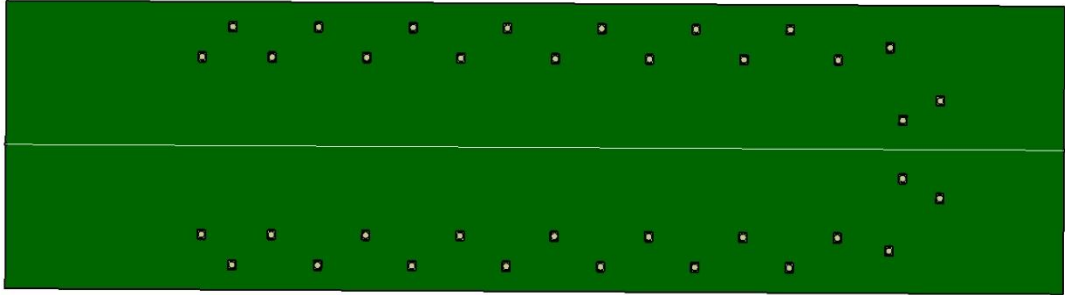


Şekil 4.2 Unistop-4 patlatılmış görüntüsü

Unistop-4 lambası genel olarak 1 adet gövde, üzerinde LED'ler bulunan 1 adet elektronik devre kartı, 1 adet reflektör, 1 adet iç lens ve 1 adet dış lens olmak üzere 5 parçadan oluşmaktadır.

Lambanın ortasındaki yan U şekli, pozisyon lambasıdır. Pozisyon lambasının sağ ve sol taraflarında diğer fonksiyonlar mevcuttur ve bu fonksiyonlarda özel tasarım reflektörler bulunmaktadır. Pozisyon lambasında ise LED'ler belirli aralıklarla dizili olarak bulunmaktadır ve özel bir reflektör bulunmamaktadır. Sadece fonksiyonun sınırları yansıtıcı duvarlar ile çevrilidir. Önünde ise 2 adet lens bulunmaktadır. En dışta, dış lens dediğimiz, PMMA hammaddeden yapılmış şeffaf bir lens bulunmaktadır. Dış lensin görevi, lambayı dış etmenlerden korumaktır. Bu çalışmada kullanılan en önemli parça pozisyon lambasının iç lensidir.

LED'ler bu iç lensin iç bölgesine yataydan simetrik olmak üzere dizilmiştir. Dizilim Şekil 4.3'de görülmektedir. Şekildeki yatay çizginin alt ve üst tarafında 18'er LED bulunmaktadır.



**Şekil 4.3** Pozisyon lambasına ait LED'lerin dağılımı

Yapılacak farklı yüzey ve malzeme çalışmaları bu iç lens üzerinde yapılmıştır. SPEOS programında hacimsel tanımlama ile farklı malzemeler, yüzeysel tanımlama ile iç ve dış yüzeyine farklı kumlama büyüklükleri tanıtılmıştır.

Yapılan bu müdahalelerin etkisi ışık şiddeti ve dağılımı olarak incelenmiştir. Işık şiddeti olarak incelenirken ECE şartname değerlerinin üzerine garanti faktörü olarak %30 fazlasına göre yani %130 temel alınarak değerlendirilmiştir.

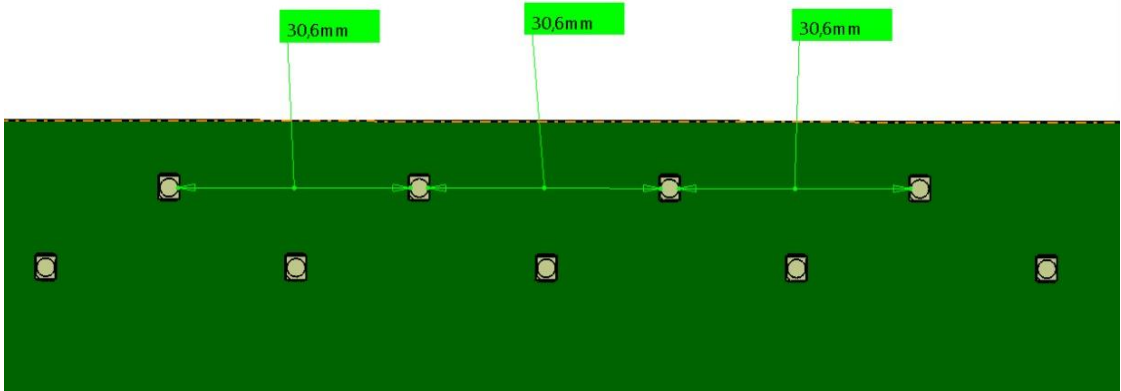
Parçanın tasarımı daha önceki Unistop 1-2 ve 3 modellerinin kullanıldığı araçlarla aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Buradaki amaç, ileride piyasaya çıkacak benzer

modellere ya da şuan kullandığı versiyonu yükseltmek isteyenlerin herhangi bir uğraşa gerek kalmadan montaj edilebilmesidir.

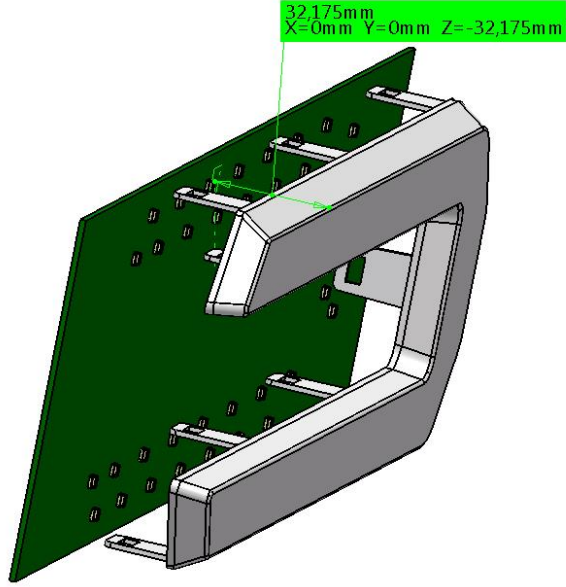
Aynı yere montaj etme ihtiyacından dolayı ürünün boyutlarında montajını zorlayacak ya da montaj ile alakalı değişiklik yapılmasını gerektirecek değişikliklerden kaçınılmıştır. Bu durum pozisyon lambası için negatif bir durum oluşturmuştur.

Herhangi bir lambanın homojen görünmesi için ışık kaynağının dış yüzeye olan mesafesi mümkün olduğunca fazla olması gerekmektedir. Eğer ışık kaynakları yan yana dizilmişlerse aralarındaki mesafe ne kadar az olursa kaynaktan çıkan ışıklar daha çok birbirine karışacak ve dış lens yüzeyinin tamamını kaplayacak şekilde aydınlatabileceklerdir. Bu proje için ise LED'in dış yüzeye olan mesafesi normalden azdır. Ayrıca lambanın maliyeti de göz alınarak LED sayısı mümkün olduğunca az tutulmuştur.

Pozisyon lambasının bulunduğu yere 36 adet LED Şekil 4.4'deki dizilmiştir. İç lensin boyutlarına göre dizilim yapıldığında LED'ler arası mesafe 30,600 mm olmaktadır. LED'lerin iç lensin iç yüzeyine olan mesafesi ise Şekil 4.5'de görüldüğü gibi 32,175 mm'dir.

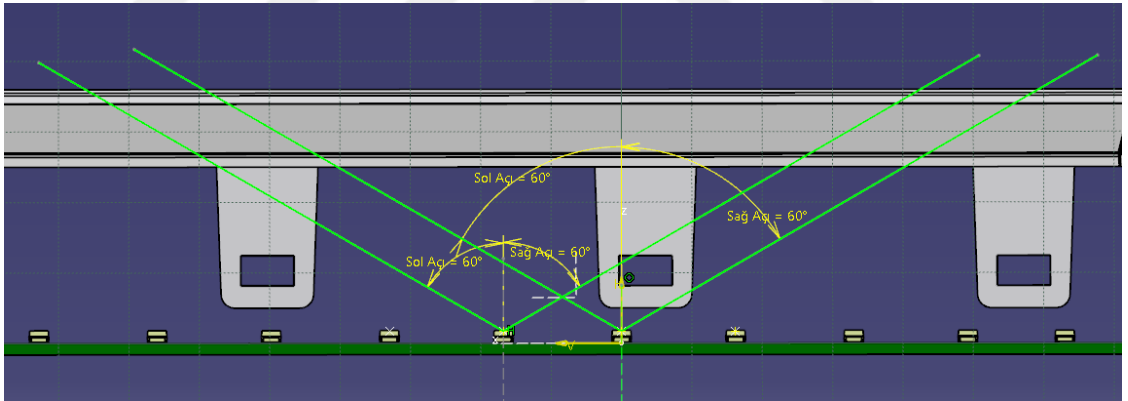


**Şekil 4.4** LED'ler arası mesafe



**Şekil 4.5** LED'ler ile lensin iç yüzeyi arasındaki mesafe

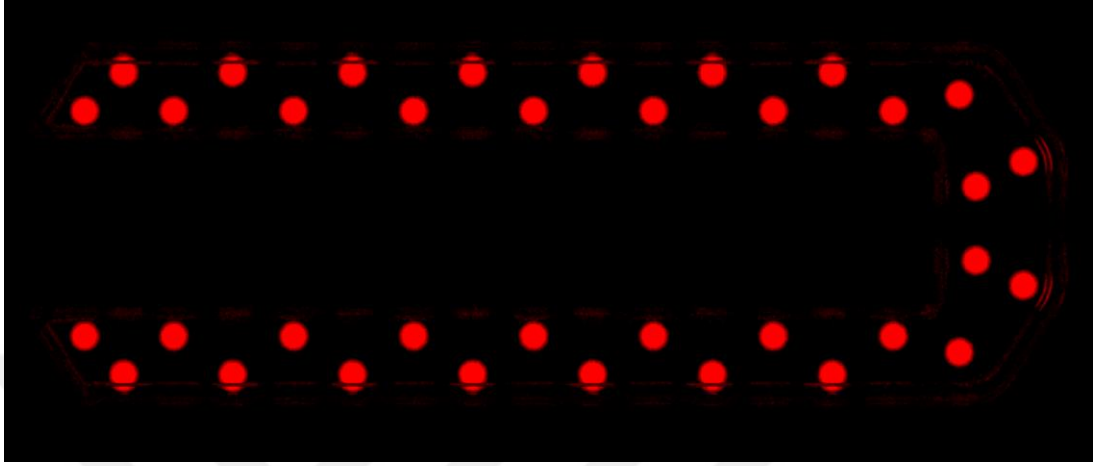
LED'lerin ışık çıkış açısı  $120^\circ$  temel alınıp merkezlerinden sola ve sağa  $60^\circ$  çizgiler çekildiğinde LED'in ışık çıkış bölgesi Şekil 4.6'daki gibi belirlenmiş olur.



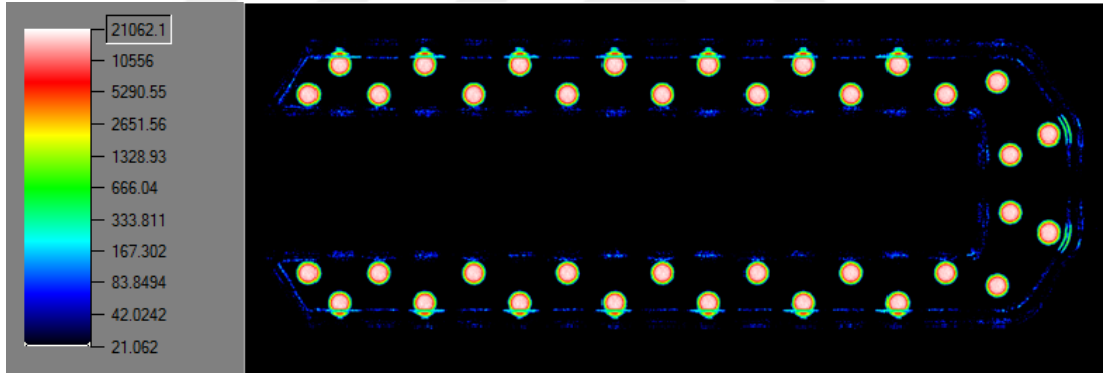
**Şekil 4.6** LED'lerin ışık çıkış açıları

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere yan yana iki LED için ışık çıkış bölgeleri çakışmaktadır. Bu lens üzerinde ışık gitmeyen bölge kalmayacak demektir fakat her tarafa aynı miktarda ışık gidecek demek değildir. Çünkü LED'in ürün kartındaki ışık dağılım grafiğine bakıldığında her açıdaki ışık miktarı farklıdır. Kumlama, ışık dağıtıcı malzeme vb. kullanılması bu durumu gidermek için yapılmaktadır. Sadece LED yerleşimi ile homojen ışık dağılımı sağlanması durumunda kullanılan LED sayısı 3-4 kat daha fazla olması gerekmektedir. Mümkün olan en az LED ile en homojen ışık dağılımını elde etmek de bu çalışmanın amaçlarından biridir.

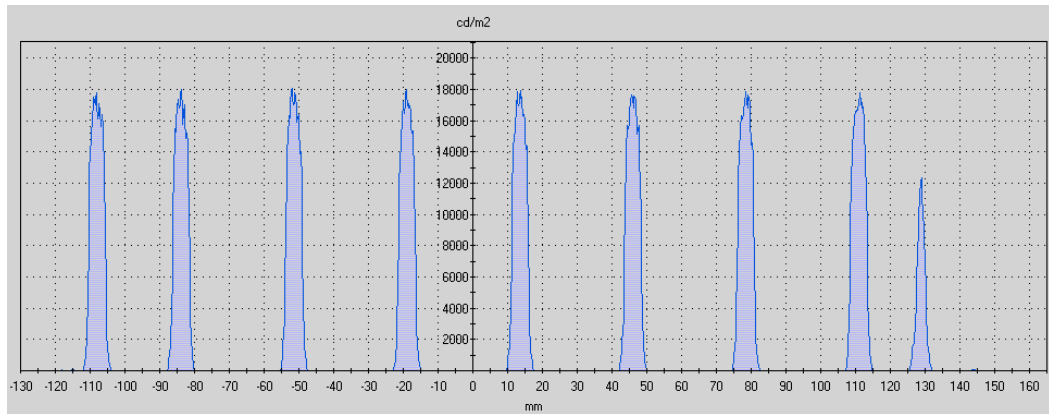
Çalışmada ilk olarak iç lens şeffaf PMMA olarak tanıtılmıştır. Şeffaf PMMA arkasında bulunan LED'lerin fiziksel yapılarını göstereceği için kullanılmayacaktır. Fakat ileriki bölümlerde elde edilecek veriler ile kıyaslama yapılabilmesi için çalışmaya dâhil edilmiştir.



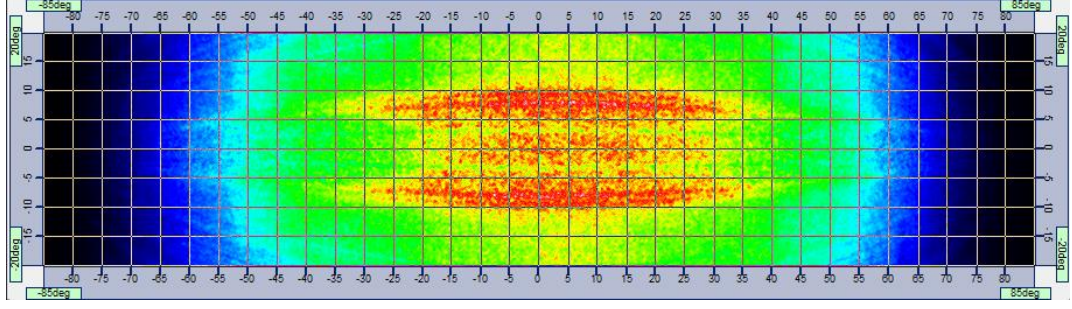
Şekil 4.7 Kumlamasız PMMA gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



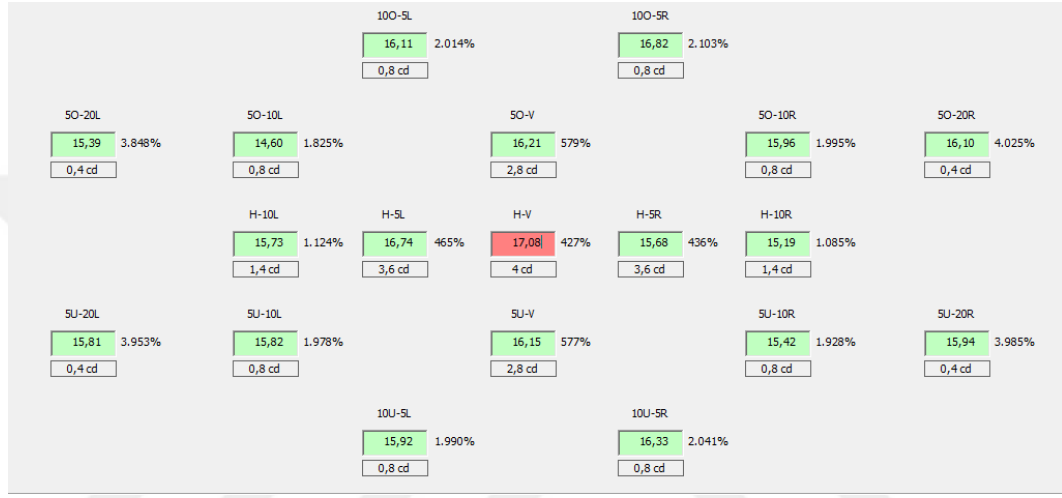
Şekil 4.8 Kumlamasız PMMA ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.9 Kumlamasız PMMA ters renk ışık yayılım grafiği



**Şekil 4.10** Kuşlamasız PMMA ters renk ışık şiddeti görüntüsü

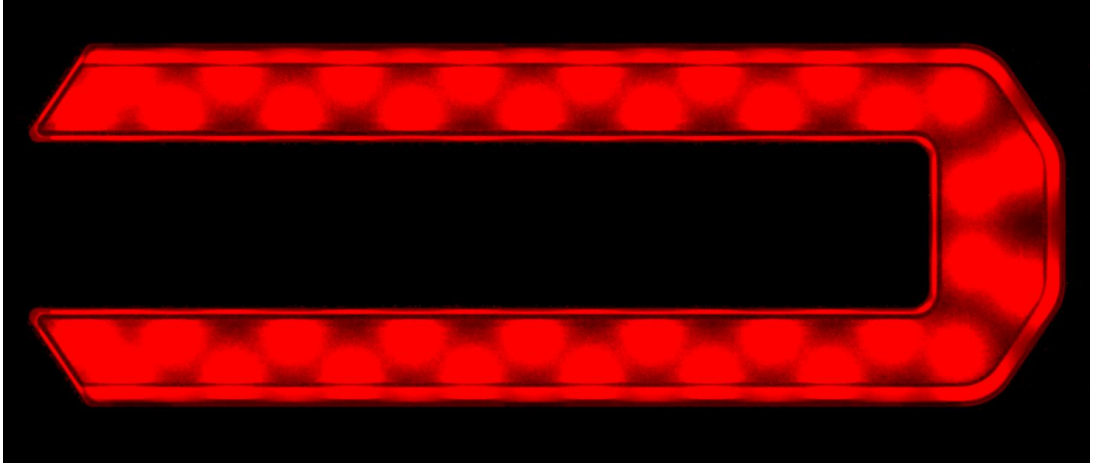


**Şekil 4.11** Kuşlamasız PMMA - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

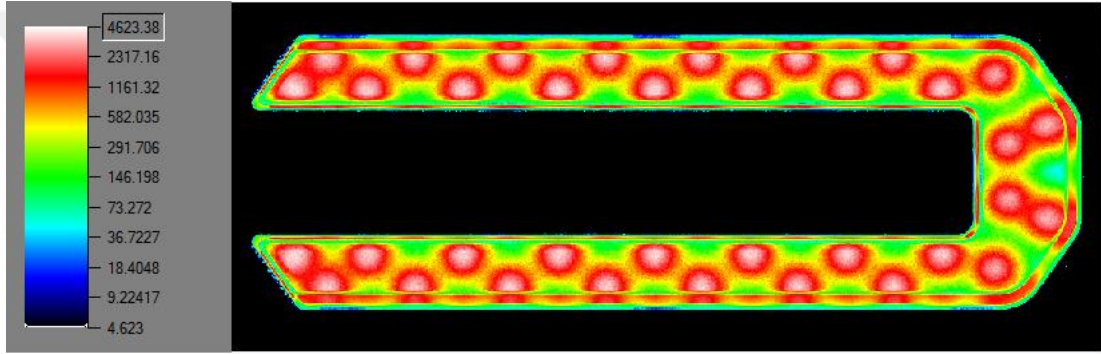
Işık yayılım görüntüsüne bakıldığında tüm LED'lerin noktasal olarak seçilebildiği ve homojen bir ışık dağılımının olmadığı görülmektedir. LED'lerin çıkış açılarına göre hesap yapıldığında iç lensin tüm yüzeyine ışık gitmiştir, fakat LED'lerin tam karşısına gelen bölgelerdeki yoğun ışık ile kıyas edildiğinde çok daha az olmaktadır. Bu durumda LED'lerin karşı bölgelerinde küçük daireler halinde ışıklar, LED'lerin ara bölgelerinde ise karanlık bölgeler oluşmaktadır. Grafığe bakıldığında ise maksimum değer 18000 cd/m<sup>2</sup> civarında iken minimum 0 cd/m<sup>2</sup> çıkmaktadır. Bu iki değer arasındaki 18000 cd/m<sup>2</sup> homojen bir dağılım olmadığını göstermektedir.

Ayrıca ECE şartnamesinde belirtilen noktadaki değerler incelendiğinde H-V denemelerinde merkez noktasında maksimum değerden fazla ışık görülmektedir.

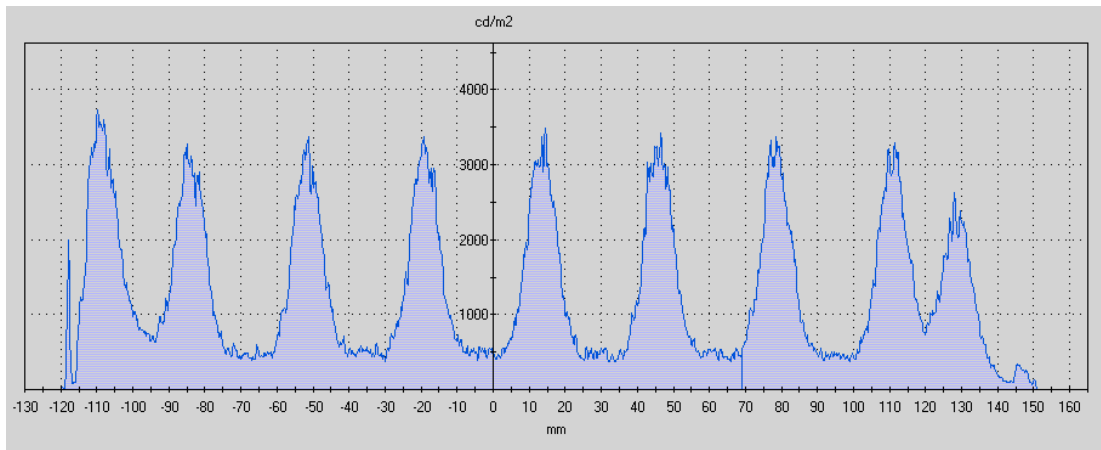
Şeffaf PMMA'da görülen noktasal görünümünü azaltmak için iç lensin iç yüzeyine VDI42 büyüklüğünde kuşlama, dış yüzeyine VDI30 büyüklüğünde kuşlama uygulanarak noktasal görünümü azaltmak hedeflenmiştir.



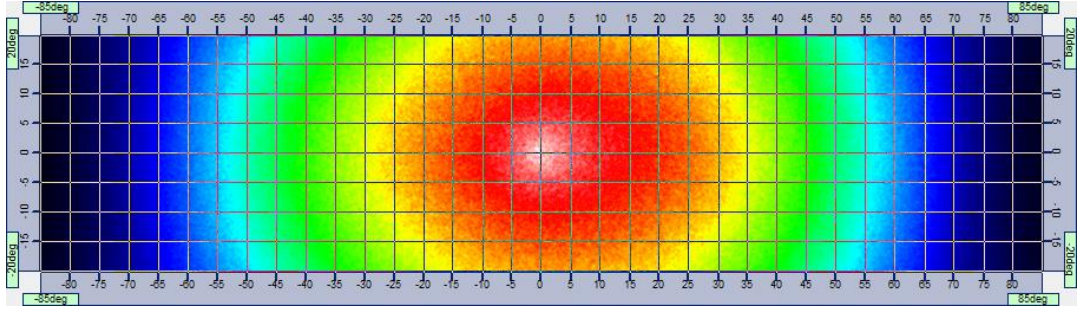
Şekil 4.12 Kuşlamalı PMMA gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



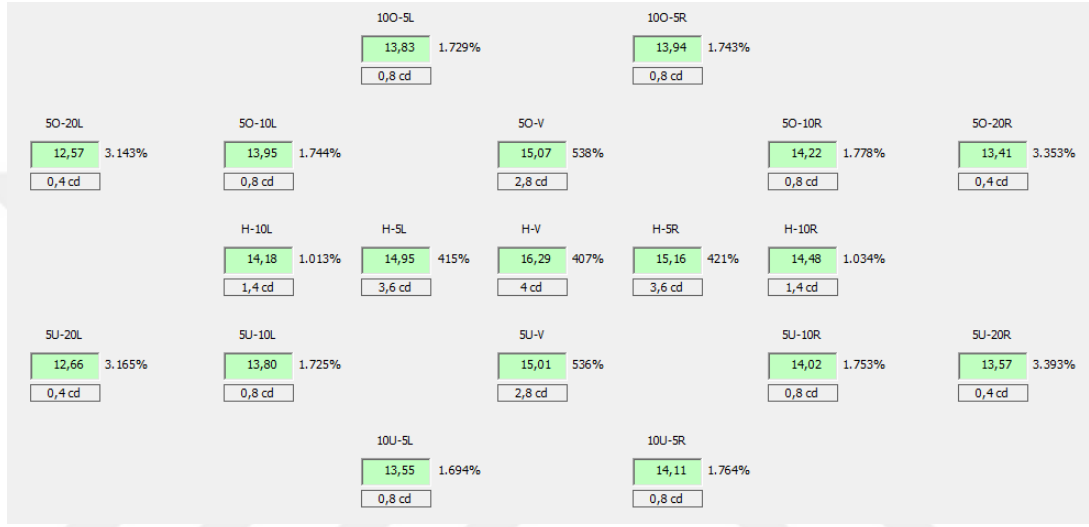
Şekil 4.13 Kuşlamalı PMMA ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.14 Kuşlamalı PMMA ters renk ışık yayılım grafiği



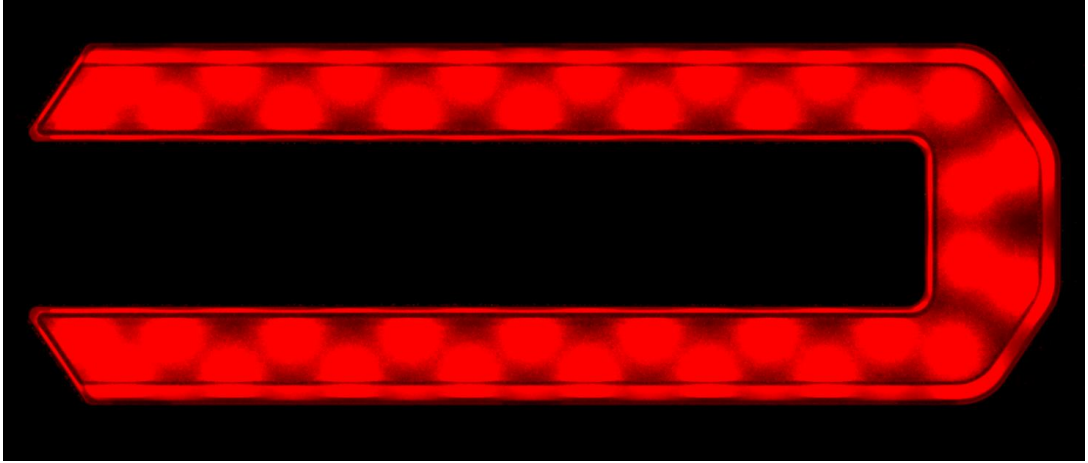
Şekil 4.15 Kumlamalı PMMA ters renk ışık şiddeti görüntüsü



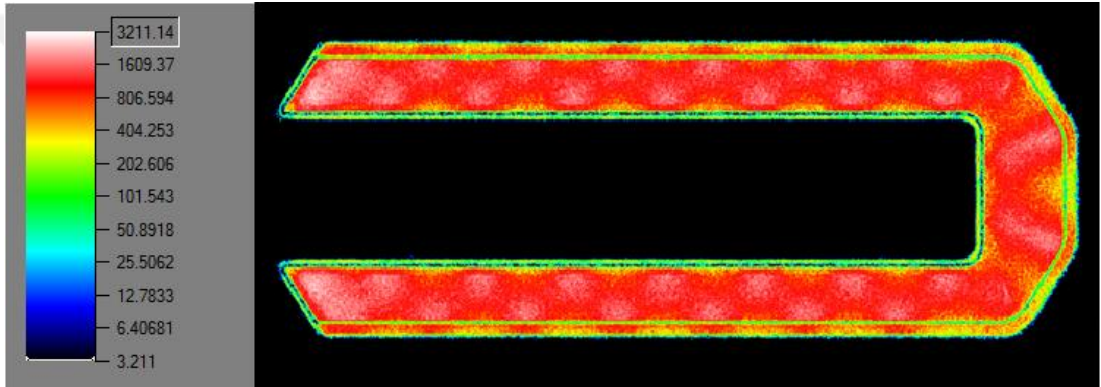
Şekil 4.16 Kumlamalı PMMA - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

Kumlama uygulandıktan sonra LED'lerin karşılarında oluşan noktasal ışık biraz daha dağılarak dairesel bir görüntü almıştır. Fakat hala LED'lerin ara bölgelerinde karanlık bölgeler bulunmakta ve LED'lerin yerleri belli olmaktadır. Işık kumlamasız haline göre daha fazla saçıldığı için o halinde karşılaştığımız maksimum ışık hatası bu halde oluşmamıştır. Işık yayılım grafiğine baktığımızda ışık dağıldığı için minimum noktası 0'dan yukarı çıkıp 500 cd/m<sup>2</sup> civarına çıkmıştır. Maksimum değer ise 4600 cd/m<sup>2</sup> civarında görülmektedir. Aradaki fark 4100 cd/m<sup>2</sup> civarındadır. PMMA malzeme ile kumlama yapılmasına rağmen yeterince homojen bir sonuç alınmadığı için Diffuse 101 malzeme denenmiştir.

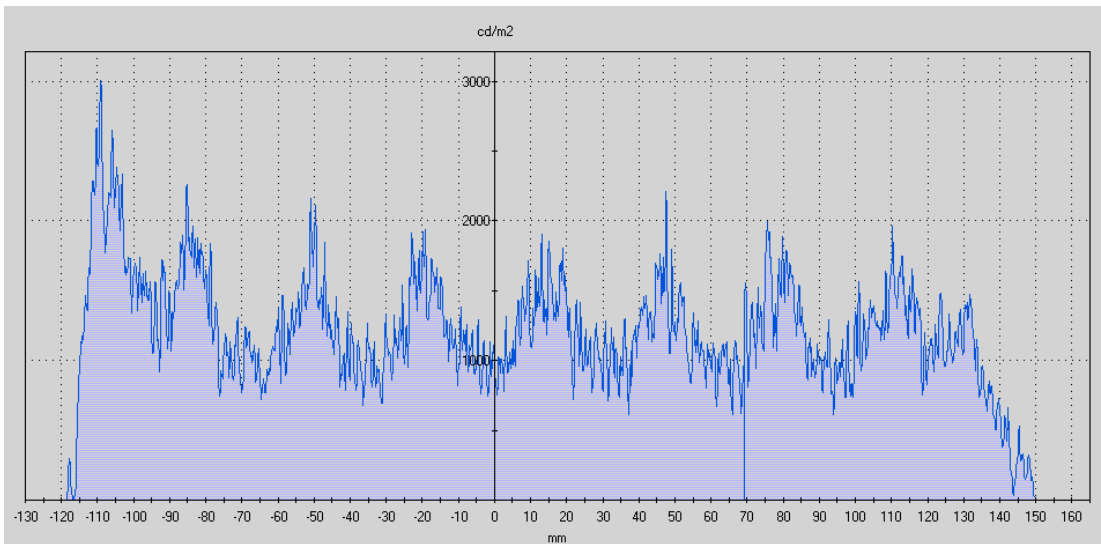




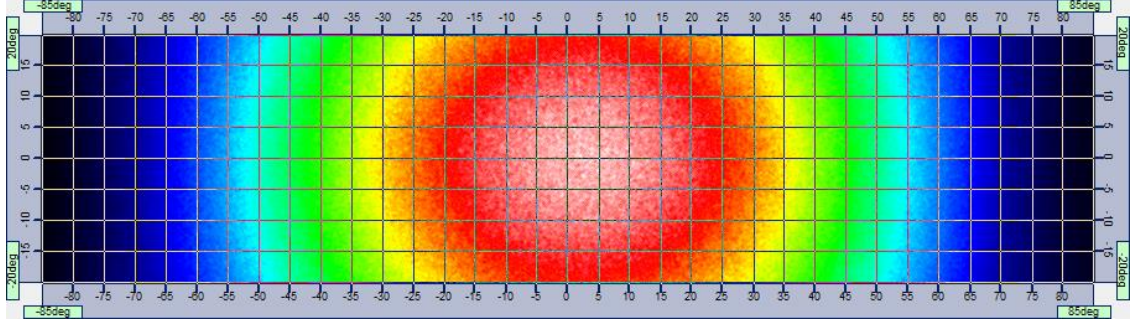
Şekil 4.17 Kuşlamasız Diffuse101 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



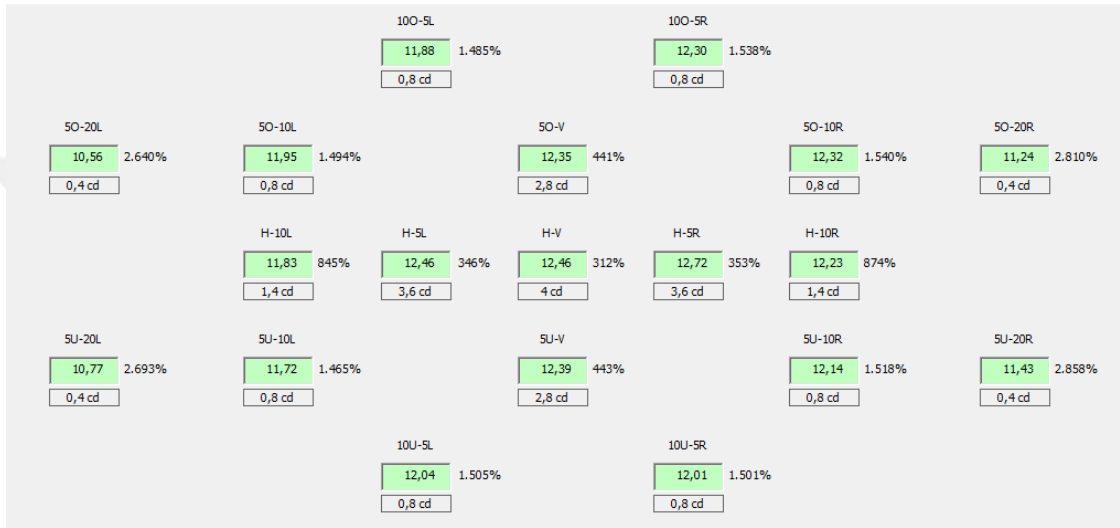
Şekil 4.18 Kuşlamasız Diffuse101 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.19 Kuşlamasız Diffuse101 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.20 Kumlamasız Diffuse101 ters renk ışık şiddeti görüntüsü



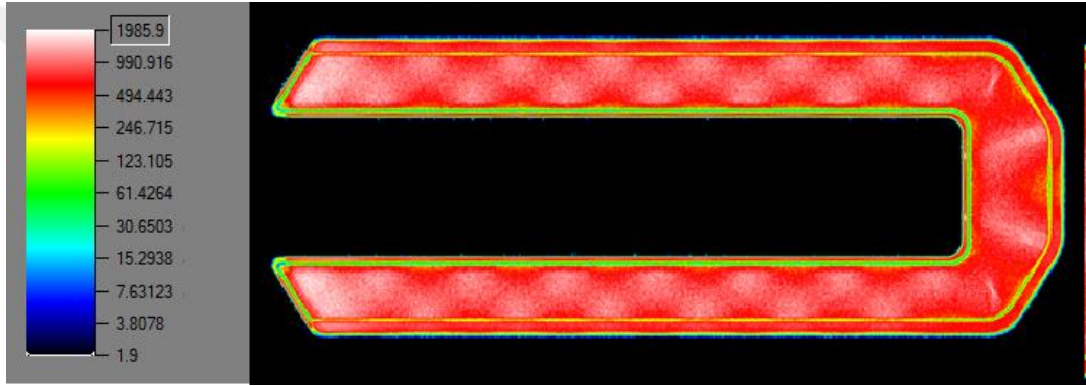
Şekil 4.21 Kumlamasız Diffuse101 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

Işık dağılım grafiği incelendiğinde minimum değerler 900 cd/m<sup>2</sup> civarında iken maksimum değerler 2100 cd/m<sup>2</sup> civarında gözükmemektedir. Aradaki fark 1200 cd/m<sup>2</sup> civarındadır. Kumlamasız versiyona göre minimum ve maksimum değerler arasındaki fark azalmıştır. PMMA yerine ışık dağıtıcı özellikli malzeme kullanıldığında ışığın dağılmasına pozitif yönde etkisi sonuçlardan görülebilmektedir. Fakat istenen homojen dağılım bu versiyonda da elde edilememiştir.

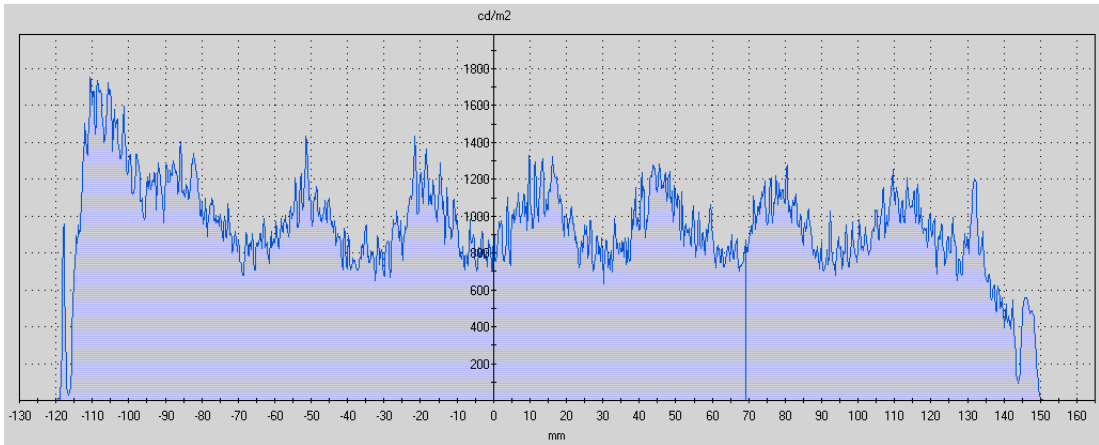
Kumlamasız hali ile iyi sonuç elde edilemediği için Diffuse 101 malzemeli iç lensin iç ve dış yüzeylerine kumlama uygulanmıştır.



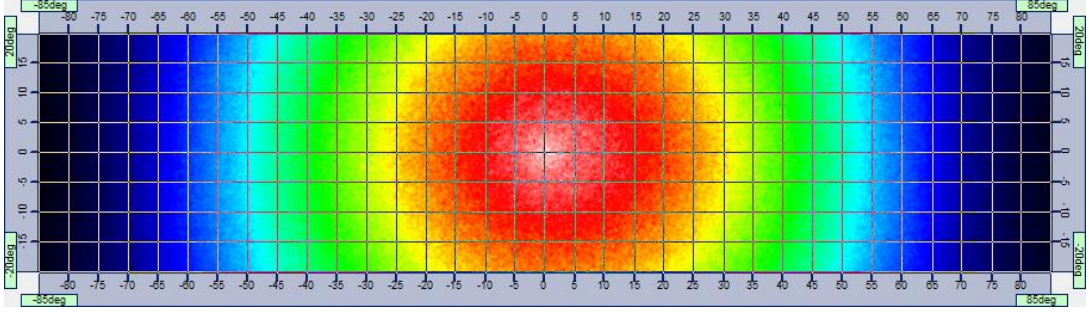
Şekil 4.22 Kuşlamalı Diffuse101 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



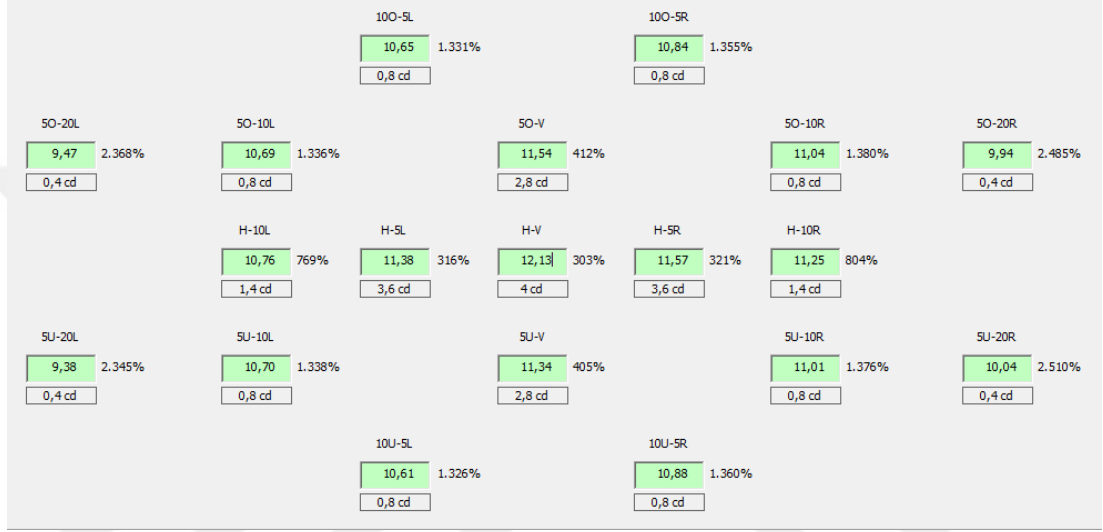
Şekil 4.23 Kuşlamalı Diffuse101 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.24 Kuşlamalı Diffuse101 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.25 Kuşlamalı Diffuse101 ters renk ışık şiddeti görüntüsü



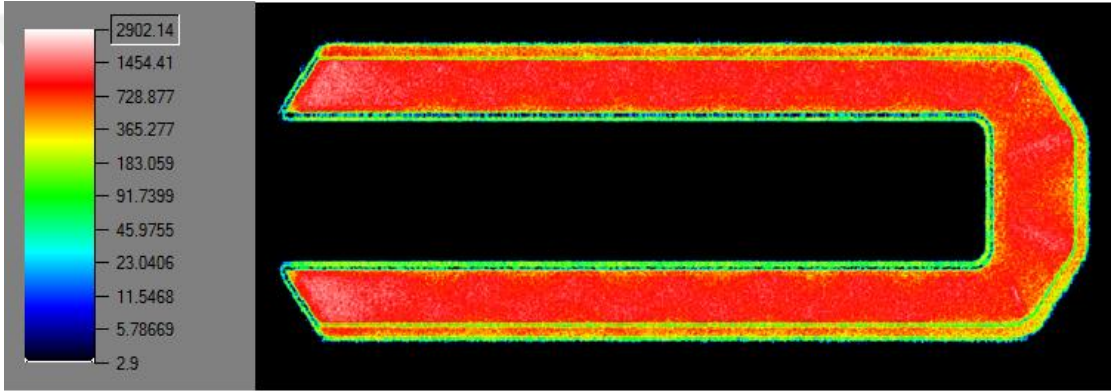
Şekil 4.26 Kuşlamalı Diffuse101 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

Kuşlamalı Diffuse101 versiyonunun ışık yayılım grafiği Şekil 4.24 incelendiğinde minimum değer  $800 \text{ cd/m}^2$  iken maksimum değer  $1400 \text{ cd/m}^2$  civarındadır ve aradaki fark  $600 \text{ cd/m}^2$  civarındadır.

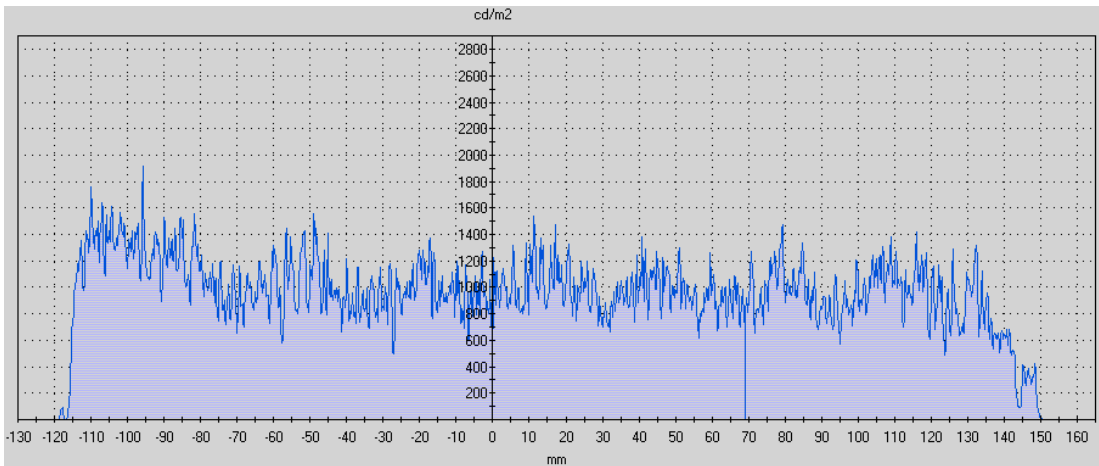
Daha homojen bir ışık yayılımı elde edebilmek amacıyla Şekil 2.2'deki örnek temel alınarak Diffuse 301 ve Diffuse 501 malzemelerinin kuşlamasız ve kuşlamalı versiyonları da denenmiştir.



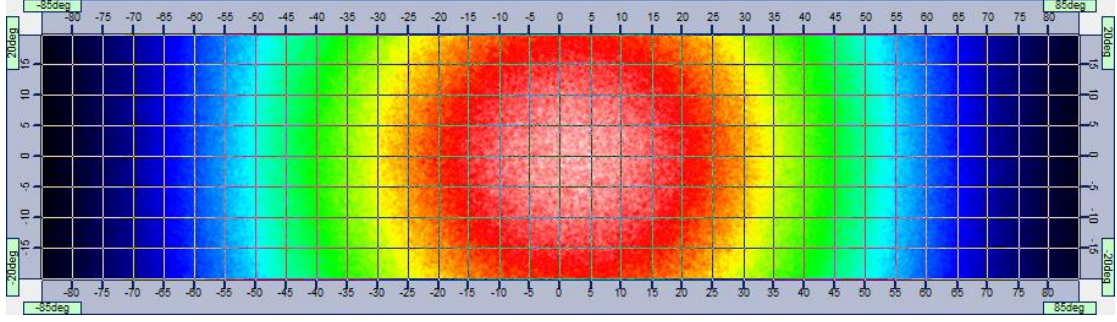
Şekil 4.27 Kuşlamasız Diffuse301 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



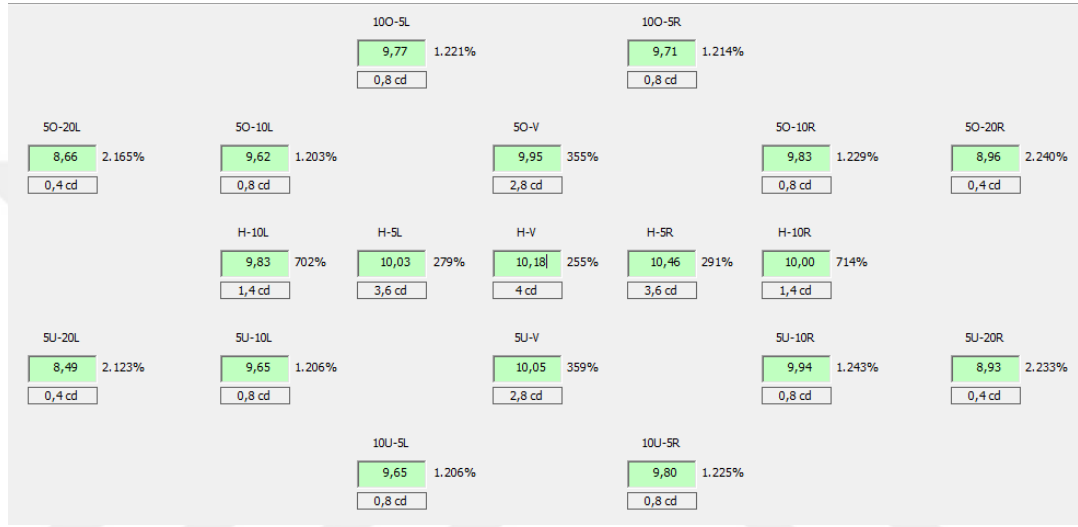
Şekil 4.28 Kuşlamasız Diffuse301 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.29 Kuşlamasız Diffuse301 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.30 Kuşlamasız Diffuse301 ters renk ışık şiddeti görüntüsü

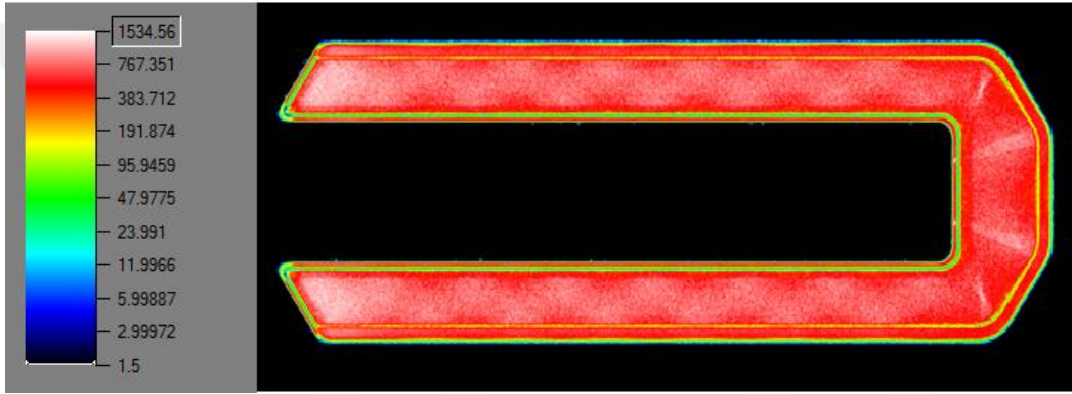


Şekil 4.31 Kuşlamasız Diffuse301 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

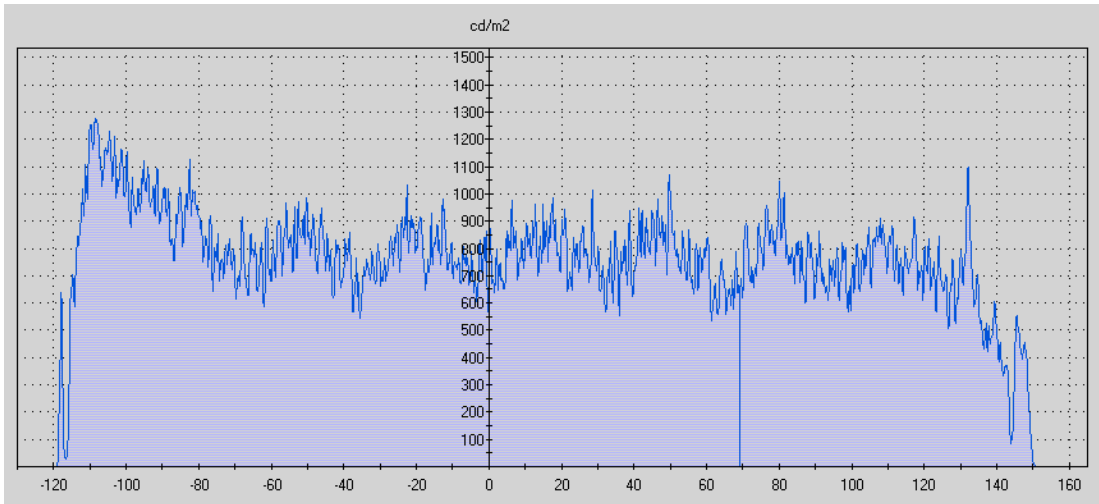
Kuşlamasız Diffuse 301 versiyonun ışık yayılım grafiği Şekil 4.29 incelendiğinde minimum ve maksimum değerler arasındaki fark, kuşlamalı Diffuse 101 versiyonu gibi  $600 \text{ cd/m}^2$  olsa da Şekil 4.23 ile Şekil 4.28 karşılaştırıldığında Şekil 4.28'de bulunan kuşlamasız Diffuse 301'in sonucu Şekil 4.23'de bulunan kuşlamalı Diffuse 101 sonucuna göre daha homojen görünmektedir.



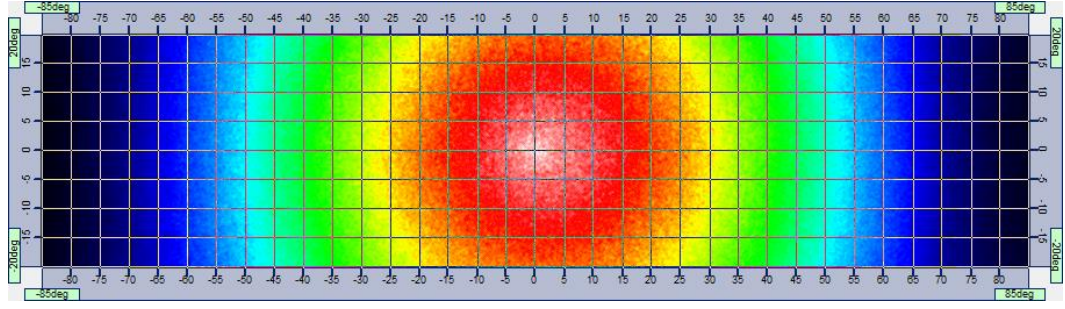
Şekil 4.32 Kuşlamalı Diffuse301 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



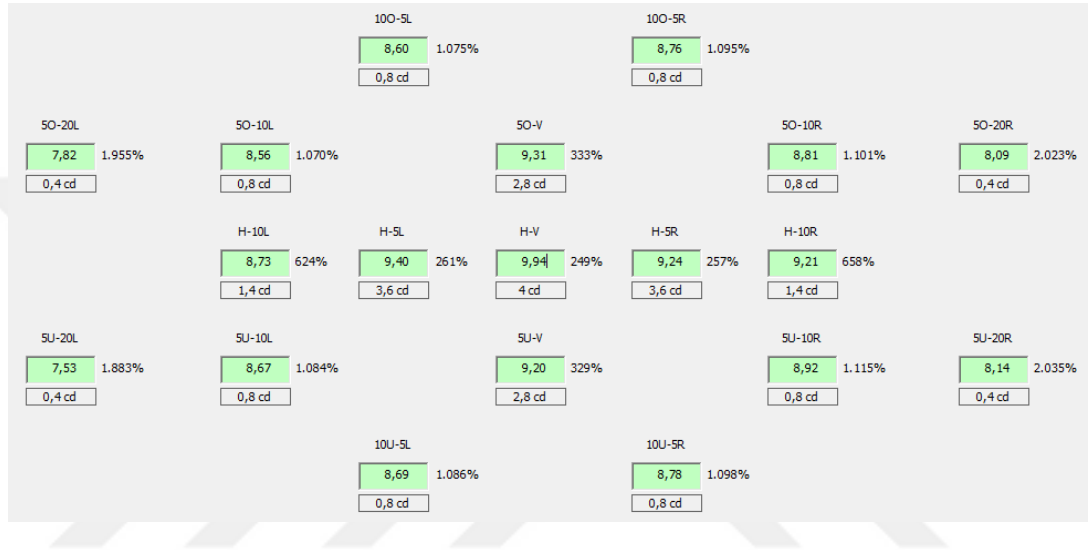
Şekil 4.33 Kuşlamalı Diffuse301 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.34 Kuşlamalı Diffuse301 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.35 Kuşlamalı Diffuse301 ters renk ışık şiddeti görüntüsü



Şekil 4.36 Kuşlamalı Diffuse301 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

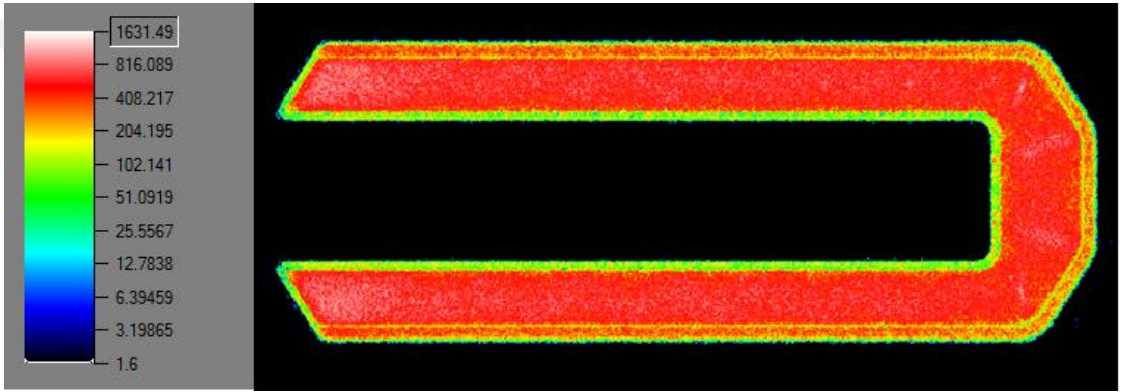
Kuşlamalı Diffuse301 versiyonunun ışık yayılım grafiği Şekil 4.34 incelendiğinde minimum değer  $700 \text{ cd/m}^2$  civarında iken maksimum değer  $1000 \text{ cd/m}^2$  civarındadır ve aralarındaki fark ise  $300 \text{ cd/m}^2$ 'dir.

Diffuse 301'den daha fazla ışık saçma özelliği bulunan Diffuse502 maddesi de denenmiştir.

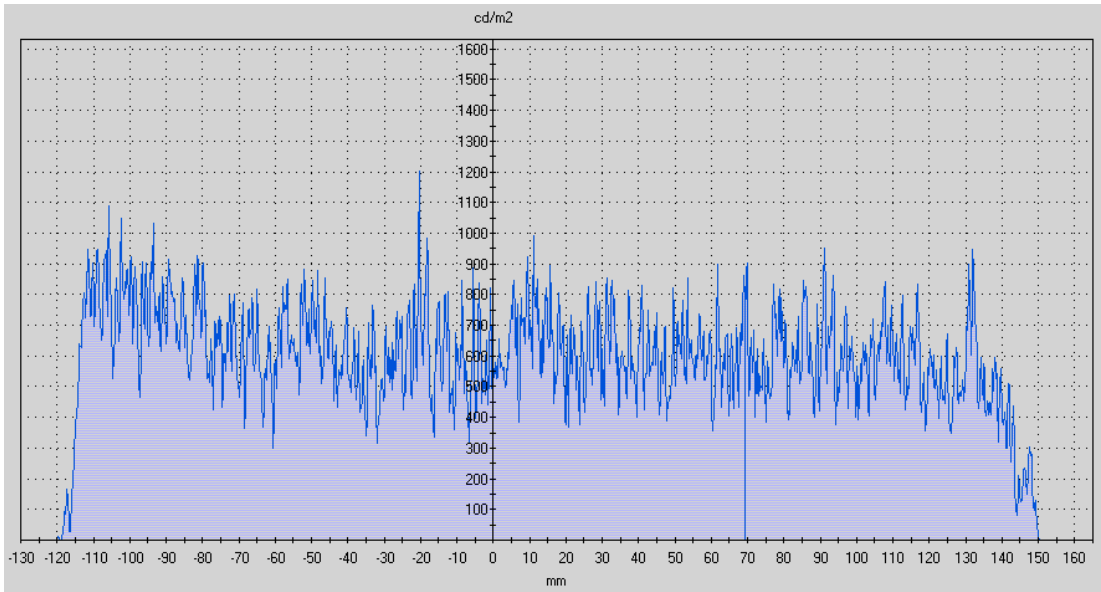




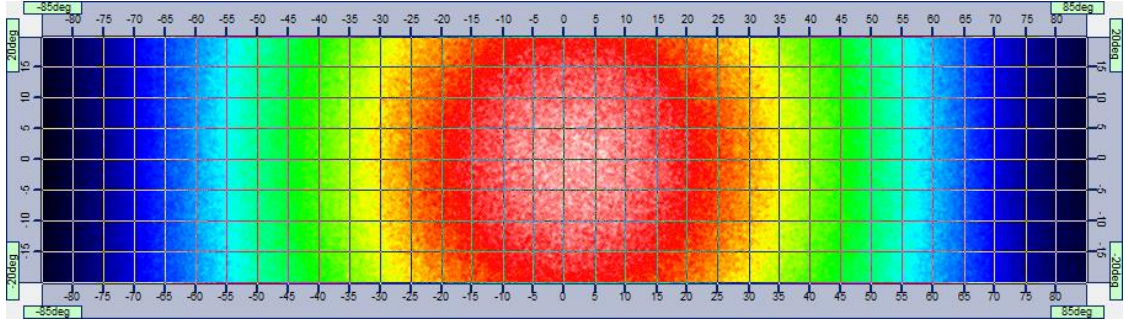
Şekil 4.37 Kuşlamasız Diffuse502 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



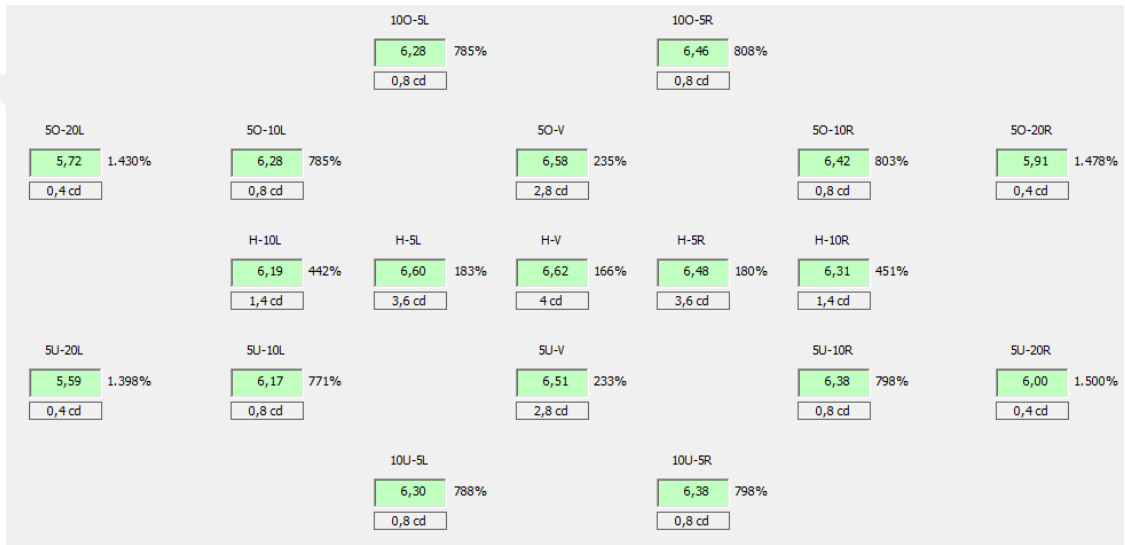
Şekil 4.38 Kuşlamasız Diffuse502 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.39 Kuşlamasız Diffuse502 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.40 Kumlamasız Diffuse502 ters renk ışık şiddeti görüntüsü

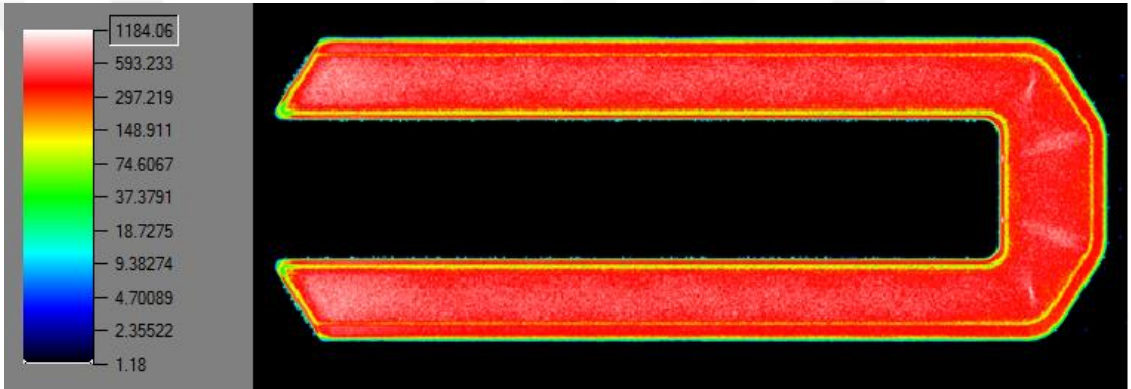


Şekil 4.41 Kumlamasız Diffuse502 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

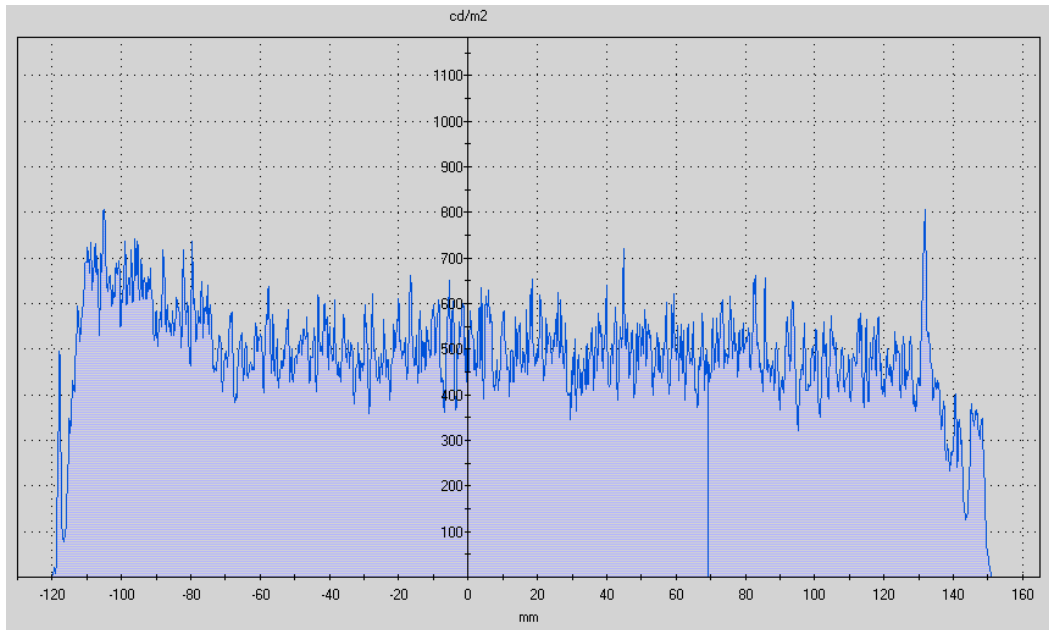
Kumlamasız Diffuse 502 sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de görüldüğü üzere ışık dağılımı daha da homojen hale gelmiştir. Şekil 4.39'da bulunan grafik incelendiğinde ise minimum ve maksimum noktalar arasındaki farkın Şekil 4.34'de bulunan kumlamalı Diffuse 301 ile aynı olduğu görülmüştür. Fakat Şekil 4.37 ile Şekil 4.32 ve Şekil 4.38 ile Şekil 4.33 karşılaştırıldığında Diffuse502'nin Diffuse301'e göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Diffuse 502'nin Diffuse 301'e göre dezavantajı ışık şiddetinin azalmasıdır. Şekil 4.46 ile Şekil 4.41 karşılaştırıldığında merkez nokta temel alınarak değerlendirildiğinde %33 civarında bir düşüş gözlenmektedir. Düştüğü değer olan 6,620 cd ise ECE şartnamesi limiti olan 4 cd'ya uzak olsa da garanti faktörü olarak belirlenen %130 limiti olan 5,200 cd değerine yakındır.



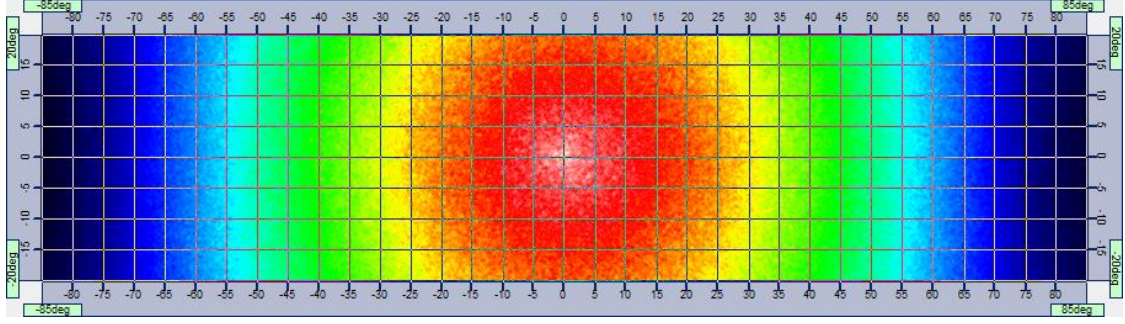
Şekil 4.42 Kumlamalı Diffuse502 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



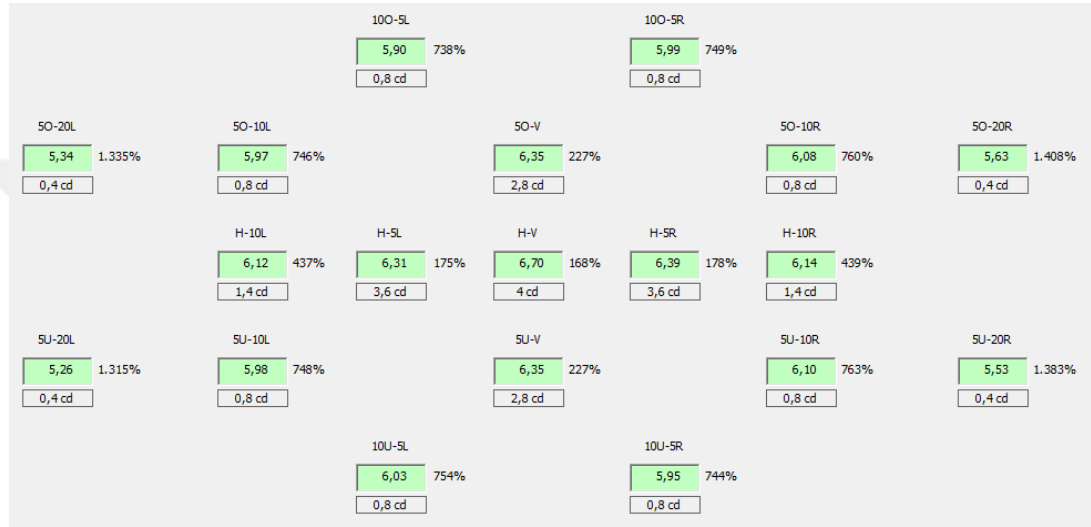
Şekil 4.43 Kumlamalı Diffuse502 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.44 Kumlamalı Diffuse502 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.45 Kuşlamalı Diffuse502 ters renk ışık şiddeti görüntüsü



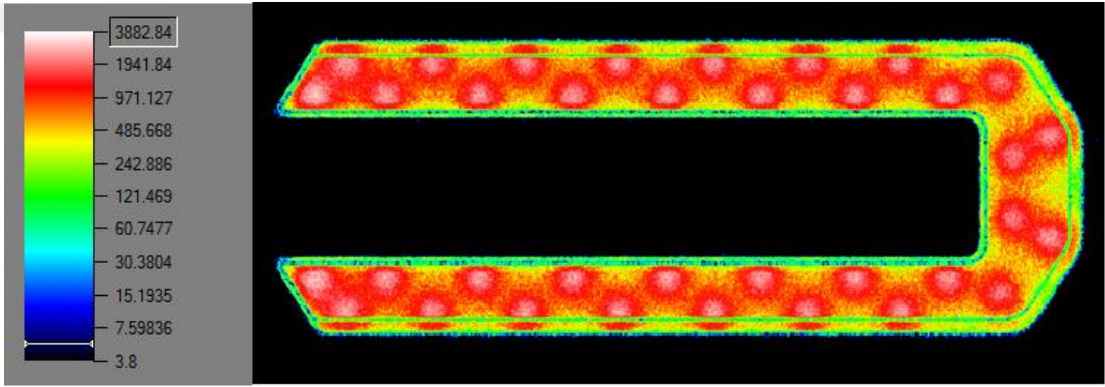
Şekil 4.46 Kuşlamalı Diffuse502 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

Kuşlamalı Diffuse 502 sonuçları incelendiğinde, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de bulunan ışık yayılım grafikleri artık ışığın diğer malzemeler ile çıkan sonuçlara göre gayet homojen yayıldığını göstermektedir. LED’lerin merkezleri belirsiz hale gelmiş ve floresan lambasından çıkan ışık benzeri bir ışık yayılımı gözlenmektedir. Şekil 4.44’de bulunan ışık yayılım grafiği incelendiğinde ortaya çıkan minimum ve maksimum noktalar arasındaki fark  $200 \text{ cd/m}^2$ ’ye kadar düşmesi de bu durumu desteklemektedir.

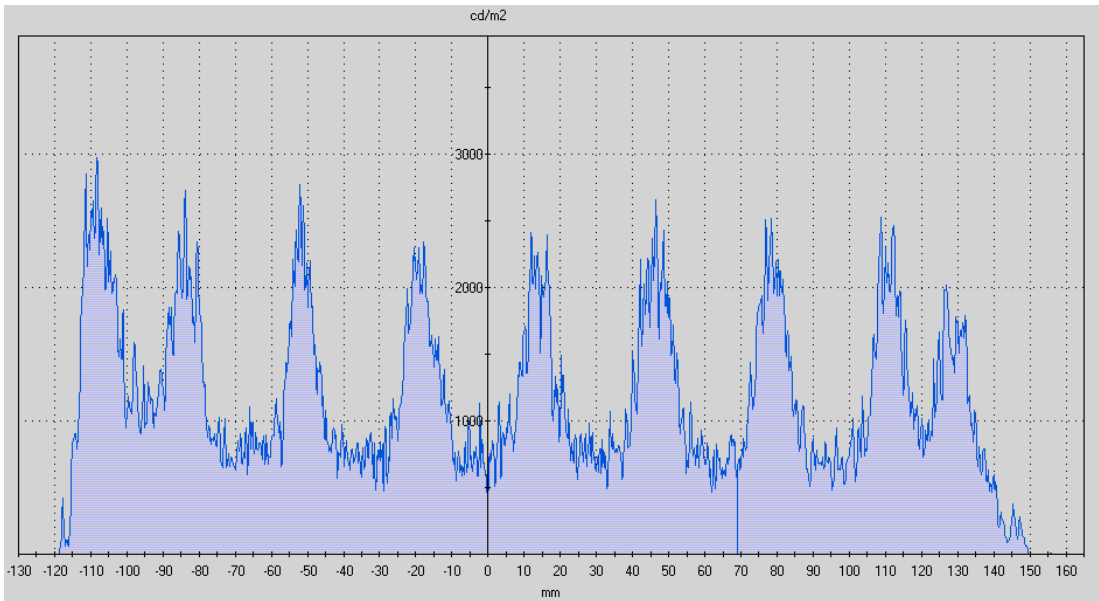
Bu çalışmada denenen bir diğer malzeme de DF23 kodlu ışık dağıtıcı özelliğe sahip malzemedir. Bu çalışmaya dâhil edilmesinin sebebi piyasada en çok kullanılan ışık dağıtıcı özelliğe sahip malzeme olmasıdır.



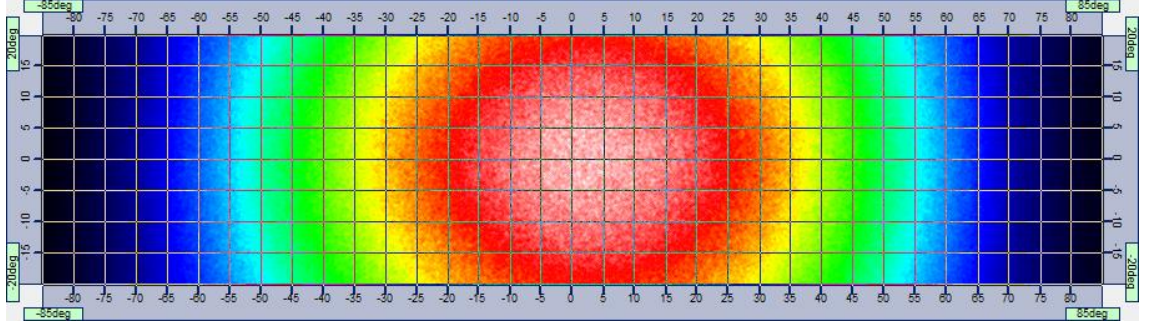
Şekil 4.47 Kuşlamasız DF23 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü



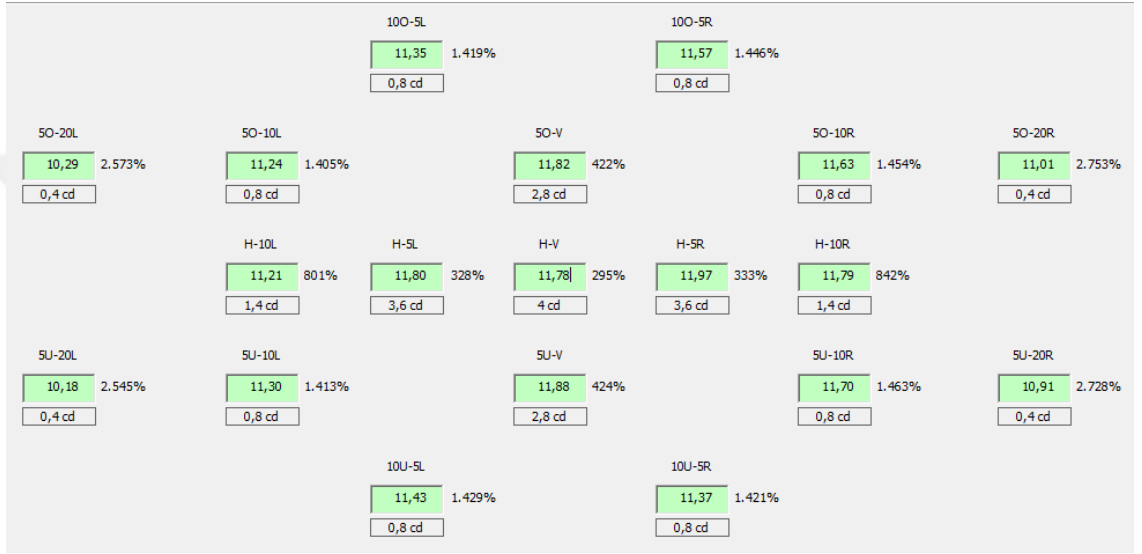
Şekil 4.48 Kuşlamasız DF23 ters renk ışık yayılım görüntüsü



Şekil 4.49 Kuşlamasız DF23 ışık yayılım grafiği



Şekil 4.50 Kumlamasız DF23 ters renk ışık şiddeti görüntüsü

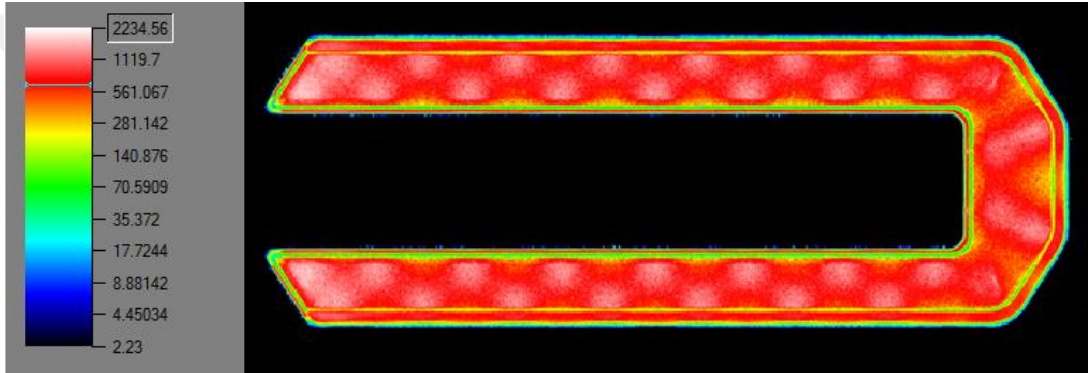


Şekil 4.51 Kumlamasız DF23 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri

Kumlamasız DF23 malzeme sonuçları irdelemek için diğer malzemelerin de kumlamasız sonuçları ile kıyas yapmak gerekir. Gerçek renk ışık yayılım görüntüleri olan Şekil 4.7'de bulunan PMMA'nın sonucu , Şekil 4.17'de bulunan Diffuse101'in sonucu, Şekil 4.27'de bulunan Diffuse301'in sonucu ve Şekil 4.37'de bulunan Diffuse 502 malzemelerinin sonuçları karşılaştırıldığında sadece PMMA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ters renk ışık görüntüleri de bu durumu desteklemekte, Şekil 4.49'da bulunan DF23 malzemesinin ışık yayılım grafiğindeki minimum ve maksimum noktalar arasındaki yaklaşık 2000 cd/m<sup>2</sup>'lik fark da homojen olmayan bir ışık yayılımını göstermektedir.

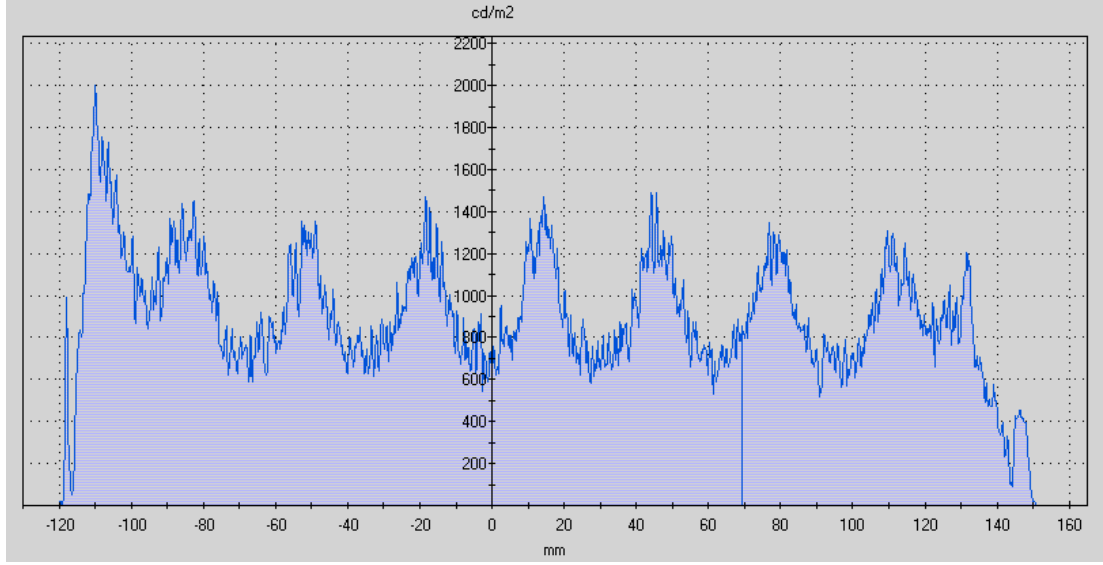


Şekil 4.52 Kumlamalı DF23 gerçek renk ışık yayılım görüntüsü

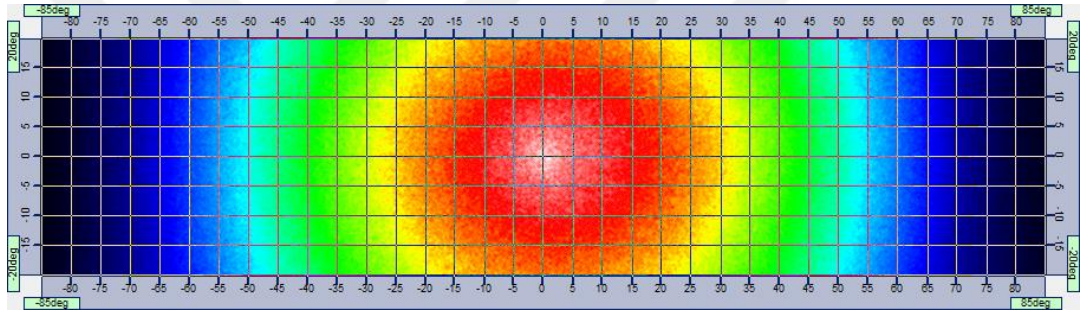


Şekil 4.53 Kumlamalı DF23 ters renk ışık yayılım görüntüsü

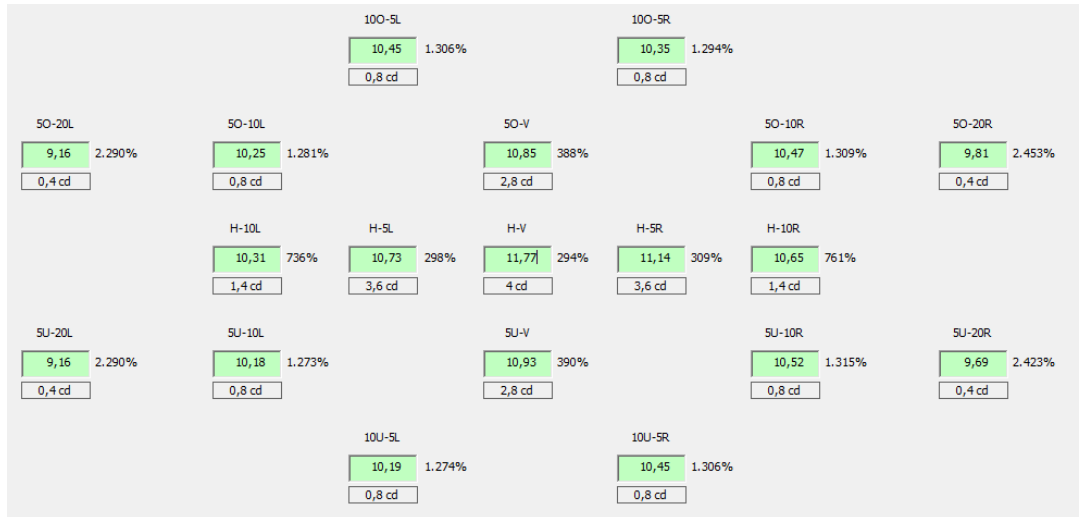
Kumlamalı DF23 sonuçlarını irdelemek için diğer kumlamalı sonuçlar olan gerçek renk ışık yayılım görüntüleri olan Şekil 4.12'deki kumlamalı PMMA, Şekil 4.22'deki kumlamalı Diffuse 101, Şekil 4.32'deki kumlamalı Diffuse 301 ve Şekil 4.42'deki kumlamalı Diffuse 502 sonuçları karşılaştırılmıştır. Kumlamasız versiyonda olduğu gibi kumlamalı versiyonda da sadece PMMA'dan daha iyi sonuç görülmüştür.



Şekil 4.54 Kuşlamalı DF23 ters renk ışık yayılım grafiği



Şekil 4.55 Kuşlamalı DF23 ters renk ışık şiddeti görüntüsü



Şekil 4.56 Kuşlamalı DF23 - Regülasyon noktalarındaki ışık değerleri



Lens için yapılan farklı malzemeler dışında gövdede de farklı malzemeler ile denemeler yapılmıştır. Gövde için dayanıklılığı ve şekillendirmeyi de düşünerek ABS ya da PC-ABS bileşimi malzeme kullanılması gerekmektedir. Hangi malzemenin kullanılacağı ise metalizasyon işlemi ile alüminyum kaplandıktan sonra yansıtacağı ışık miktarına göre seçilecektir.

Bu seçimi yapabilmek için gövde parçası hem ABS hem de PC-ABS malzemenin üretilip fotometrik ölçümleri yapılmıştır.

EK-5’de ABS malzeme ile üretilmiş gövde ile alınan sonuçlar bulunmaktadır. Sonuçlarda incelendiğinde merkez değer olan H-V değeri 15,28 cd olmaktadır. EK-6’da bulunan sonuçlar ise PC-ABS bileşimi malzemenin üretilmiş gövde ile olan sonuçlar bulunmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde merkez değer olan H-V ise bu malzeme ile 16,35 cd olmaktadır. Sadece merkez değerler baz alındığında yaklaşık %7’lik bir artış bulunmaktadır.

Yukarıdaki sonuçlar bize PC-ABS malzemenin PC malzemeye göre daha iyi kaplanabildiğini ve dolayısıyla daha fazla ışığı yansıtılabildiğini göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada baz alınan ürün, birçok araçta kullanılabilecek şekilde tasarlanan standart bir ürün olmasından dolayı parçanın üzerinde genişlik, montaj bölümleri ve derinlik gibi faktörler eski versiyon parçalar ile sabit tutulmuştur. Bundan dolayı ürün üzerinde farklı malzeme ve yüzeyler incelenmiştir. Yapılan çalışmanın bu tür tasarımsal olarak kısıtlanan durumlarda hangi malzeme ve yüzeylerin daha iyi sonuç verdiği araştırılmıştır.

Kumlama büyüklüğünün tespit edilme çalışmaları bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Otomotiv aydınlatmalarında kullanılan en büyük kumlama büyüklüklerinden olan VDI42 kodlu kumlama büyüklüğü uygulanmıştır. Uygulama aşamalarında ışık şiddeti değerinin regülasyon limitlerinin altına düşmemesine dikkat edilmiştir. VDI42 büyüklüğünde kumlama parça üzerinde kötü bir görünüm vereceği varsayılarak dış yüzeyine ise VDI30 uygulanmıştır. Kumlama uygulanarak elde edilen veriler bu kumlama değerleri ile elde edilmiştir.

Kumlamanın farklı malzemelerdeki etkisini görmek için ışık yayılım görüntülerinde yer alan baremlerdeki maksimum değerler incelenmiş, kumlamanın etkisinin difüzer malzemelerden çok normal malzemelerde etkisi olduğu görülmüştür. Kumlamasız versiyonlar ile kumlmalı versiyonlar kıyaslandığında, PMMA için düşüş %78,1 iken Diffuse101 malzemesinde %38,2, Diffuse301 malzemesinde %47,2, Diffuse502 malzemesinde %27,5, DF23 malzemesinde ise %42,5 olmuştur.

Işık kaynağı olarak pozisyon lambalarında sıkça kullanılan Osram'ın LA T67F LED'i seçilmiştir. Seçilen LED pozisyon lambalarında en çok kullanılan LED'lerden biridir.

Yukarıdaki bahsedilen açıklamalar dışında bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1 - LED ile lens arasındaki mesafe az olduğunda; kumlama gibi işlemler yapılması daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır. Kumlamasız ve kumlmalı sonuçlar arasındaki farklar bu durumu desteklemektedir.

2 – Kumlama işleminin yeterli olmadığı durumlarda (ışık dağıtıcı özelliğe sahip) özel malzeme kullanımının gerektiği görülmüştür. Bu çalışmada denenilen Diffuse101,

Diffuse 301, Diffuse 502 ve DF23 malzemeler ile elde edilen sonuçlar bu durumu desteklemektedir.

3 – Işık dağıtıcı özelliğe sahip malzemelerin ışık şiddetini azalttığı tespit edilmiştir. Bu ışık azalmasının otomotiv aydınlatması gibi belli ışık şiddeti istenen durumlarda negatif etki doğuracağı ortaya çıkmıştır.

4 - Elde edilen tüm veriler incelendiğinde, yüzeye uygulanan kumlama işleminin, kullanılacak malzemenin, kullanılacak ışık kaynağı adedinin, ışık kaynağı özelliklerinin ve tasarımın hep beraber irdelenerek ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur.



## KAYNAKLAR

- [1] Daimler Tarihçesi, <http://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>, **Ekim 2016**
- [2] Alan I. Taub, Automotive Materials: Technology Trends and Challenges in the 21st Century, *MRS BULLETIN*, **2016**, Vol. 31(s.336)
- [3] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik komisyonu, UN Vehicle Regulations, E/ECE/324/Add.6/Rev.6–/ECE/TRANS/505/Add.6/Rev.6, **22 Ekim 2012**
- [4] Arkema, Plexiglas Acrylic Material, Optical & Transmission Characteristics, ADV980497/APL:ATG-18S/web/6-00, **2000**
- [5] 2016 Model Audi A6, <http://topautospeed.com/2016-audi-a6/>, **Ekim 2016**
- [6] Arkema, Altuglas, Lighting solutions for your innovations, GB, **Eylül 2015**
- [7] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 3400, Electrical Discharge Machining (EDM), Definitions, processes, application, **Ekim 2007**
- [8] United Nations Economic Commission of Europe, Status of the Agreement, of the annexed UN Regulations and amendments thereto Revision 24, ECE /TRANS/WP.29/343/Rev.24, Syf. 48, **19 Şubat 2016**
- [9] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Uniform provisions concerning the approval of Vehicles with regard to the installation of Lighting and light-signalling devices, E/ECE/324/Rev.1/Add.47/Rev.12 – E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.47/Rev.12, syf. 15, Bölüm 2.29, **16 Ekim 2014**
- [10] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Uniform provisions concerning the approval of rear fog lamps for power-driven Vehicles and their trailers, E/ECE/324/Rev.1/Add.37/Rev.3–E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.37/Rev.3, **20 Ağustos 2013**
- [11] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu, Uniform provisions concerning the approval of reversing lamps for power-driven vehicles and their trailers, E/ECE/324/Rev.1/Add.22/Rev.4–E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.22/Rev.4, **20 Ağustos 2013**
- [12] American Society for Testing and Materials, ASTM D1003, Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics

- [13] OSRAM GmbH, LA T67F TOPLED Datasheet Version 1.0, **8 Ekim 2013**
- [14] Shree K. Nayar, Katsushi Ikeuchi, Takeo Kanade, Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives, **Mart 1989**
- [15] Eichhorn K., LEDs in Automotive Lighting, *Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications X*, **2006**, 6134(613405-1)
- [16] Domhardt A., Rohlfing U., Klinger K., Manz K., Kooß D., Lemmer U., Optical Design of LED-Based Automotive Tail Lamps, *Nonimaging Optics and Efficient Illumination Systems IV*, **2007**, 6670, 66700L
- [17] Schoette B., Sivak M., Fujiyama Y., LEDs and Power Consumption of Exterior Automotive Lighting: Implications for Gasoline and Electric Vehicles, UMTRI-2008-48, **Ekim 2008**
- [18] Ignell S., Kliet U., Rigdahl M., Evaluating Contrast Gloss of Textured Polymeric Surfaces, *Polymer Engineering and Science*, **2010**
- [19] L.B.Kong, C.F. Cheung, J.B.Jiang, S.To, W.B.Lee, Characterization of Freeform Optics in Automotive Lighting, *Elsevier Optik*, **2011**, Optik 122 (2011) 358–363
- [20] Sara P., Alessandro L., Marco S., Luminance Homogeneity of Rear-lamps Lighting functions: Comparison of some OEM's Analytical Evaluation Criteria, *11th International Symposium on Automotive Lighting*, **2015**, Syf. 555
- [21] Arkema Group, Altuglas Diffuse - Maximum Diffusion and Transmission, **Ekim 2013**
- [22] Evonik Industries AG, Plexiglas Satinice df23 8N, Ref. No: MC122-E3 V0160, Darmstadt - Almanya, **2013**

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı SOYADI** : Hakan KARAGÖL

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 16.06.1986 Ankara

**Yabancı Dili** : İngilizce

**E-posta** : karagolhakan@yahoo.com.tr

### ÖĞRENİM DURUMU

<u>Derece</u>	<u>Alan</u>	<u>Üniversite</u>	<u>Mezuniyet Yılı</u>
Lisans	Fizik Mühendisliği	Gaziantep Üniversitesi	2011

### İŞ TECRÜBESİ

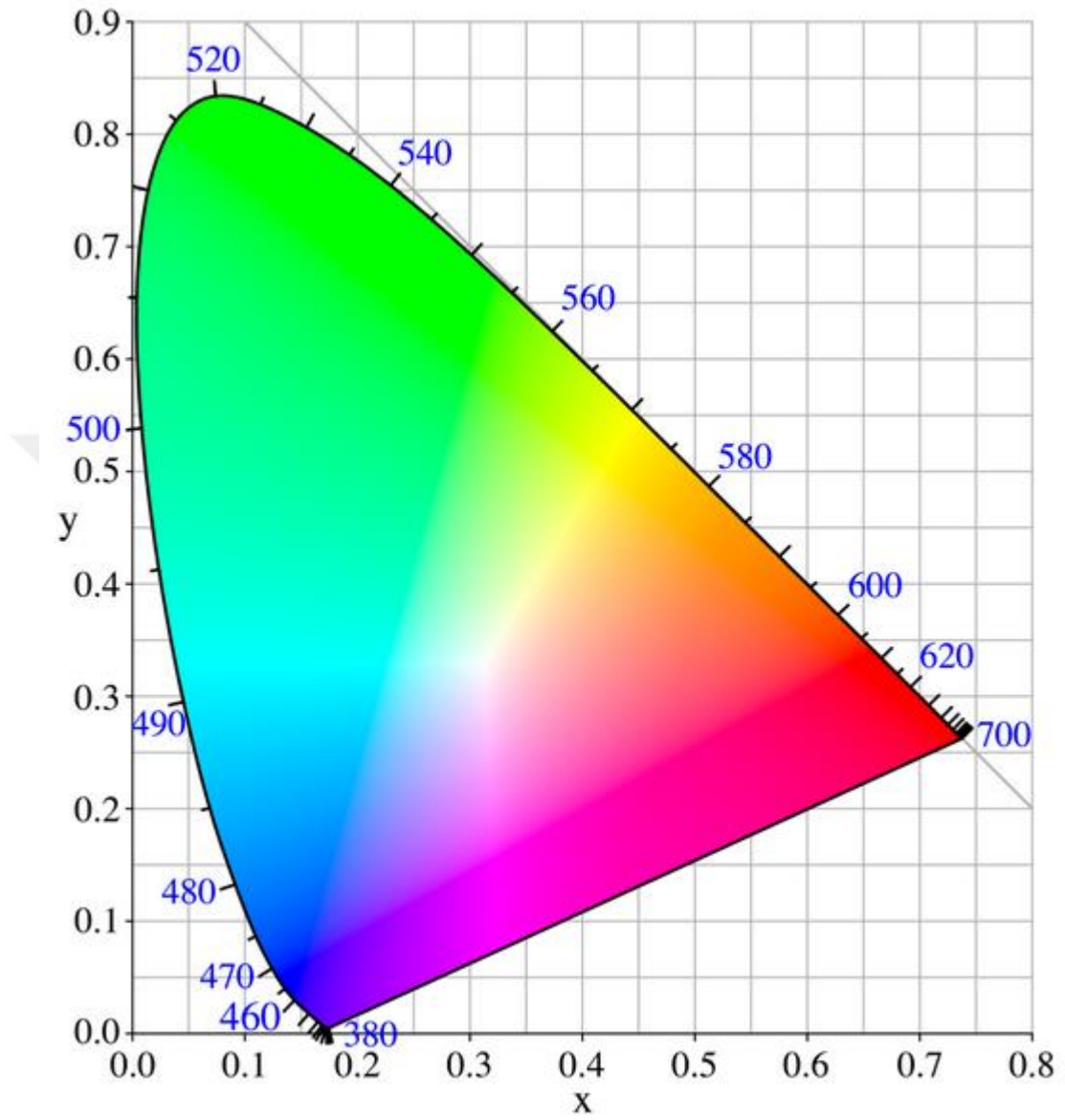
<u>Yıl</u>	<u>Firma/Kurum</u>	<u>Görevi</u>
2015 -	Farba Otomotiv A.Ş.	Optik Tasarım ve Analiz Mühendisliği
2012 – 2015	Feka Otomotiv A.Ş.	Optik Tasarım ve Analiz Mühendisliği

## EKLER



EK-1

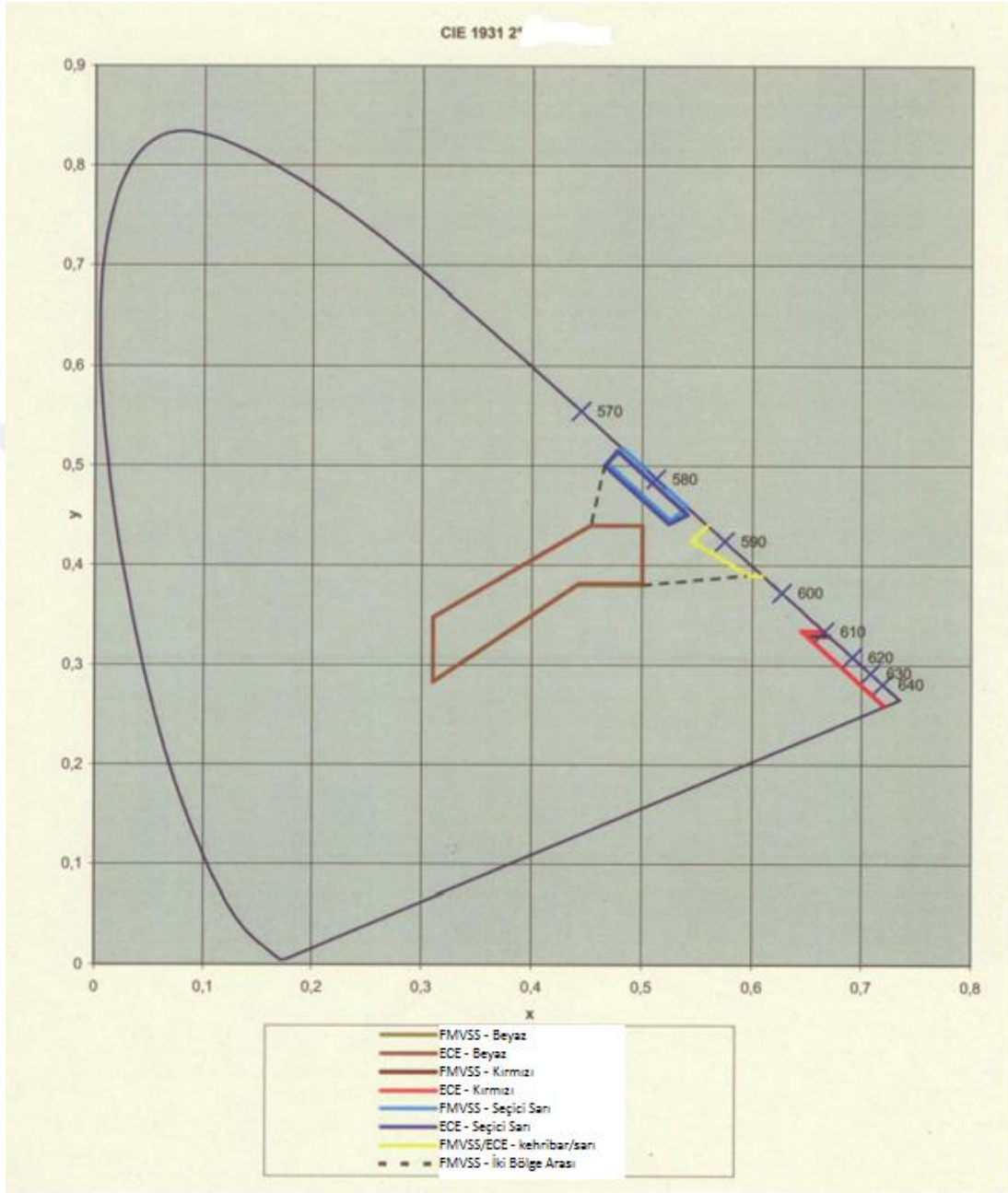
### CIE Grafiği



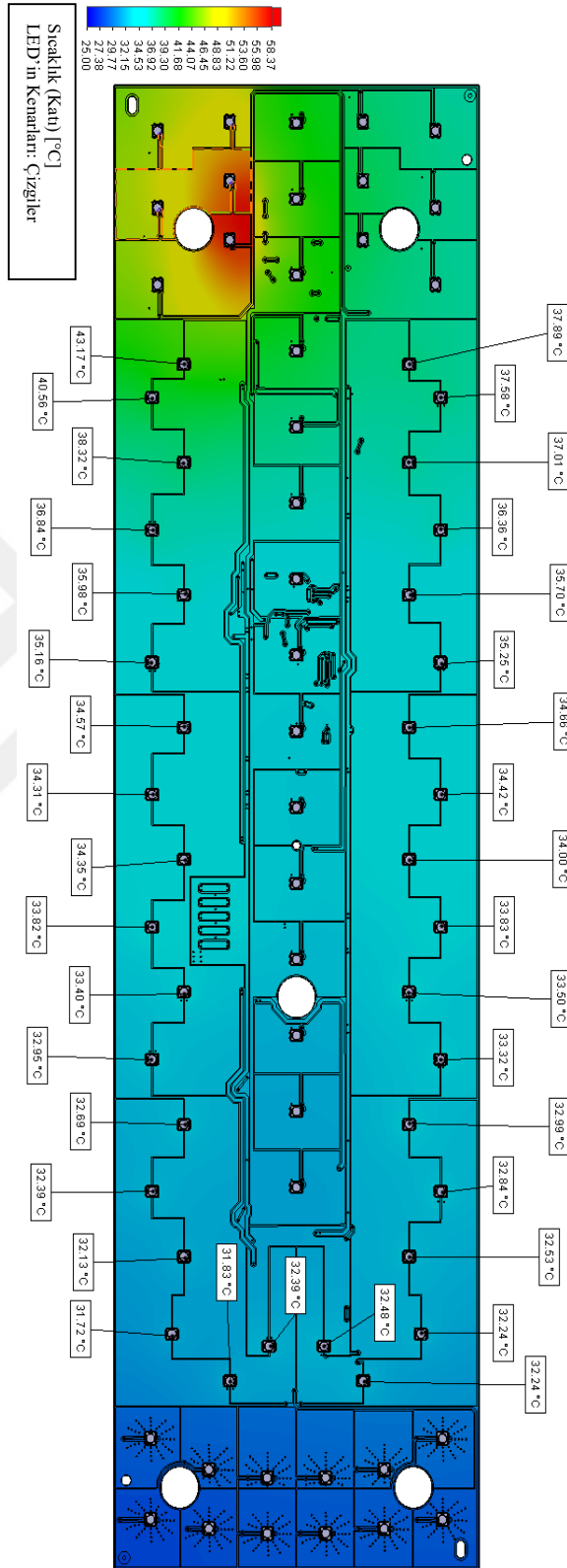


## EK-2

### ECE Regülasyonlarında Belirtilen Renklerin Alanları

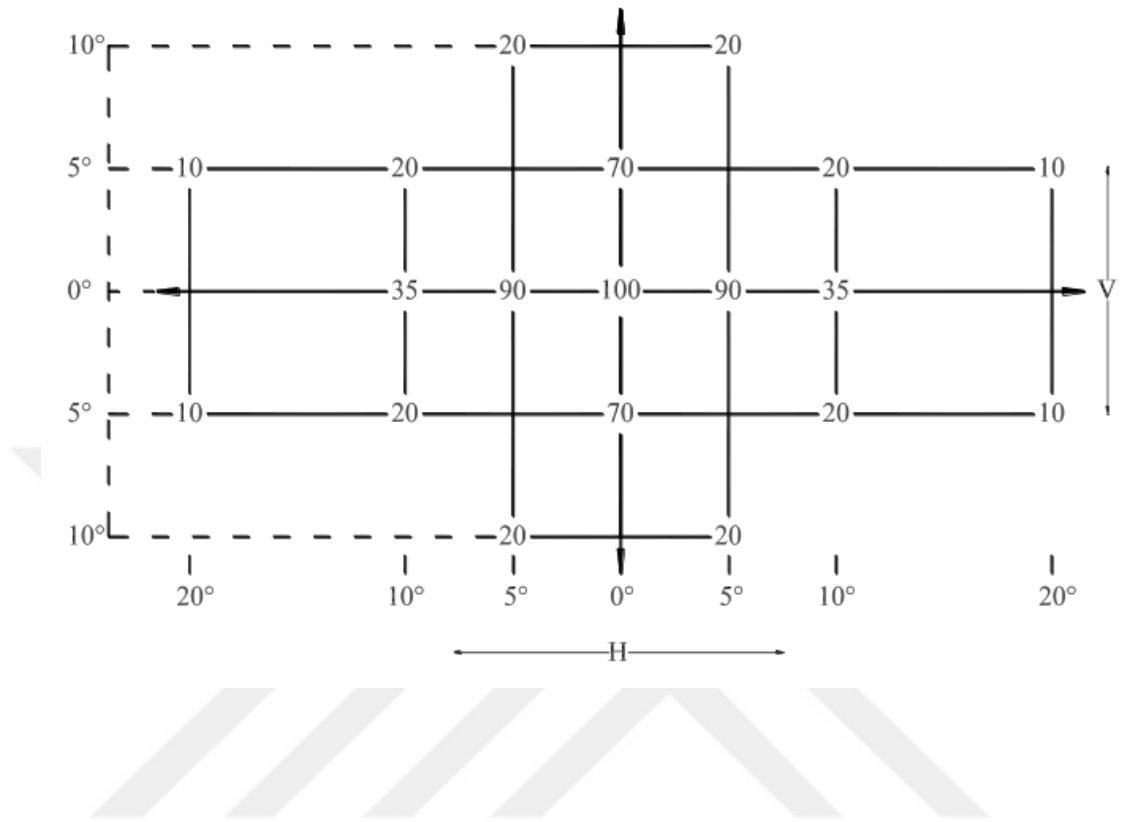


Unistop – 4 Pozisyon Fonksiyonu Termal Analiz Görüntüsü



**EK – 4**

**ECE Regülasyon No.7 – Yüzdesel olarak ışık dağılımı**



**EK-5****ABS Malzeme ile üretilmiş gövde ile yapılmış fotometrik ölçüm sonucu**

Function	Min	Max	Value	Reaim	N.O.K.
10U - 5L	.8	17	14.89		
10U - 5R	.8	17	14.61		
5U - 20L	.4	17	14.21		
5U - 10L	.8	17	15.08		
5U - V	2.8	17	15.18		
5U - 10R	.8	17	14.48		
5U - 20R	.4	17	13.07		
H - 10L	1.4	17	15.17		
H - 5L	3.6	17	15.33		
H - V	4	17	15.28		
H - 5R	3.6	17	15.03		
H - 10R	1.4	17	14.58		
5D - 20L	.4	17	14.21		
5D - 10L	.8	17	15.06		
5D - V	2.8	17	15.16		
5D - 10R	.8	17	14.45		
5D - 20R	.4	17	13.05		
10D - 5L	.8	17	14.85		
10D - 5R	.8	17	14.56		
Geo.Vis.Inward					
15U - 45 Inner	0.05	17	9.15		
10U - 45 Inner	0.05	17	9.43		
5U - 45 Inner	0.05	17	9.54		
H - 45 Inner	0.05	17	9.54		
5D - 45 Inner	0.05	17	9.47		
10D - 45 Inner	0.05	17	9.31		
15D - 45 Inner	0.05	17	8.98		
GeoVis.Outward					
15U - 80 Outer	0.05	17	1.00		
10U - 80 Outer	0.05	17	0.89		
5U - 80 Outer	0.05	17	0.83		
H - 80 Outer	0.05	17	0.80		
5D - 80 Outer	0.05	17	0.81		
10D - 80 Outer	0.05	17	0.85		
15D - 80 Outer	0.05	17	0.93		

**EK-6****PC-ABS Bileşimi malzeme ile üretilmiş gövde ile yapılmış fotometrik ölçüm sonucu**

Function	Min	Max	Value	Reaim	N.O.K.
10U - 5L	.8	17	16.07		
10U - 5R	.8	17	15.77		
5U - 20L	.4	17	15.30		
5U - 10L	.8	17	16.20		
5U - V	2.8	17	16.31		
5U - 10R	.8	17	15.58		
5U - 20R	.4	17	14.13		
H - 10L	1.4	17	16.25		
H - 5L	3.6	17	16.41		
H - V	4	17	16.35		
H - 5R	3.6	17	16.10		
H - 10R	1.4	17	15.63		
5D - 20L	.4	17	15.20		
5D - 10L	.8	17	16.10		
5D - V	2.8	17	16.20		
5D - 10R	.8	17	15.49		
5D - 20R	.4	17	14.04		
10D - 5L	.8	17	15.89		
10D - 5R	.8	17	15.60		
Geo.Vis.Inward					
15U - 45 Inner	0.05	17	9.89		
10U - 45 Inner	0.05	17	10.17		
5U - 45 Inner	0.05	17	10.26		
H - 45 Inner	0.05	17	10.24		
5D - 45 Inner	0.05	17	10.18		
10D - 45 Inner	0.05	17	10.02		
15D - 45 Inner	0.05	17	9.69		
GeoVis.Outward					
15U - 80 Outer	0.05	17	1.12		
10U - 80 Outer	0.05	17	1.00		
5U - 80 Outer	0.05	17	0.92		
H - 80 Outer	0.05	17	0.87		
5D - 80 Outer	0.05	17	0.89		
10D - 80 Outer	0.05	17	0.95		
15D - 80 Outer	0.05	17	1.05		