BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV AYDINLATMA SEKTÖRÜNDE OPTİK TASARIM VE ANALİZLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN RENKLİ PMMA PLAKALARIN ÜRETİMİ VE OPTİK KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih ATAŞALAN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2018

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV AYDINLATMA SEKTÖRÜNDE OPTİK TASARIM VE ANALİZLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN RENKLİ PMMA PLAKALARIN ÜRETİMİ VE OPTİK KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih ATAŞALAN
(152080305)

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nazlı AKÇAMLI

HAZİRAN 2018

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152080305 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet Fatih ATAŞALAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTOMOTİV AYDINLATMA SEKTÖRÜNDE OPTİK TASARIM VE ANALİZLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN RENKLİ PMMA PLAKALARIN ÜRETİMİ VE OPTİK KARAKTERİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Dr. Öğr. Üyesi Nazlı AKÇAMLI** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Deniz UZUNSOY** Bursa Teknik Üniversitesi	.....
	Prof.Dr. Hasibe Aygül YEPREM Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Savunma Tarihi : 22 Haziran 2018

FBE Müdürü :	**Doç. Dr. Murat ERTAŞ** Bursa Teknik Üniversitesi	..... **……/……./…….**

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.

Mehmet Fatih ATAŞALAN

Aileme,

ÖNSÖZ

Tüm eğitim hayatım boyunca her daim benim yanımda olup desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme ve değerli vakitlerini bu çalışmanın başarı ile tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nazlı AKÇAMLI'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında ihtiyaç duyduğum tüm maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen FEKA Otomotiv Genel Müdürü Taner KARSLIOĞLU'na, Araştırma ve Geliştirme Müdürü İrfan KAMAŞ'a, Araştırma ve Geliştirme Müdür Yardımcısı Erol KOCABIYIK'a, MoldFlow uzmanı Fahri İBİŞOĞLU'na teşekkür ederim.

Bilhassa Araştırma Görevlisi Yasin ALTIN'a Bursa Teknik Üniversitesi Kimya Laboratuvarını kullanırken göstermiş olduğu yardımlardan dolayı ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2018 Mehmet Fatih ATAŞALAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
KISALTMALAR ..... **viii**
SEMBOLLER ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **x**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **17**
2. GENEL KISIMLAR **21**
2.1 Teorik Bilgi 21
2.1.1 Işık nedir 21
2.1.2 LED ve filament ampullerin görünür bölgedeki ışık saçılımları 23
2.1.3 Malzemelerin optik özellikleri 24
2.1.3.1 Yansıma 26
2.1.3.2 Kırılma 27
2.1.3.3 Geçirgenlik 29
2.1.3.4 Emilme 30
2.1.3.5 Dağılma 31
2.1.3.6 Saçılma 31
2.2 Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Uyulması Zorunlu Standartlar 32
2.3 Literatür Özeti 35
2.3.1 Malzemelerin optik özelliklerinin incelenmesi ve karakterize edilmesine yönelik literatür çalışmaları 35
2.3.2 Otomotiv aydınlatma ürünlerinin sayısal olarak modellenmesine yönelik literatür çalışmaları 39
3. MATERYAL VE YÖNTEM **42**
3.1 Laboratuvar Ortamında Yapılan Deneysel Çalışmalar 43
3.1.1 Farklı renkteki plakaların üretimi 43
3.1.2 Farklı renkteki plakalarının UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında geçirgenlik, yansıtma ve emme testlerinin yapılması 45
3.1.3 LED'in yonga sıcaklığının ölçülmesi 47
3.1.4 CHMSL numunesinin ganyofotometre cihazı ve fotosensörler kullanılarak fotometre ölçümlerinin yapılması 49
3.2 Sayısal Modelleme ve Analiz Çalışmaları 51
3.2.1 Optik tasarım ve analiz programının çalışma yöntembilimi 52
3.2.2 Ölçümü yapılan plakaların optik özelliklerinin programa tanımlanması 54
3.2.3 Işık kaynağı özelliklerinin optik programa tanımlanması 55
3.2.4 CHMSL numunesinin optik program içerisinde modellenmesi 57
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME **59**

4.1 Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar 59
4.2 Analiz ve Simülasyon Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar 74
5. SONUÇLAR 77
KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 82

KISALTMALAR

CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım
CATIA : Üç Boyutlu Uygulamalı İnteraktif Tasarım
CHMSL : Merkezde Yükseğe Montelenmiş Stop Lambası
CIE : Uluslarası Aydınlatma Komisyonu
dk : Dakika
ECE : Avrupa Ekonomi Komisyonu
EMS : Elektro Manyetik Spektrum
LED : Işık Yayan Diyot
lm : Lümen
m : Metre
mm : Milimetre
NIR : Yakın Kızılötesi
nm : Nanometre
PC : Polikarbonat
PCB : Baskı Devre Kartı
PMMA : Polimetilmetakrilat
SAE : Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
UV : Morötesi
VIS : Görünür Bölge
W : Watt (güç)

SEMBOLLER

c	**:** Işık hızı
h	**:** Planck sabiti
I	**:** Malzeme içerisinden geçerek tekrar aynı ortama geçen ışığın şiddeti
I_0	**:** Işık kaynağından çıkan ışığın şiddeti
I_r	**:** Yansıyan ışığın şiddeti
I_t	**:** Kırılarak diğer ortama geçen ışığın şiddeti
n	**:** Ortamın kırıcılık indisi
P(λ)	**:** Radyant akı (güç)
t	**:** Işığın malzeme içerisinde aldığı yol
T	**:** Kelvin cinsinden sıcaklık
V	**:** Volt
V(λ)	**:** İnsan gözünün ışığa karşı vermiş olduğu tepki
α	**:** Emilme katsayısı
β	**:** Yoğunlaşma katsayısı başına emilim
θ_1	**:** Gelen ışığın açısı
θ_2	**:** Yansıyan veya kırılan ışığın açısı
λ	**:** Dalga boyu
ν	**:** Frekans
τ	**:** Fresnel yansıtma katsayısı
Φv	**:** Fotometrik akı (güç)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kırmızı rengin CIE 1931 diyagramındaki sınır şartları [20]. **34**
Çizelge 3.1 : EVONIK Plexiglas 8N PMMA ürün listesi [38]..... **44**
Çizelge 3.2 : Kurguların karşılaştırılması. **57**
Çizelge 4.1 : MoldFlow enjeksiyon parametreleri **60**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Elektromanyetik Spektrum [2] **22**
Şekil 2.2 : 5000K sıcaklıktaki beyaz ışığın radyant akıdan fotometrik akıya dönüştürülmesi (a) radyometrik dağılımı (b) gözün tepkisi (c) fotometrik dağılım **22**
Şekil 2.3 : Farklı sıcaklık değerlerinde ki siyah cisim saçılmalarının (a) CIE 1931 diyagramında ki konumları ve (b) yakınlaştırılmış görüntüsü [8] **24**
Şekil 2.4 : Planck eşitliği kullanılarak elde edilen ve farklı sıcaklık değerlerindeki filament ampullerin görünür bölgedeki dağılımları **24**
Şekil 2.5 : OSRAM firması tarafından üretilen farklı sıcaklık değerlerindeki LED'lerin spektrum örnekleri [6] **25**
Şekil 2.6 : OSRAM firması tarafından üretilen farklı renklerdeki LED'lerin spektrum örnekleri [7] **25**
Şekil 2.7 : Işığın farklı malzemeler ile etkileşimi esnasında meydana gelen optik özellikler [9] **26**
Şekil 2.8 : Işığın malzeme yüzeyi ile etkileşimi esnasında meydana gelen (a) ideal, (b) gauss ve (c) Lambert yansıma örnekleri **26**
Şekil 2.9 : Snell yasasının basit bir şekilde gösterimi **27**
Şekil 2.10 : PMMA malzemesinin dalga boyuna karşılık kırıcılık indis grafiği [12] **28**
Şekil 2.11 : PMMA polimerine gelen ışığın gelme açısındaki yansıtma miktarı [12] **28**
Şekil 2.12 : Gelen ışığın normal ile yapmış olduğu açıya göre izlediği yollar **29**
Şekil 2.13 : Işığın malzeme içerisinden geçişinin gösterimi **29**
Şekil 2.14 : Işığın malzeme içerisinden geçişi esnasında emilime uğraması **30**
Şekil 2.15 : Işığın malzeme içerisinden geçişinin gösterimi **31**
Şekil 2.16 : Dağılım olayının oluşma prensibinin gösterimi [16] **31**
Şekil 2.17 : (a) Rayleigh ve (b) Mie saçılmalarına örnek [17] **32**
Şekil 2.18 : CHMSL'nin araç üzerine montajı ve görünürlüğü [20] **33**
Şekil 2.19 : Kırmızı rengin CIE 1931 diyagramındaki sınır şartları **33**
Şekil 2.20 : Ganyofotometre deney düzeneği [20] **34**
Şekil 2.21 : CHMSL'nin aydınlattığı noktalar arasındaki korelasyon [21] **35**
Şekil 3.1 : MoldFlow analizi yapılan plakanın mekanik çizimi **44**
Şekil 3.2 : UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazının genel görünümü **45**
Şekil 3.3 : UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında bulunan PMT, InGaAs ve PbS detektörlerinin hassasiyeti [39] **46**
Şekil 3.4 : UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazının çalışma prensibi [39] **47**
Şekil 3.5 : OSRAM TOPLED LA T67F'in yonga sıcaklığına karşılık ışık gücündeki değişim [41] **48**
Şekil 3.6 : Zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinde kullanılan GRAPHTEC GL800 DATA LOGGER cihazı **48**
Şekil 3.7 : LED'in katot bacağına bağlanmış K-tipi termokupl **48**

Şekil 3.8 : LED'in yonga sıcaklığının ve ışık şiddetinin ölçümü **49**
Şekil 3.9 : Referans olarak seçilen CHMSL'nin patlatılmış görüntüsü..... **50**
Şekil 3.10 : CHMSL'nin ganyofotometre cihazına yerleştirilmesi ve ölçümü **51**
Şekil 3.11 : CATIA ile LucidShape arasındaki akses farklılığı..... **52**
Şekil 3.12 : (a) Filament ampul ile (b) LED'in ışık çıkış açıları **53**
Şekil 3.13 : Maksimum örgü eleman uzunluğunun LucidShape programında karşılaştırılması: (a) 1mm (b) 0.1mm (c) 0.01mm..... **54**
Şekil 3.14 : Optik program içerisinde tanımlanmış (a) malzeme listesi (b) Plexiglas 8N Clear özellikleri (c) Plexiglas 8N 33691 özellikleri..... **56**
Şekil 3.15 : LED'in LucidShape programında sayısal olarak modellenebilmesi için gerekli parametrelerin ekran görüntüsü **56**
Şekil 4.1 : MoldFlow simülasyonunda renk plakasının dolum profili esnasındaki % dolum sonuçları: (a) %25 (b) %50 (c) %75 (d) %100 ..... **59**
Şekil 4.2 : MoldFlow simülasyon sonuçları: (a) enjeksiyon basıncı (b) sink mark oluşma riski (c) hava tutma riski (d) çarpılma risk **60**
Şekil 4.3 : Enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş renk plaka örnekleri **60**
Şekil 4.4 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları **62**
Şekil 4.5 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın % ışık yansıtma ölçüm sonuçları **63**
Şekil 4.6 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın ışık emilim ölçüm sonuçları **64**
Şekil 4.7 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları **65**
Şekil 4.8 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in % ışık yansıtma ölçüm sonuçları **66**
Şekil 4.9 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in ışık emilim ölçüm sonuçları **67**
Şekil 4.10 : 3 mm kalınlığındaki kırmızı renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları **68**
Şekil 4.11 : 3 mm kalınlığındaki sarı ve amber renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları **69**
Şekil 4.12 : 3 mm kalınlığındaki gri renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları **70**
Şekil 4.13 : LED'in yonga sıcaklığının ve ışık şiddetinin zamana bağlı değişimi **72**
Şekil 4.14 : Isocandela dağılımı..... **73**
Şekil 4.15 : ECE R7'de belirtilen açılarda ölçülen ışık yoğunlukları **73**
Şekil 4.16 : CHMSL'nin çalışır durumdayken alınmış görüntüsü **73**
Şekil 4.17 : Farklı kurgulara göre isocandela sonuçları **74**
Şekil 4.18 : Farklı kurgulara göre ışık yoğunluklarının ölçüm sonuçları..... **75**
Şekil 4.19 : Kurgulara göre Luminance Forward sensör (render) sonuçları **75**
Şekil 4.20 : CHMSL numunesinin farklı kurgularından ve laboratuvar ölçümlerinden elde edilen ışığın CIE 1931 diyagramındaki renk (x, y) koordinatları **76**

OTOMOTİV AYDINLATMA SEKTÖRÜNDE OPTİK TASARIM VE ANALİZLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN RENKLİ PMMA PLAKALARININ ÜRETİMİ VE OPTİK KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Otomotiv aydınlatma sektöründe, bir aydınlatma ürününün parça tasarımıyla başlayıp kalıp tasarımı, kalıp üretimi, enjeksiyon yöntemiyle parça üretimi, parçaların bir araya getirilerek montajlanması ve akabinde gerekli testlerin yapılmasını içeren süreç uzun zaman almakta ve önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Böyle uzun bir sürecin ardından üretilmiş parçanın optik testlerde yetersiz ışık çıkışı, ışık yanması (hot-spot), homojen olmayan görüntü ve karanlık bölge oluşumu gibi istenmeyen sonuçlar sıkça ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, ürünlerde meydana gelebilecek olası optik hataları önlemek için alternatif metotlar araştırılmaktadır.

Günümüzde büyük bir hızla gelişmekte olan bilgisayar teknolojisi ile birlikte, bilgisayar destekli mühendislik araçları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmaların önemi daha da artmıştır. Optik tasarım ve analiz yazılımları ile karmaşık mühendislik problemleri basitleştirilerek, sayısal olarak çözümlenebilmektedir. Tasarım süreci ile birlikte eş zamanlı olarak kullanılan bu yazılımlar, en uygun tasarımın kısa sürede gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu mühendislik yazılımları ile yapılan simülasyonlarla daha hızlı ve etkin sonuçlara ulaşılmaktadır. Optik tasarım ve analiz yazılımları kullanılarak yapılan çalışmalarda sonuçların güvenilirliği, ürün içerisindeki parçaların konumlandırılması ve malzeme özelliklerinin doğru bir biçimde tanımlanması ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma ve görüntüleme sistemlerinin optik analizleri ve simülasyonlarında kullanılan ışık kaynaklarının da doğru bir biçimde modellenmesi gerekmektedir.

Otomotiv aydınlatma sektöründe yüksek ışık geçirgenlik değerine sahip şeffaf renkli polimerlerin başında Polimetil metakrilat (PMMA, EMS'nin görünür bölgesinde ortalama %90 ışık geçirgenliği) gelmektedir. PMMA esaslı polimerler; üretim kolaylığı, üretim maliyeti, çevre koşullarına dayanımı, farklı renklerde üretile bilirliği, farklı tasarımlara imkân vermesi, yüksek ışık geçirgenlikleri, farklı koruyucu yüzey kaplamaları ve fonksiyonel optik yüzeyler (prizmalar) eklenebilmesi gibi pek çok özelliği sayesinde başta otomotiv sektörü olmak üzere genel aydınlatma, görüntüleme ve test cihazları gibi yüksek optik özellikte malzemelere ihtiyaç duyulan endüstriyel alanlarda cam malzemelerin yerine tercih edilmeye başlanmıştır. Araçlara farklı ve yeni bir stil görünümü kazandırmak için farklı renklerde üretilmiş polimerlerin ve farklı dalga boylarında ışık saçan LED'ler (Işık Yayan Diyot) bir arada kullanma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Polimer esaslı bir ürünün yatırım ve kalıp maliyetlerinin oldukça yüksek olması ve nihai ürünün aylarca süren çalışmalardan sonra ortaya çıkması, bu aşamalardan önce tasarım ve simülasyon doğrulaması ile alınabilecek ön verilerin ne denli önem arz ettiğini göstermektedir.

Günümüzde otomotiv aydınlatma sektörü, araçlara yeni özellikler kazandırma, var olan ürün özelliklerini iyileştirme ve enerji sarfiyatını minimize etmeye yönelik çalışmalar yürütmektedir. Özellikle otomotiv aydınlatma alanında yıllardır yaygın

olarak kullanılmakta olan halojen ampullerinin çok geniş dalga boyu aralığında (spektrumda) ışık yayması, her yöne doğru (360°) ışık saçılımı, harcadığı enerjinin neredeyse tamamını ısıya dönüştürmesi, büyük hacimleri ve yüksek enerji sarfiyatları alternatif bir ışık kaynağı ihtiyacını doğurmuştur. Bu anlamda gelişen teknolojiyle birlikte halojen ampullere kıyasla çok dar bir aralıkta (spektrumda) ışık yayan, sınırlı açıda (120°) ışık saçılımı yapan, harcadığı enerjinin küçük bir kısmını ısıya dönüştüren, küçük hacim kaplama ve az enerji sarfiyatı sağlayan LED'ler halojen ampuller yerine tercih edilmeye başlanmıştır. Halojen ampullerin tamamının aynı özelliklere sahip olmasına rağmen LED'ler birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir. Bu durum, LED'lerin sayısal olarak modellenmesinde yeni bir bilgi tabanının oluşturulması ihtiyacını beraberinde getirmiştir.

Literatürde optik tasarım ve analiz programı ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının çok farklı malzemeler kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Fakat yaptığımız incelemelerde literatürde otomotiv sektöründe kullanılan renkli polimerlere ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, bu malzemelerin optik özellikleri malzemenin saflığına, rengine, yüzey kalitesine, katkı malzemelerine göre geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu açılardan, öncü bir çalışma olarak, otomotiv aydınlatma sektöründeki uygulamalarda kullanılmakta olan renkli polimerlerin optik özelliklerinin belirlenmesi ve sayısal modellerin oluşturulması amaçlanmıştır.

Üretici firmalar, hammadde olarak kullanılan polimerlerin sadece görünür bölgedeki ortalama ışık geçirgenlik değerini paylaşmakta ve bu değerler yalnızca 3 mm kalınlığındaki bir plaka ile yapılmış testlerin sonucunu temsil etmesi nedeniyle farklı kalınlıklardaki malzemelerin ışık geçirgenlik değerleri hakkında bilgi vermemektedir. Bu bilgi eksikliği yapılan optik tasarım ve analiz çalışmaları için yetersizlik oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında ise otomotiv aydınlatma sektöründe en çok tercih edilen renklerde ve farklı kalınlıklarda (1, 2, 3, 4 mm) PMMA plakaları üretilerek bu plakaların ışık geçirgenlik, yansıtma ve emilme ölçümleri UV-VIS-NIR spektroskopi cihazı kullanılarak belirlenmiştir ve teorik değerler ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Daha sonra, bu veriler LucidShape optik tasarım ve analiz programı ile modellenmiştir. Bu çalışmalara paralel olarak farklı renklerde ve özelliklerdeki LED'lerin ışık çıkış açıları, dalga boyu dağılımları, sürme akımına karşılık ışık şiddetindeki değişim, yonga sıcaklığına karşılık ışık şiddetindeki değişim ve diğer optik özellikleri ölçülerek LucidShape programının ışık kaynağı kütüphanesine eklenmiştir. Takiben FEKA Otomotiv bünyesinde hali hazırda üretilmekte olan Merkezde Yükseğe Montajlanmış Stop Lambası (CHMSL) numunesinde bu bilgiler kullanılarak, ilk örnek üretimi ve optik simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, LucidShape programı kullanılarak gerçekleştirilen CHMSL'ye ait simülasyon ve analiz sonuçları, FEKA Otomotiv bünyesindeki karanlık oda laboratuvarında ganyofotometre cihazı kullanılarak elde edilen fotometri ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, simülasyon çalışmasından elde edilen değerler ile laboratuvar ortamında ölçülen fotometri değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği ve görsel olarak birbirlerini doğruladıkları görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışma otomotiv aydınlatma sektöründe optik simülasyon çalışmalarına önemli katkılarda bulunacak ve ileride yapılacak çalışmalar için zemin oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv aydınlatması, PMMA, PC, optik, simülasyon.

PRODUCTION AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF COLORED PMMA PLATES TO IMPROVE OPTICAL DESIGN AND ANALYSIS IN THE AUTOMOTIVE LIGHTING INDUSTRY

SUMMARY

In the automotive lighting industry, the process of a lighting product starting with parts design and then go on with mold design, mold production, parts production by injection method, assembling parts and then performing necessary tests takes a long time and creates a significant cost. After such a long process, often cause undesirable results such as insufficient light output in optical tests of manufactured part, hot-spot, inhomogeneous vision, and dark zone formation after optical tests. Detection and elimination of these negativities cause additional cost and time loss. For this reason, the alternative methods are being investigated to prevent possible optical errors that may occur in products.

Nowadays, along with a fast developing computer technology and the use of computer-aided engineering tools has become even more important. With optical design and analysis software, complex engineering problems can be solved numerically by simplifying them. These software which is used simultaneously with the design process, optimum design can be realized in the shortest time. Faster and more effective results are achieved with these engineering software simulations. Reliability of results are possible in studies using optical analysis software with correct positioning of parts within the product and accurate identification of material properties. For this reason, light sources used during optical analysis of lighting and imaging systems must be accurately modeled.

PMMA (Poly-methyl methacrylate) (90% average light transmittance in the visible region of the EMS) is one of the transparent polymers with high light transmittance value in the automotive lighting industry. PMMA based polymers especially have started to be preferred instead of glass materials such as industrial areas where are needed high optical properties (the automotive industry, general lighting industry, imaging devices and test equipment) thanks to their features such as ease of production, production costs, resistance to environmental conditions, manufacturability in different colors, enabling different designs, high light transmittances, different protective surface coatings and functional optical surfaces (prisms). In order to give a different and new style appearance to vehicles, it has become necessary to use a combination of with produced in different colors polymers and light emitting diodes in different wave lengths. The investment and mold costs of a polymer based product are very high and the final product is produced after several months of work. So, the preliminary data which can be obtained by design and simulation verification before these stages show that it is too importance.

Halogen bulbs, which have been widely used in automotive lighting field for years, have light emission in a very wide wavelength range (in the spectrum), light scattering true every direction (360°), transforming almost of consuming energy to heat, large

volumes and high energy consumption. Because of these, an alternative light source was needed. In this sense, LEDs (Light Emitting Diodes) which have light emission in a very narrow range (in the spectrum), light scattering true limited angle (30°, 60°, 90°, 120°), small volume and low energy consumption have begun to be preferred instead of the halogen bulbs. Although halogen bulbs have the same characteristics, LEDs can show different characteristics. This situation, during the numerical modeling of the LEDs, have brought the need for new information.

In the literature, it is seen that simulation studies using optical design and analysis program are realized using very different materials. However, as a result of our investigations, we didn't found any study for colored polymers which used in the automotive industry in the available literature. In addition, the optical properties of polymer materials vary widely depending on the purity of the material, the colors, the surface quality, and inside of the additive materials. As a preliminary study, it is aimed to determine the optical properties of colored polymers which used in applications in the automotive lighting industry and to create digital models.

Manufacturers share the average light transmittance value of only the visible region of the polymers that used as raw materials. The average light transmittance values represent the result of tests made with a plate of only 3 mm thickness, it does not give information about the light transmittance values of materials of different thicknesses. This lack of information creates an insufficient environment for optical design and analysis work. In this study, PMMA plates were produced in the most preferred colors and different thicknesses (1, 2, 3, 4 mm) in the automotive lighting industry and the light transmittance, reflection and absorption measurements of these plates were determined by using UV-VIS-NIR spectroscopy device and presented in comparison with theoretical values. Later, these data were modeled with the LucidShape optical design and analysis program. In parallel with these studies, the light output angles, the wavelength distributions, the variation of the light intensity against the sliding current, the variation of the light intensity in relation to the chip temperature and other optical properties of the LEDs which are different colors were added to the light source library of LucidShape program. Following this, prototype production and optical simulations were performed using this information in the CHMSL (Center High Mounted Stop Lamp) sample which currently being produced in FEKA Automotive. In addition, the simulation and analysis results of the CHMSL using LucidShape program were compared with the photometry results obtained using the ganiophotometer device in the dark room laboratory of FEKA Automotive.

As a result, values obtained from the simulation study and photometry values measured in laboratory that were found to give similar results and were seen to visually verify to each other. For this reason, this study will make important contributions for optical simulation studies in the automotive lighting industry and will form the basis for future work.

Keywords: Automotive lighting, PMMA, PC, optics, simulation.

1. GİRİŞ

Günümüzde, endüstriyel aydınlatma ürünlerinin güvenilir bir şekilde ışık istemlerini karşılamasının önemi giderek artmaktadır. Bunun nedeni, aracın yolda kullanılması sırasında sürücülerin ve yayaların güvenliğini, araç sürücülerine en uygun aydınlatmayı, araçların diğer sürücüler ve yayalar tarafında fark edilebilmesini sağlamaktır. Bunlara ek olarak; malzemelerin zamanla çevre koşullarından etkilenerek deforme olması, ışık kaynaklarının sürme akımına ve iç ısılarına bağlı olarak ışık gücünde meydana gelen azalmalar, araç üzerinde oluşan titreşim etkisi ile deforme olması vb. süreçler nedeniyle ürünlerin ışık istemlerini karşılayamamasıdır. Çevre koşullarına ve uygulanan voltaj, akım, titreşim ve termal şartlar sonucunda ürünler üzerinde oluşacak hasarların ve etkilerin standartlarda belirtilen aralıklar arasında kalması ve üründe bulunan kritik komponentlerin işlevlerini yitirmemeleri gerekmektedir. Özetle, aydınlatma ürünlerinin tasarımıyla başlayıp müşteriye ulaşıncaya kadar her adımda istenen optik özelliklerin sağlanması en önemli kıstastır. Bu standartları sağlamak için şeffaf ürünlerde ışık geçirgenliği çok yüksek olan malzemeler, yansıtıcı yüzeylerde ise yansıtma katsayısı yüksek ve enerji verimliliği bakımından yüksek ışık çıkışına sahip ışık kaynakları kullanılmaktadır. Aydınlatmada önemli bir diğer kıstas ise ürün çalışır durumda iken aydınlatma bölgesinin tamamında ürün görselinin mümkün olabildiği kadar eşit (homojen) olması, ürün üzerinde herhangi bir ışık yanması (hot-spot) veya karanlık bölgelerin oluşmamasıdır. Farklı stillerde ürün hazırlamak için çok farklı renklerdeki fonksiyonel lenslere ve farklı dalga boylarında ışık kaynaklarına ihtiyaç duyulması ürünün maliyetini ciddi oranda arttırmaktadır. Bu bakımdan kullanılacak lens malzemelerinin ve ışık kaynaklarının birbiri ile uyumlu olması kullanılacak ışık kaynağının sayısını ve gücünü azaltacağından maliyeti düşürebilir. Aynı zamanda, minimum sayıda ışık kaynağı kullanılması ürün üzerinde oluşacak termal etkiyi, güç tüketimini ve karmaşık devre tasarımlarını da önleyecektir. Daha farklı renklerde lens ile birlikte daha az sayıda ışık kaynağının kullanılması yeni bir ürün tasarımını kolaylaştıracak ve daha ekonomik üretim yapılmasını sağlayacaktır. Böylelikle, uyumsuz lens malzemeleri ile ışık

kaynaklarının kombine edilmesinden kaynaklanan fazla ışık kaynağı ve aşırı güç kullanımının çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirilebilir.

Otomotiv aydınlatma sektöründe en çok tercih edilen şeffaf malzemeler polimetilmetakrilat (PMMA) ve polikarbonat (PC) malzemelerdir. PMMA ve PC şeffaf malzemeler elektro manyetik spektrumun (EMS) görünür bölgesindeki ortalama ışık geçirgenliği en üst seviyede olan polimer malzemelerdendir. Işık geçirgen polimerler olası bir darbe anında darbeyi cama kıyasla daha iyi sönümleme özelliğine ve düşük yoğunluğa sahip malzemelerdir. Ayrıca, cama kıyasla üretim kolaylığına sahip olması, daha karmaşık yüzey tasarımlarına imkân verebilmesi, işçilik maliyetinin düşük olması, yüksek ışık geçirgenliği, tekrar kullanılabilir (yenilenebilir), hafif ve daha esnek yapıda olması ve farklı renklerde üretilebilmesi gibi birçok farklı avantajlarından ötürü tercih nedenidir. Özellikle UV ışınlara dayanımından ötürü PMMA polimeri otomotiv aydınlatma sektöründe PC polimerlerden daha çok tercih edilir. Literatürde, PMMA adıyla alınan polimer malzemesi, piyasada, üretici firma EVONIK'in kendi markası olan "Plexiglas" ismiyle de tanınmaktadır.

Çevre koşullarına ve araç üzerindeyken meydana gelebilecek olumsuz kurgulara karşı ışık kusurlarının tespiti ve engellenmesi için aydınlatma ürünlerine standart fotometri ölçümleri yapılmaktadır. Bu testler, ürünün seri üretim onayı alması için gerekli testlerden biridir. Bu testlerde, nihai aydınlatma ürününün standartlarda belirtilen şekil-açılarda ve araçtaki konumunda olacak şekilde konumlandırılarak ışık gerekliliklerinin şartnamelere uygunluğu kontrol edilmektedir. Sonuçların güvenirliği açısından her yeni ürünün test edilmesi gerekliliği yüksek maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Günümüzde, gelişen yazılım teknolojisi ile birlikte bu testlerin fizik yasalarını kullanarak geliştirilmiş optik tasarım ve analiz programları ile sayısal model oluşturularak analizleri yapılır olmuştur. Sayısal model oluşturularak gerçekleştirilen fotometri testlerinde, ışık yetersizliği, ışık yanması, karanlık bölge olup olmadığı gibi sorunların tespiti daha kolay yapılabilmekte, farklı ortam şartlarında, farklı pozisyonlarda, yeni model ve yeni komponent çalışmalarında ekstra maliyeti ortadan kalkmaktadır. Optik tasarım ve analiz programı kullanarak gerçekleştirilen bu fotometri testleri, tasarım aşaması ile eş zamanlı kullanıldığında, tasarım sürecini hızlandırmakta ve düzeltme maliyetlerini azaltmaktadır. Bu nedenle, fotometri testlerinin sayısal model oluşturarak yapılması maliyet ve güvenilirlik açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir.

Optik tasarım ve analiz programları kullanılarak gerçekleştirilen fotometrik testlerde, yasal şartlara ve araç konumuna göre ürünler sayısal olarak modellenerek, standartta belirlenen koşullar gerçekleştirilecek şekilde analiz edilmektedir. Üründe kullanılacak olan yeni bir malzeme veya farklı bir tasarım durumunda sayısal modelin oluşturulmasında bazı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Modellemede doğru çıktıların elde edilmesi için, tüm komponentlerin malzeme özelliklerinin doğru olarak tanımlanması gerekmektedir.

Üründeki komponentlerin genel optik özelliklerinin bilinmesine ve sayısal olarak modellenmesine rağmen, ışık geçiren ve şeffaf olmayan polimer malzemelerin optik davranışlarının ve özelliklerinin tanımlanması ve modellenmesi oldukça güçtür. Ayrıca, literatürde renkli polimer malzemelerin optik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmalara bakıldığında, bunların otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanılması açısından yeterli doğruluğa sahip olmadığı görülmektedir. Özellikle otomotiv aydınlatma firmalarının tamamına yakını sahip oldukları bilgi birikimini paylaşmamaktadır. Ülkemizde bu alanda yapılmış yeterli sayıda çalışma ve bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu nedenle, farklı renklerdeki PMMA plakaların üretilmesi, laboratuvar ortamında optik testlerinin yapılması ve bu bilgilerin optik tasarım ve analiz programına tanıtılarak modellenmeleri gerekmektedir. Renkli polimerlerin optik özelliklerinin belirlenmesinin ardından aydınlatma ürünlerinin modellemeleri gerçekleştirilebilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, ışık geçirgen polimer malzemelerin optik özelliklerinin araştırıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yine yapılan bu as sayıdaki çalışmalar incelendiğinde, ışık geçirgen polimer malzemelerin renklerine bağlı optik özelliklerinin sayısal olarak modellenmesi çalışmalarının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu boşluğu doldurmak bu tez çalışmasının ilk hedefini oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, öncelikli olarak farklı renkteki PMMA ve PC polimer malzemelerin sayısal olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın temel motivasyonu ise; otomotiv aydınlatma sektöründeki ürünlerin optik tasarım ve analiz programında en doğru şekilde modellenmesi ve bu modellerin nihai ürün üzerinden yapılan fotometrik ölçümlerle örtüşmesidir. Ayrıca, CHMSL'nin analizlerinin ve simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve sonuçlarının fiziksel test sonuçları ile kıyaslanması bu tezin amaçları arasındadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, genel bir giriş yapılarak mevcut problemin en sade ve anlaşılır bir biçimde ifade edilmesine çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise ışık ile malzemeler arasında gerçekleşen etkileşimlerin teorik alt yapısı açıklanmıştır. Bu bölümde, fizik kanunlarının ve yasalarının detayları açıklanmıştır. Ayrıca ışığın farklı kalınlık ve renkteki malzemeler ile etkileşmesi sonucu meydana gelen optik özelliklerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ve formüller sunulmuştur. Optik tasarım ve analiz programının teorik altyapısı ile geçirgenlik, yansıtma ve soğrulma özellikleri için kullanılan çözüm metoduna detaylı olarak yer verilmiştir. Bunlara ek olarak, farklı renklerde EMS'nin görünür bölgesinde ışık çıkışına sahip olan LED'lerin ışık dağılımları gösterilmiştir. Son olarak, literatürde otomotiv aydınlatma ürünlerinde kullanılan ve ışık geçirgen özelliğe sahip polimer malzemelerin optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde, farklı renkteki renk plakalarının üretilmesi ve bu plakaların optik özelliklerinin deneysel yöntemler kullanarak araştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda UV-VIS-NIR spektrofotometre test cihazı kullanılarak malzemelerin optik özellikleri araştırılmıştır. Bu test düzeneğinin çıktısı olarak her bir malzemenin ışık geçirgenliği, yansıtma ve emilme değerleri ölçülmüştür. Bir sonraki aşama olarak ise farklı renkteki ışık geçirgen polimer malzemelerin optik özelliklerinin sayısal olarak modellemesi amaçlanmıştır. Deneysel yöntemler ile elde edilen veriler, sayısal modelde girdi olarak kullanılmış ve farklı renkteki ışık geçirgen polimer malzemelerin sayısal ortamda modellemeleri yapılmıştır. Takiben, daha önceden tasarımı bitmiş ve üretilmekte olunan bir yardımcı stop lambasının (CHMSL) optik programında deneysel yöntemden elde edilen veriler kullanılarak sayısal modellemesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarının daha doğru olması için hem kullanılan LED'in termal testleri hem de dalga boyuna karşılık ışık şiddetindeki değişim optik programa tanımlanmıştır. Bu bölümün son adımı olarak, CHMSL numunesinin analizi esnasında seçilen malzemeler ile üretilip fotometri ölçümleri yapılmıştır. Dördüncü bölüm, üçüncü bölümde yapılan çalışmaların sonuçlarını içermektedir. Beşinci bölüm, buraya kadar yapılan tüm çalışmaların değerlendirmesi yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 Teorik Bilgi

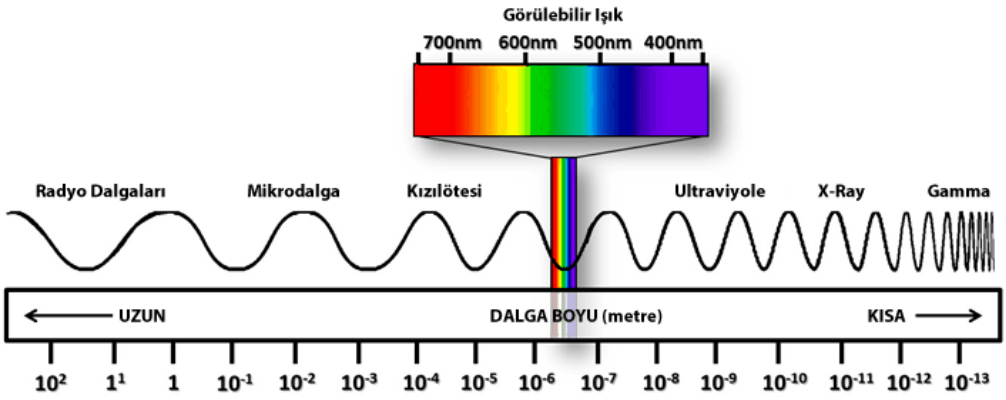
Bu bölümde, tez kapsamında araştırılan ve kullanılan teorik altyapı sunulmaktadır. İlk olarak, bu çalışmanın yapılması için gerekli en temel kaynak olan ışık kaynaklarının özellikleri anlatılmıştır. Işık nedir, ne gibi özelliklere sahiptir, nasıl ölçülür, birimleri nelerdir gibi gerekli teorik bilgi sunulmuştur. Daha sonra, LED ile filament ampul arasındaki farklılıklar açıklanmıştır. Bu bilgilerin akabinde de ışık ile malzemenin etkileşimi sonucunda ışık yoğunluğunda, ışığın izlemiş olduğu yolda ve ışık renginde meydana gelen değişimlerin ve teorik bilgilerin temelleri gösterilmiştir. Burada verilen formüller, optik tasarım ve analiz program içerisinde sayısal model oluşturulabilmesi için temel bilgiyi teşkil etmektedir.

2.1.1 Işık nedir

Işık, elektromanyetik spektrumun (EMS) morötesi (UV) ile yakın kızılötesi (NIR) sınırları içerisinde kalan elektromanyetik radyasyonudur. Elektromanyetik spektrumun Şekil 2.1'de gösterilen 380 ile 780 nanometre (nm) arasında kalan bölgesine görünür bölge (VIS) adı verilmektedir. Bu aralığı önemli kılan en büyük özellik, bu aralıkta açığa çıkan radyasyonun insan gözündeki reseptörler tarafından algılanabiliyor olması ve insanın gözünün görme olayını bu sayede sağlayabiliyor olmasıdır. Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendislik Topluluğu (IESNA), ışığı "Retinayı uyarabilen ve görsel bir his üreten ışıltı enerjisi" olarak tanımlamaktadır [1]. Bu nedenle ışık, ışınım enerjisi veya görsel his açısından ayrı olarak tanımlanamaz aksine ikisinin birleşimidir.

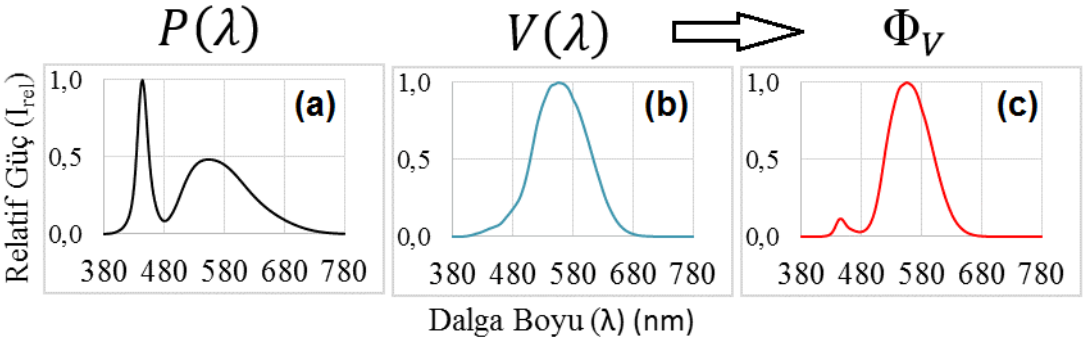
Ayrıca UV ile NIR sınırları aralığında açığa çıkan radyasyonun enerjisi radyometrik olarak ifade edilirken, VIS bölgede yer alan radyasyon enerjisi fotometrik olarak ifade edilmektedir. Bunun nedeni, insan gözünde bulunan reseptörlerin her bir dalga boyuna karşılık farklı tepkiler gösteriyor olmasıdır. Fotometri, sadece insan gözünün

görebileceği radyasyonu incelemektedir. Radyometri ile fotometri arasındaki fark Şekil 2.2'de basitçe gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Elektromanyetik Spektrum [2]

En yaygın radyometrik birim Watt (W) ve radyant akı (güç) (P veya Φ) olarak ölçülmektedir. Bunun yanında, en yaygın fotometrik birim lümen (lm) ve ışık akısı (güç) (Φ_v) olarak ölçülmektedir. 555 nm dalga boyundaki monokromatik ışıkta 1 W'lık radyometrik değere karşılık 683 lm'lik fotometrik değer gelmektedir.



Şekil 2.2 : 5000K sıcaklıktaki beyaz ışığın radyant akıdan fotometrik akıya dönüştürülmesi (a) radyometrik dağılımı (b) gözün tepkisi (c) fotometrik dağılım

Fotometri, insan gözünün radyant akıya karşı vermiş olduğu tepkinin fonksiyonu olarak değerlendirilir. Tüm fotometrik nicelikler, insan gözünün tepkisine karşılık gelen radyometrik niceliklerden elde edilir. Radyometrik birimden fotometrik birime dönüşüm eşitlik 2.1 kullanılarak elde edilmektedir.

$$\Phi_V = K \int_{380}^{780} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda \qquad (2.1)$$

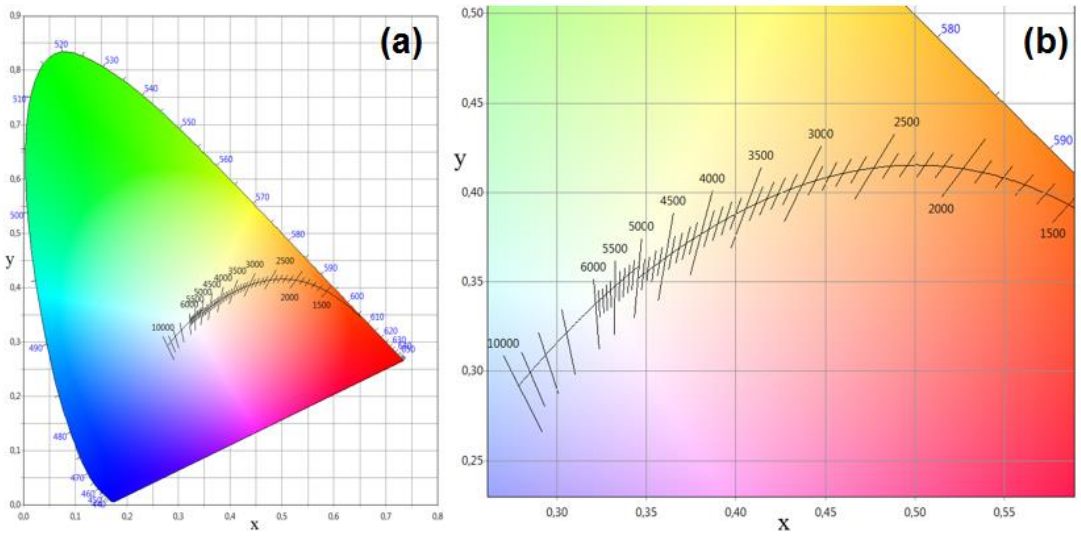
2.1.2 LED ve filament ampullerin görünür bölgedeki ışık saçılımları

Aydınlatma ürünlerinin sayısal modellerinin oluşturulmasında en önemli komponentlerin başında ışık kaynakları gelmektedir. Otomotiv aydınlatma ürünlerinde birçok farklı ışık kaynakları kullanılmakla birlikte filament ampuller ve LED'ler bu ışık kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Gün geçtikçe aydınlatma ürünlerinde kullanılan LED sayısı hızla artmakta ve filament ampul kullanımı önemli ölçüde azalmaktadır.

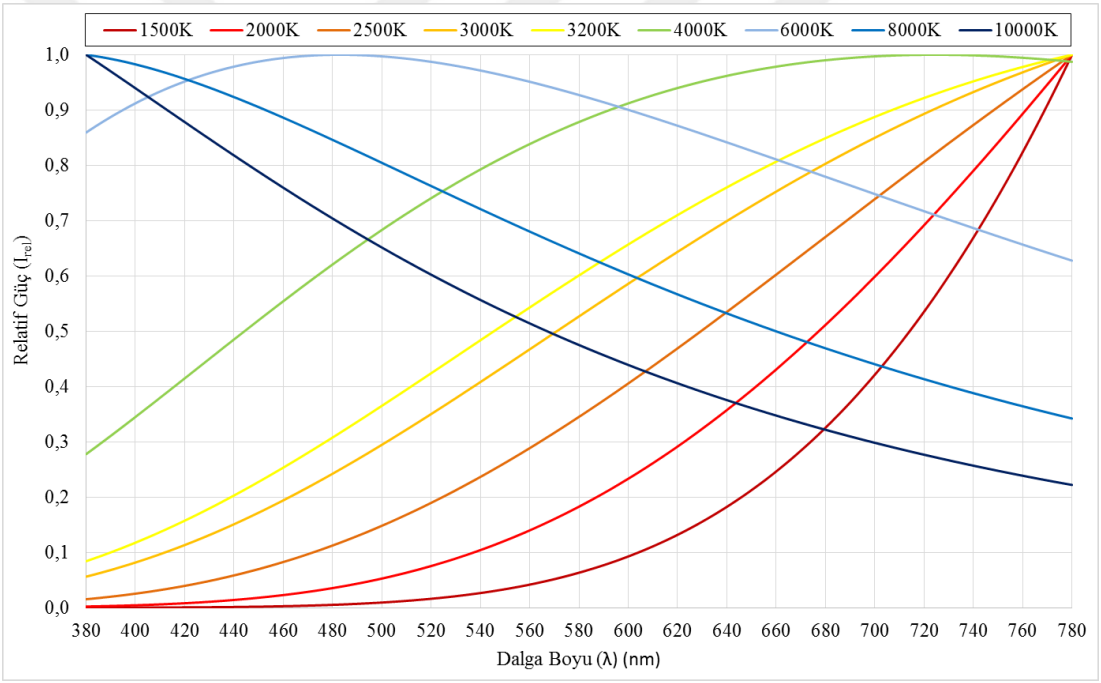
Filament ampuller ile LED'lerin çalışma prensibi, ışık çıkış açıları, boyutları, ısı yayımları, çevre koşullarına dayanımları, uygulanan voltaj ve akım miktarları vb. birçok açıdan farklılık göstermektedir. Özellikle filament ampuller geniş ışık çıkışına sahipken LED'ler çok dar ışık çıkışına sahiptir [3]. Filament ampullerin çalışması için gereksinim duydukları güç değeri LED'lere göre çok yüksektir. Filament ampullerin boyutları da LED'lere kıyasla çok büyüktür ve LED'lere kıyasla daha fazla UV ışığı açığa çıkmasından ötürü çevre komponentleri ısıtmakta ve deforme etmektedir. Bu gibi avantajlarından ötürü LED'lerin kullanımı gün geçtikçe artmakta ve buna paralel olarak da yeni LED'ler geliştirilmektedir. [4]

LED'lerin ışık çıkış güçleri, renkleri, ışık çıkış açıları tamamen farklılık göstermektedir. Filament ampuller arasındaki en önemli fark ise çıkan ışığın sıcaklık (Kelvin) değeridir ve bu sıcaklık değerindeki ışığın dalga boyuna karşılık ışık yoğunluğundaki değişimdir ve saçılan ışığın yoğunluğu eşitlik 2.2'de verilen Planck yasasına (siyah cisim ışıması) göre hesaplanmaktadır [5]. Eşitlik 2.2'de yer alan h Planck sabitini 6.626×10^{-34} m^2kg/s, c ışık hızını 299.792.458 m/s, T Kelvin biriminden sıcaklığını, ν ışığın frekansını ve λ ışığın dalga boyunu ifade etmektedir. Farklı sıcaklık değerindeki filament ampulden çıkan ışığın CIE 1931 diyagramı üzerindeki konumları Şekil 2.3'de ve görünür gölgedeki ışık yoğunluğundaki değişim Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Ayrıca farklı sıcaklık değerindeki beyaz LED'lerin ve farklı renklerdeki LED'lerin dalga boyuna göre ışık yoğunluklarındaki değişimler sırasıyla Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir [6-7].

$$I(\nu,T)=\frac{2h\nu^3}{c^2\left(e^{\frac{h\nu}{kT}}-1\right)} \quad veya \quad I(\lambda,T)=\frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1)} \tag{2.2}$$



Şekil 2.3 : Farklı sıcaklık değerlerinde ki siyah cisim saçılmalarının (a) CIE 1931 diyagramında ki konumları ve (b) yakınlaştırılmış görüntüsü [8]

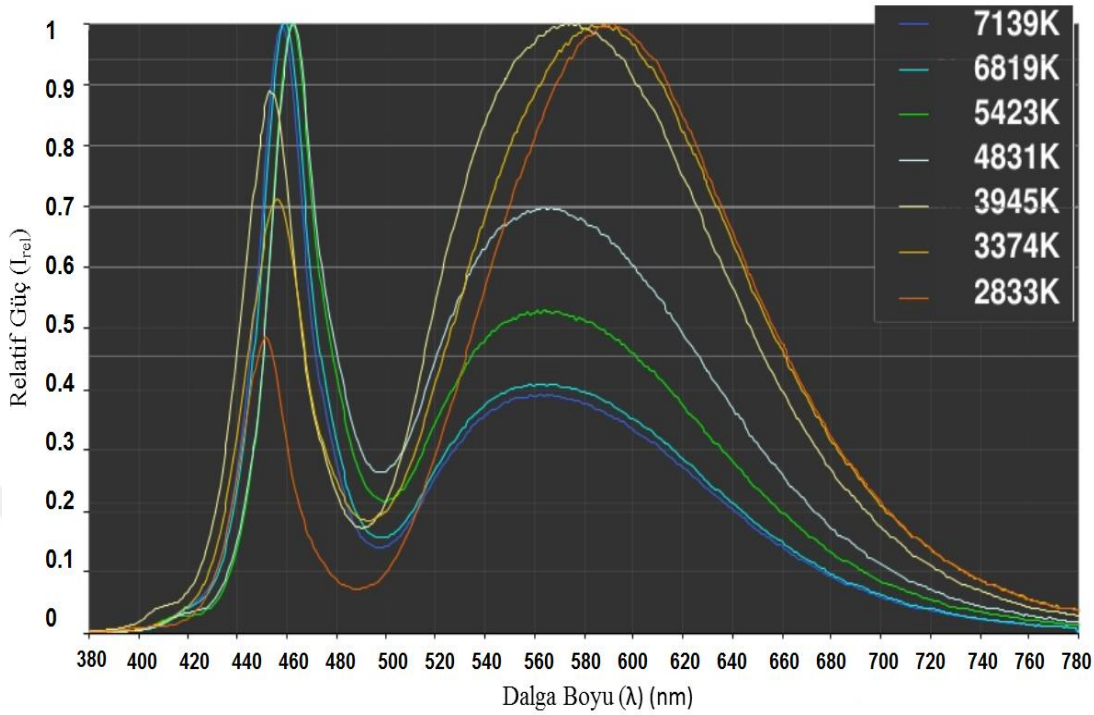


Şekil 2.4 : Planck eşitliği kullanılarak elde edilen ve farklı sıcaklık değerlerindeki filament ampullerin görünür bölgedeki dağılımları

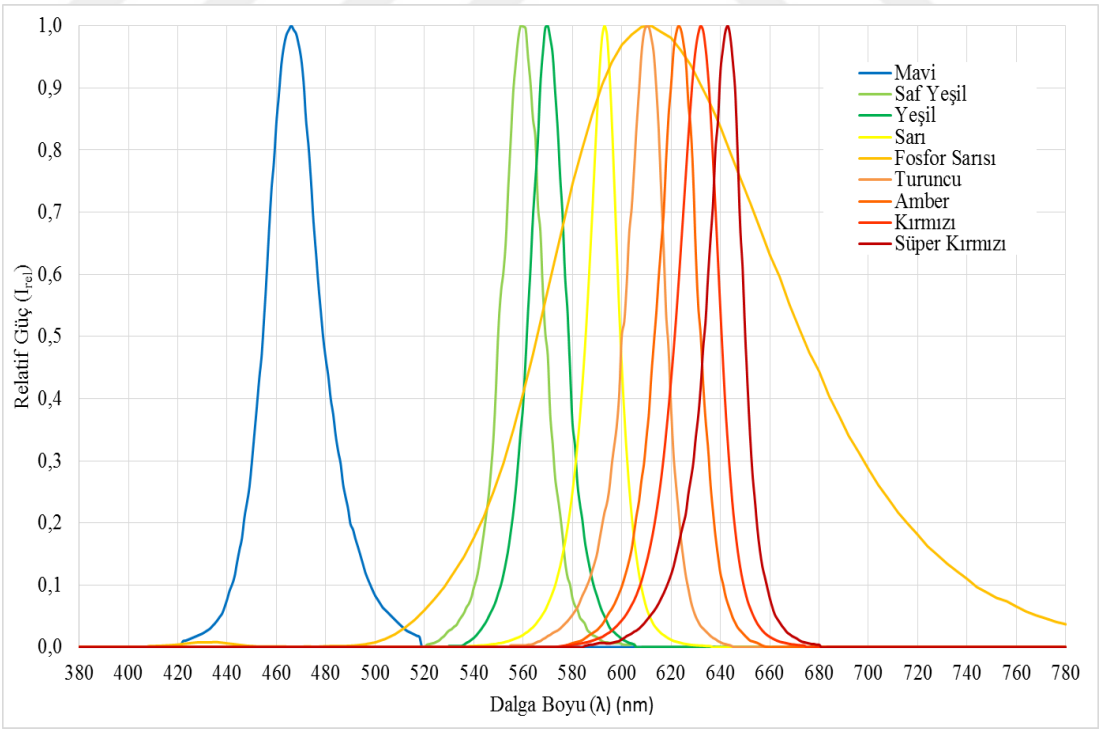
2.1.3 Malzemelerin optik özellikleri

Işık bir malzeme yüzeyi ile karşılaştığında, malzeme yüzeyinden geri yansıyabilir veya malzemenin diğer yüzeyine doğru kırılarak geçebilir. Bunun yanında ışık, malzeme tarafından iletilebilir, emilebilir, dağılabilir veya saçılıma uğrayabilir (veya bu durumların bazı birleşimleri) [9]. Bu özelliklerin her biri bu bölümde ele alınmıştır. Bu özelliklerin elektromanyetik radyasyonun tüm formlarına uygulanabilirliği unutulmamalıdır. Ancak, bu tez kapsamında sadece görünür bölgede ile sınırlı

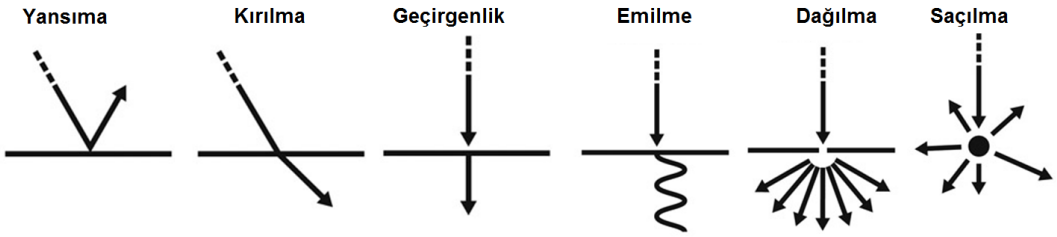
kalınmıştır. Işığın malzeme ile etkileşimi sırasında meydana gelen optik özellikler [9] Şekil 2.7'de basit bir şekilde gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.5 : OSRAM firması tarafından üretilen farklı sıcaklık değerlerindeki LED'lerin spektrum örnekleri [6]



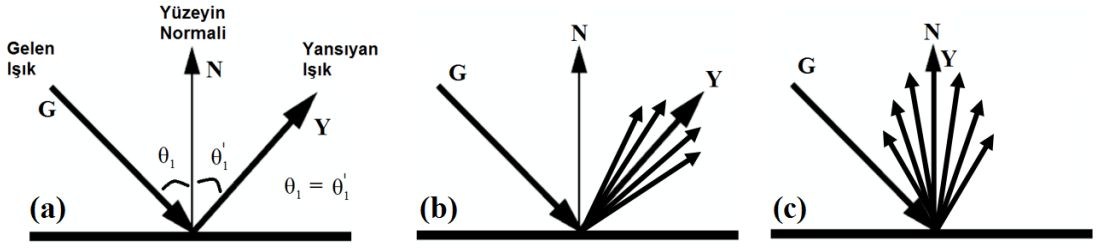
Şekil 2.6 : OSRAM firması tarafından üretilen farklı renklerdeki LED'lerin spektrum örnekleri [7]



Şekil 2.7 : Işığın farklı malzemeler ile etkileşimi esnasında meydana gelen optik özellikler [9]

2.1.3.1 Yansıma

Aynada veya cilalı bir yüzeyde meydana gelen yansıma görüntüsü, gelen ışığın açısı ile aynı açıda olacak şekilde ayna yüzeyinden yansıyarak ortaya çıkar [10]. Malzeme yüzeyine dik olan vektör, yüzeyin normali olarak ifade edilir. Malzeme yüzeyine gelen bir ışığın yansıma yolu, yüzeyin normaline göre hesaplanarak bulunur. Bu anlamda Şekil 2.8'de de gösterildiği üzere üç farklı (ideal, Gauss ve Lambert) yansıma türü vardır[10]. İdeal yansıma, pürüzsüz bir ayna yüzeyinde meydana gelen yansımadır. Pürüzlü bir yüzey, gelen ışığı birden fazla açıda yansıttığından dolayı yayılan bir yansıma ortaya çıkar, ancak yansıyan açıların hepsi, gelen ışığın açısı ile hemen hemen aynıdır ve gauss yansıması olarak adlandırılır[10]. Kaba veya mat bir yüzey, gelen ışığı yüzeyi normaline doğru ve birçok farklı açılarda yansıttığından Lambert yayılması olarak adlandırılan dağınık bir yansıma ortaya çıkar. Işığın etkileşime geçtiği malzemenin yüzey kalitesi, oluşacak yansıma olayı için çok önemlidir[10].



Şekil 2.8 : Işığın malzeme yüzeyi ile etkileşimi esnasında meydana gelen (a) ideal, (b) gauss ve (c) Lambert yansıma örnekleri

Speküler yansımalar yansıma yasasına uygun davranır. Şekil 2.8'de basitçe gösterildiği gibi gelen ışık ile yüzey normali (dikey) arasındaki açı yansıyan ışık ve normal arasındaki açıya eşittir. Gelen ışık ile normal arasındaki açı, θ_1 sembolü ile belirtilen olay açısı olarak adlandırılır. Yansıyan ışık ile normal arasındaki açı, θ_2 sembolü ile gösterilir ve yansıyan açısı olarak adlandırılır.

2.1.3.2 Kırılma

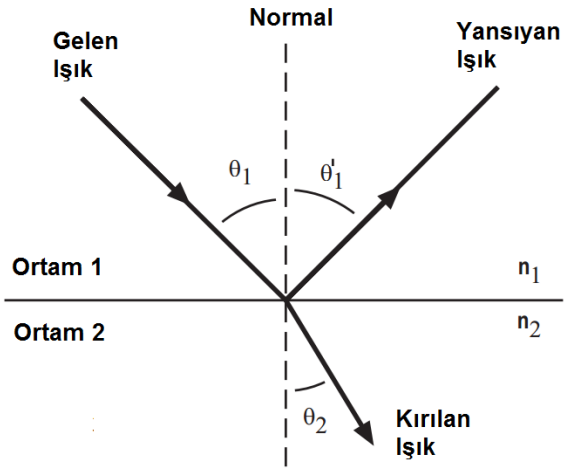
Işık bir malzemeden diğerine geçişi sırasında (örneğin havadan Cam'a geçerken), kırılmaya uğrayarak doğrultusunu ve hızını değiştirir. Kırılma olayı, ışığın gelme açısına (θ) ve malzemenin kırılma indisine (n) ve ışığın dalga boyuna bağlıdır. Belirli bir malzemenin kırılma indisi, eşitlik 2.3'de gösterildiği şekilde vakum ortamındaki ışık hızının (c) o malzeme içerisindeki ışık hızına (v) oranıdır [11].

$$n = \frac{c}{v} \tag{2.3}$$

Havadaki ışığın hızı neredeyse vakum ortamındaki ışığın hızıyla aynıdır, dolayısıyla havanın kırılma indisi "1" (n_{hava} = 1,000293) olarak kabul edilir. Hemen hemen tüm diğer maddeler için kırılma indisi 1'den büyüktür, çünkü ışığın hızı içinden geçtiği ortamınkinden daha düşüktür [11].

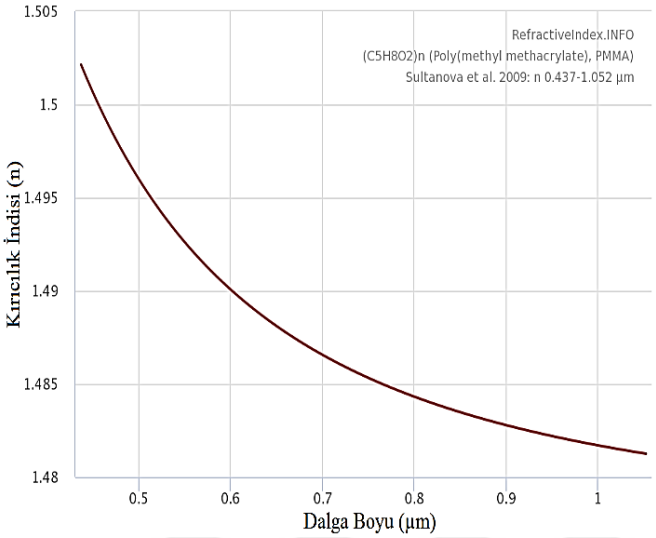
Şekil 2.9'da ve eşitlik 2.4'de gösterildiği gibi, Snell'in kırılma yasası, ışığın gelme açısı ile kırılma indisi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ayrıca Şekil 2.10'da PMMA malzemesinin üzerine düşen ışığın dalga boyuna karşılık kırıcılık indisindeki değişim gösterilmiştir.

Saydam bir madde neredeyse tüm ışığı geçirir, ancak malzemenin her iki yüzeyinden bir miktar ışık yansıtır. Bu yansıma, ışığın farklı kırılma indislerine sahip bir ortamdan diğerine geçtiği zaman meydana gelmektedir [13]. Meydana gelen bu yansımaya Fresnel yansıması denir ve malzeme yüzeyine dik gelen (yüzey normalinde) ışığın Fresnel yansıma miktarı (τ) eşitlik 2.5'de verilen Fresnel formülüne göre hesaplanmaktadır [13].



Şekil 2.9 : Snell yasasının basit bir şekilde gösterimi

$$n_1 \times \sin(\theta_1) = n_2 \times \sin(\theta_2) \tag{2.4}$$

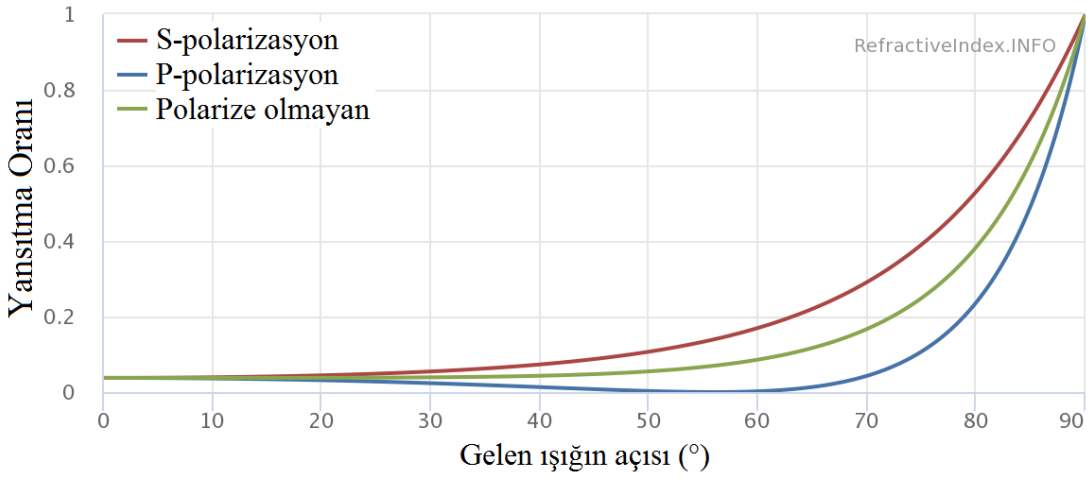


Şekil 2.10 : PMMA malzemesinin dalga boyuna karşılık kırıcılık indis grafiği [12]

$$\tau = (1-K)^2; \qquad K = \left(\frac{\eta-1}{\eta+1}\right)^2; \qquad \eta = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.5}$$

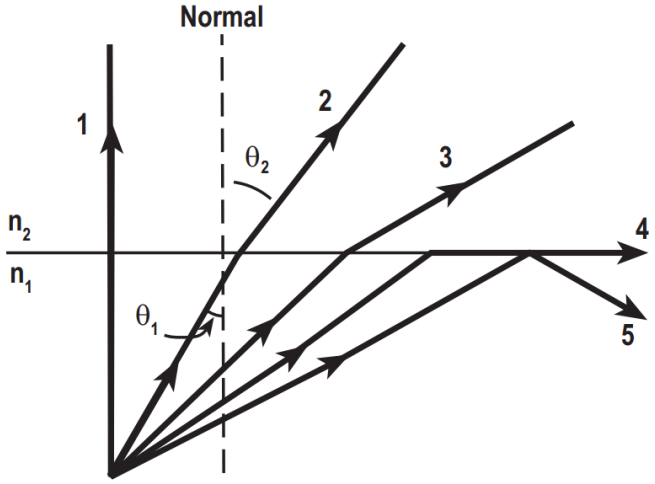
Buna ek olarak, gelen ışığın yüzeyle yapmış olduğu açı arttıkça yansıma miktarı değişir. Bu esnada iki farklı yansıma olayı meydana gelir ve bunlara S-polarizasyon ve P-polarizasyon denir. Işığın gelme açısına göre meydana gelen yansıma miktarı eşitlik 2.6'ya göre hesaplanmaktadır. Fresnel eşitliğinden elde edilen ve ışığın gelme açısına karşılık yansıtma miktarı Şekil 2.11'de gösterilmiştir [14].

$$R_S = \frac{\sin^2(\theta_1-\theta_2)}{\sin^2(\theta_1+\theta_2)} \qquad ve \qquad R_P = \frac{\tan^2(\theta_1-\theta_2)}{\tan^2(\theta_1+\theta_2)} \tag{2.6}$$



Şekil 2.11 : PMMA polimerine gelen ışığın gelme açısındaki yansıtma miktarı [12]

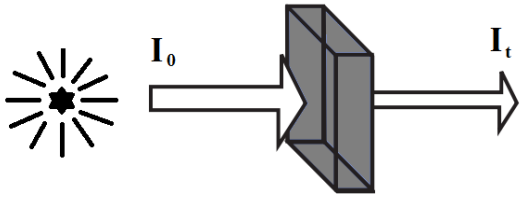
Snell yasasına göre, daha yüksek kırılma indisine sahip bir malzemeden daha düşük kırılma indisine sahip bir malzemeye (örneğin, camdan havaya doğru geçen ışık gibi) geçen ışık, normalden uzağa doğru bükülür. Bu durum, toplam iç yansıma olayına yol açar. Gelen ışığın normal ile yapmış olduğu açı arttıkça, iki ortam arasındaki sınır hattı boyunca yol alacaktır ve bu durum kritik açı (θc) olarak adlandırılır. Kritik açıdan daha yüksek açılarında gelen tüm ışınlar, geldiği ortama geri yansır. Kritik açı kanunu günümüzde en çok fiber optik kablolarda kullanılmaktadır. Fiber optik kablolarda ışık gücünde çok az veya hiç kayıp olmadan, kablo içerisindeki bilgiler fiber kablo boyunca ışığın taşımasına izin verir. Şekil 2.12, farklı gelme açılarına sahip ışığın malzeme yüzeyi ile etkileşimi sırasındaki davranışlarını göstermektedir.



Şekil 2.12 : Gelen ışığın normal ile yapmış olduğu açıya göre izlediği yollar

2.1.3.3 Geçirgenlik

Gelen ışığın (I_0) Şekil 2.13'de gösterildiği gibi bir malzeme içerisinden geçerek diğer ortama geçmesi (I_t) durumuna, geçirgenlik denir [15]. Malzemenin geçirgenliği; üzerine gelen ışığın yansıma miktarına, malzemenin kırılma indisine, emilme katsayısına, dağılma derecesine, saçılmasına, yüzey kalitesine, rengine ve varsa malzeme içerisindeki ek katkı malzemesine göre değişmektedir [15].

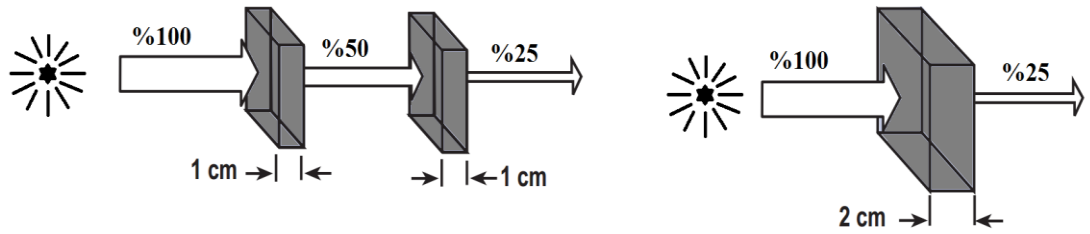


Şekil 2.13 : Işığın malzeme içerisinden geçişinin gösterimi

2.1.3.4 Emilme

Malzeme üzerine düşen ışığı tamamen iletmek yerine, genellikle ışığı ısıya dönüştürerek, gelen ışığın bir kısmını veya tamamını emebilir. Malzeme tarafından, ışığın emilme katsayı (α) olarak ifade edilir. Birçok malzeme, seçici emilim olarak da adlandırılan belirli dalga boylarını iletirken bazı dalga boylarını da emer. Lambert'in emilim yasası, eşit kalınlıklardaki homojen bir malzemenin, aynı orandaki ışığı emdiğini belirtir [15]. Başka bir deyişle, 1 cm'lik bir malzeme bloğuna gelen ışığın yarısı emilirse, aynı materyalden ikinci bir 1 cm'lik blok da geriye kalan ışığın yarısını (Şekil 2.14'de gösterildiği gibi) emer ve böylece geriye, gelen ışığın %25'i kalmış olur. Diğer bir yandan, ilk gelen ışık aynı özellikteki 2 cm'lik bloktan geçtikten sonra da geriye, gelen ışığın %25'i kalır. Malzemeden geçen ışığın yoğunluğundaki değişim, eşitlik 2.7'de belirtilen Lambert-Beer formülüne göre hesaplanmaktadır [15].

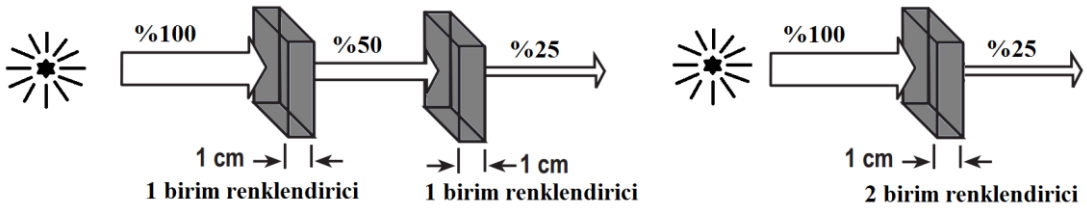
$$I_t = \tau I_0 e^{-\alpha t} \tag{2.7}$$



Şekil 2.14 : Işığın malzeme içerisinden geçişi esnasında emilime uğraması

Lambert-Beer kanunu emilme katsayısını iki değişkene ayırmaktadır ($\alpha = \beta c$); formülde geçen (β) birim yoğunlaşma katsayısı başına emilimi ve (c) materyalin yoğunluğunu. Beer yasası, eşit miktarda emici malzeme (bir sıvı içindeki boya gibi) ışığın eşit oranlarda emildiğini belirtmektedir [15]. Örneğin, şekil 2.15'de aynı hacimde ve aynı konsantrasyonundaki iki malzemeden emilen ışık miktarı ile iki kat fazla konsantrasyonunda ve aynı hacimdeki malzeme eşit oranda ışığı emdiğini göstermektedir. Lambert'in emilim yasasında olduğu gibi, her dalga boyu Beer'in yasası için ayrı olarak düşünülmelidir. İki yasa, hem kalınlık hem de malzemenin yoğunluğunu içeren tek bir eşitlikte birleştirilebilir. Bu eşitlik 2.8'de belirtildiği üzere Beer-Lambert yasası olarak adlandırılmaktadır [15].

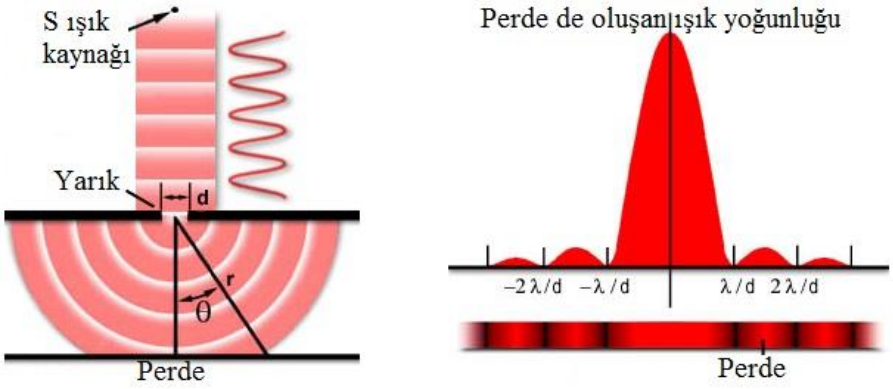
$$I = \tau I_0 e^{-\beta c t} \tag{2.8}$$



Şekil 2.15 : Işığın malzeme içerisinden geçişinin gösterimi

2.1.3.5 Dağılma

Işığı her zaman düz çizgiler halinde yol aldığını düşünürüz, ama ışık bir yarıktan geçtiğinde, bu yarığın etrafında bükülmeye ve yayılmaya eğilimlidirler [16]. Işığın dağılması, o ışığın dalga boyunun fiziksel olarak eşit boyutlardaki veya daha küçük bir yarıktan geçmesi sonucu oluşur. Dağılımı içeren klasik ve en temel kavramlardan biri, ilk on dokuzuncu yüzyılın başlarında yapılan tek yarık optik denemesidir ve Şekil 2.16'da gösterilmektedir. S noktasal ışık kaynağından yayılan (LAZER tarafından üretilen ışığa benzer) ışıklar d yarığından geçerek kırılırlar ve ($\sin\theta = \lambda/d$) eşitliğinde belirtildiği üzere gelen ışığın dalga boyunun yarık mesafesine oranıyla ışık dağılımı hesaplanır. S ışık kaynağının monokromatik dalga yaydığını varsayarsak, yarığın tam karşı merkezinde maksimum ışık yoğunluğu elde edilir [16].

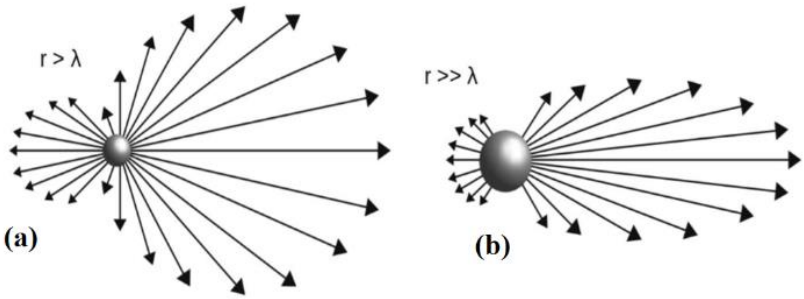


Şekil 2.16 : Dağılım olayının oluşma prensibinin gösterimi [16]

2.1.3.6 Saçılma

Işık pürüzsüz mükemmel bir yüzey ile etkileşime geçtiğinde, ideal yansıma (Bölüm 2.1.3.1'de ifade edildiği gibi) gerçekleşir. Işık, pürüzlü bir yüzeye çarptığında ise, birçok farklı yönlere doğru yansıtılır veya iletilir, bu da difüzyon veya saçılma olarak adlandırılır [16]. Ayrıca, malzemeler içerisine ışığın saçılmaya uğrayabilmesi için farklı kırıcılık indisine sahip nano kürecikler de eklenmektedir. Farklı kırılma indisine sahip nano küreciklerden geçen ışık, kırılma indislerinin farkından dolayı saçılmaya

uğrar. Bununla birlikte saçılma tipi, karışımdaki nano küreciklerin boyutuna da bağlıdır [17]. Şekil 2.17'de gösterildiği gibi nano parçacığın yarıçapı, gelen ışığın dalga boyundan büyükse, Rayleigh saçılımı gerçekleşir ve saçılan ışığın yoğunluğu, yaklaşık olarak $1/\lambda^4$ (λ, gelen ışığın dalga boyu) ile orantılıdır [17]. Nano parçacığın yarıçapı gelen ışığın dalga boyundan çok büyük ise Mie saçılması olur ve daha fazla ışık kirişi, aynı yöne doğru dağılır ve ışık yoğunluğu, λ değerinden bağımsızdır [17].



Şekil 2.17 : (a) Rayleigh ve (b) Mie saçılmalarına örnek [17]

2.2 Otomotiv Aydınlatma Ürünlerinde Uyulması Zorunlu Standartlar

Tüm dünyada otomotiv aydınlatma ürünlerinin optik özelliklerinin belirlenmesi için geçerliliği kabul edilmiş iki temel komisyon bulunmaktadır ve bunlardan Avrupa birliği kapsamındaki ülkelerde kullanılacak araçlar için ECE şartnameleri, Amerika ve ona bağlı ülkelerde kullanılacak olan araçlar için ise SAE şartnameleri bulunmaktadır [18]. Aydınlatma ürünlerinin araçta kullanılabilmesi için ECE ve SAE'de belirtilen yöntembilimi izlenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ayrıca araç üzerinde bulunan her bir aydınlatma ürünlerinin ölçüm standartları ve istemleri tamamen birbirinden farklıdır. Türkiye de kullanılacak olan araçların üzerinde bulunan her bir ürünün ECE şartnamelerini sağlıyor olması gerekmektedir [19].

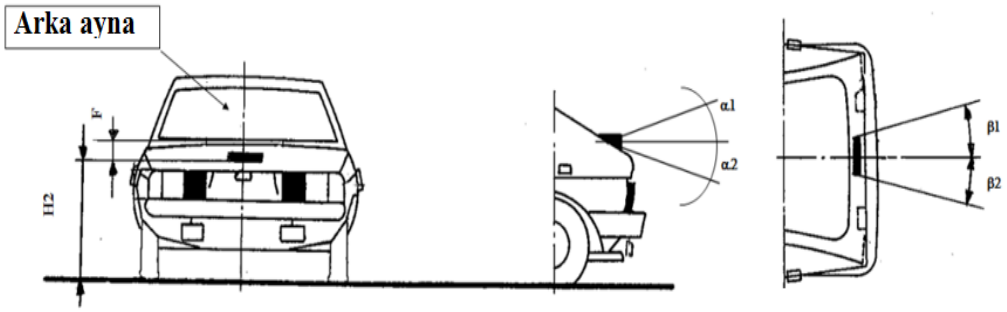
Bu çalışma kapsamında otomotiv üzerinde diğer sürücülere aracın durma eyleminde olduğu sinyalini veren bir CHMSL numunesinin fotometrik istemleri sağlayıp sağlamadığı gösteren simülasyon ve fiziki test ölçümleri yapılmıştır. Bu aracın sadece Avrupa ülkelerinde kullanılacağı varsayılarak, ECE şartnameleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında ECE R48 "Araç üzerine montajlanacak ışık ve aydınlatma ürünlerinin yönetmeliği" ECE R7 "Pozisyon, stop ve araç sınır ana hatlarını belirleyen lambaların yönetmeliği", ECE R37 "Filament lamba yönetmeliği" ve ECE R128 "LED ışık kaynakları yönetmeliği" standartları, otomotiv CHMSL aydınlatma ürünlerinin

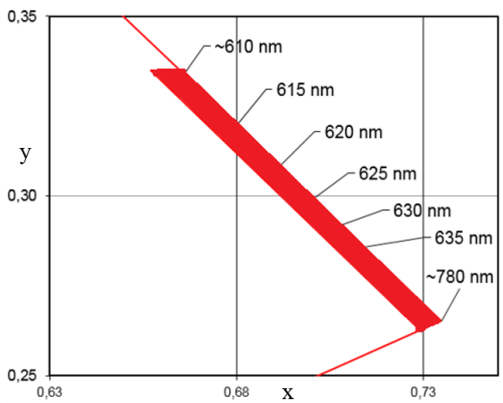
fotometrik özelliklerin belirlenmesini açıkladığından, ilgili kısımlar detaylı olarak anlatılacaktır.

ECE R48 yönetmeliği [20], araç üzerinde bulunması zorunlu olan ve isteğe bağlı kullanılabilecek aydınlatma ürünleri detaylı olarak tarif edilmektedir. Bu anlamda her bir ürünün araç üzerindeki montajlanma sınır şartları, ürünün görünebilirlik açıları, araç üzerinde kaç adet kullanılması gerektiği, üründen hangi renkte ışık çıkışının olması gerektiği, ışık renklerinin CIE 1931 renk sistemindeki sınır değerleri, ürünün fotometrik ölçümünün nasıl kurulması gerektiği, vb. bilgileri içermektedir.

ECE R48 [20] yönetmeliğinde belirtilen ve örnek aydınlatma ürünü olarak seçilen yardımcı stop lambasının (CHMSL) araç üzerinde kullanılabilmesi için, Şekil 2.18'de gösterildiği üzere yerden yüksekliği (H2) 850 mm'nin üzerinde olması ve arka camın uç noktasından (F) 150 mm'nin altında konumlanması gerekmektedir. CHMSL'nin yatay eksende (β1 ve β2) ± 10° ve dikey eksende (α1 ve α2) +10°,-5°'lerde görünebilir olması gerekmektedir. CHMSL'den araç üzerinde bir adet kullanılması zorunlu kılınmıştır. Bu üründen çıkan ışığın kırmızı renkte olması gerekmekte ve kırmızı rengi CIE 1931 renk diyagramındaki sınır şartları Şekil 2.19'da ve Çizelge 2.1'de belirtilen sınırlar arasında olmak zorundadır.



Şekil 2.18 : CHMSL'nin araç üzerine montajı ve görünürlüğü [20]



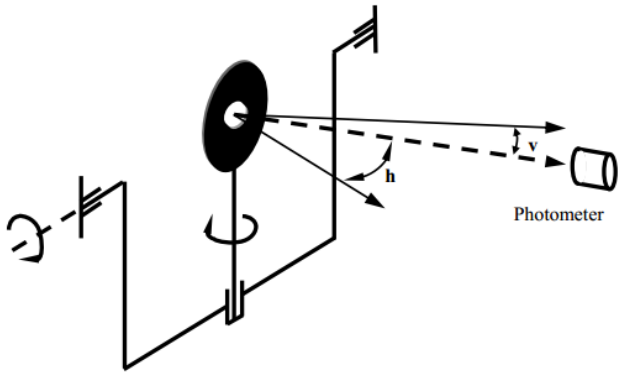
Şekil 2.19 : Kırmızı rengin CIE 1931 diyagramındaki sınır şartları

Çizelge 2.1 : Kırmızı rengin CIE 1931 diyagramındaki sınır şartları [20].

Çizgi	Sınır Şartları	Nokta	x	y
R_{12}	$y = 0{,}335$	R_1	0,645	0,335
R_{23}	Spektral hat	R_2	0,665	0,335
R_{34}	Mor hat	R_3	0,735	0,265
R_{41}	$y = 0{,}980 - x$	R_4	0,721	0,259

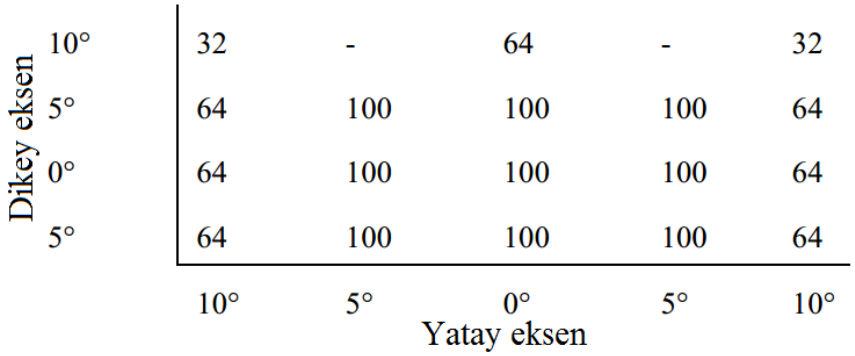
CHMSL'nin araç üzerinde 12 V gerilim değerinde beslenmesi gerekirken, bu ürünün laboratuvar ortamındaki fotometrik testlerinin yapılması için 13,5 V gerilim değerinde beslenmesi gerekmektedir [20]. Şayet CHMSL ürününde filament ampul kullanılıyor ise fotometrik ölçümlerde standart ampuller kullanılması ve standart ampulün üzerinde tanımlı olan besleme voltaj ve akım değerinde çalıştırılması gerekmektedir. Eğer CHMSL ürününde LED ışık kaynağı kullanılıyorsa, fotometrik ölçümler (ısıl dengeye gelmesi için) 30 dk. sonrasındaki yapılmalıdır.

Son olarak ilgili ürünün fotometrik ölçümlerinin yapılması için kurulması gereken ganyofotometre deney düzeneği ECE R48'e göre Şekil 2.20'de gösterildiği gibi kurulmalı. Birebir araç konumunda olacak şekilde yerleştirilmeli ve $\sqrt{10}$ m uzaklıktan fotosensörler yardımıyla ışık şiddetinin ölçümü yapılmalıdır [20].



Şekil 2.20 : Ganyofotometre deney düzeneği [20]

ECE R7 yönetmeliği [21], CHMSL'nin aydınlatması gereken bölgedeki her bir noktada olması gereken ışık şiddetinin minimum ve maksimum değerleri, bu noktalar arasındaki ışık şiddetindeki yüzdelik değişimler ve CHMSL üzerine yazılması gereken onay yazılarının detaylarını açıklamaktadır. ECE R7'e göre [21]; CHMSL'nin yatay ve dikey merkez (0,0) noktasındaki ışık şiddetinin minimum değerinin 25 cd'nın altında olmaması ve maksimum değerinin 110 cd'nın üzerinde olmaması gerekmektedir. CHMSL'den ölçülmesi gereken açılardaki ışık şiddeti ve bu noktalar arasındaki korelasyon Şekil 2.21'de gösterildiği şekilde olmalıdır [21].



Şekil 2.21 : CHMSL'nin aydınlattığı noktalar arasındaki korelasyon [21]

ECE R37 yönetmeliği [22], araç üzerinde kullanılması istenen filament ampullerin sahip olması gereken özelliklerinden ve yasal zorunluluklardan bahsetmektedir. Araç üzerinde kullanılacak olan aydınlatma ürününde filament ampul bulunuyorsa, bu ampulün ECE R37'de [22] listelenmiş filament ampullerden biri olması zorunludur. Bu listede yer alan her bir ampulün mekanik çizimleri üzerinden boyutları, tolerans değerleri, optik merkezleri, besleme voltajları ve yayması gereken ışık güçleri tarif edilmektedir [22].

ECE R128 yönetmeliği [23], araç üzerinde kullanılması istenen LED ışık kaynaklarının sahip olması gereken özellikler anlatılmakta ve yasal zorunluluklardan bahsedilmektedir. Araç üzerin montaj etmek istediğiniz herhangi bir aydınlatma ürününde LED kullanılacak ise bu lambanın ECE R128'de [23] belirtilen ortam şartlarına ve kimyasal dayanıma sahip olması gerekmektedir. Otomotiv aydınlatma üreticilerinin bu şartnameler doğrultusunda onaylanmış LED'leri kullanılmaları gerekmektedir [23].

2.3 Literatür Özeti

2.3.1 Malzemelerin optik özelliklerinin incelenmesi ve karakterize edilmesine yönelik literatür çalışmaları

Literatürde, çeşitli endüstriyel ürünlerde kullanılan malzemeler üzerinde yapılan bazı deneysel optik test çalışmaları bulunmaktadır [24-33]. Fakat otomotiv aydınlatma sektörü göz önüne alındığında, çalışmaların kısıtlı ve yetersiz olduğu söylenebilir. Söz konusu, otomotiv aydınlatmalarında kullanılan farklı renklerdeki polimerler olduğunda ise literatürde bulunan çalışma sayısının nerdeyse çok kısıtlı sayıdadır.

Patil vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada, otomotivlerde kullanılan polimer malzemeler incelenmiş ve avantajlarından bahsedilmiştir [24]. Polimerlerin metallere kıyaslandığında, esas olarak hafif ve göreceli olarak daha iyi özellikler göstermesinden ötürü araçlarda çok çeşitli plastikler kullanılmaktadır. Araçlarda yüksek performanslı plastik malzemelerin geniş oranlarda kullanılmasını otomobillerin görünümüne, işlevselliğine, ekonomisine, tasarım özgürlüğüne ve düşük yakıt tüketimine sağlamış olduğu avantajlar belirlemektedir. Polimerik malzemelerin kullanılmasıyla ortalama bir aracın ağırlığının yaklaşık %82'si geri dönüştürülebilir hale gelmiştir. Özellikle otomotiv aydınlatma ürünlerinde PC, PBT, ABS, PMMA ve UP polimerlerinin kullanıldığını fakat bunlardan sadece PC ve PMMA'nın ışık geçiren şeffaf lens olarak kullanılmaktadır. Tasarımcıların ve mühendislerin araçlarda yenilik yapmalarına ve araç performansını daha da geliştirmelerine yardımcı olmak için gelecekte plastik kullanımının artarak devam edeceği vurgulanmıştır [24].

Beukema vd. (2013) ve Dow Corning şirketi tarafından yapılan çalışmada özellikle LED'li aydınlatma ürünleri için geliştirilen silikon esaslı "MS-1002" malzemesinin optik ve mekanik özellikleri incelenmiştir [25]. Çok çeşitli sıcaklık, nem ve diğer zor çevre koşullarında fiziksel ve elektriksel özelliklerini koruyabildikleri ifade edilmiştir. Bu anlamda MS-1002'nin optik ve mekanik özelliklerinin avantajı gösterebilmek adına cam, PC ve PMMA malzemelere de aynı koşullarda olacak şekilde çevresel testler yapılmıştır ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Özellikle MS-1002'nin ışık emilme katsayısının PMMA'nın yarı değerinde olduğu ve bu sayede hem yüksek ışık geçirgenliği hem de kalın lens uygulamalarında daha verimli olacağı vurgulanmıştır. Kırıcılık indisinin 380–780 nm arasında 1,68–1,58 aralıklarında olduğu grafiklerle gösterilmiştir. Bu özelliklerinin getirisi olarak yüksek güçteki LED aydınlatma uygulamalarında avantajlı olacağı ifade edilmiştir [25].

Najeeb vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, PMMA polimerine ağırlıkça farklı miktarlarda (%0, 2, 4, 6) diaril ethen bileşiği ilave edilerek elde edilen ince filmlerin optik özellikleri incelenmiştir [26]. EMS'nin 180 ile 890 nm dalga boyları arasındaki incelenerek malzemeye eklenen katkı malzemesinin optik özelliklere etkisi hesaplanmıştır. Karışımı hazırlanan filmler çift ışın demeti metoduna göre CECIL 2700 UV-VIS spektrofotometre cihazı kullanılarak malzeme davranışları incelenmiştir. Ayrıca yapılan ölçümlerin Beer-Lambert formülü kullanılarak, doğrulama yolu gösterilmiştir. Malzeme içerisindeki katkı yoğunluğunun artışıyla

polimerdeki geçirgenlik değerinin düştüğünü ortaya koyulmuştur. Gelen foton enerjisinin yüzdelik olarak artması ile soğurulan enerjinin de doğru oranda arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, PMMA içerisindeki diaril eten oranının artmasıyla emilme katsayısı, tükenme katsayısı, incelik katsayısı, kırıcılık indisi, optik iletkenlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Fakat bu çalışmada test edilen ince filmlerin kalınlıklarının belirtilmemesi, çalışmanın eksik bir yönünü ortaya çıkarmaktadır [26].

Kasarova vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada 18 farklı malzemenin optik yansıtma indeksleri ve kırıcılık indeksleri araştırılmıştır [27]. Şeffaf malzemelerin kırıcılık indeksleri Federal Test Metot Standartlarına tarif edilen Abbe kırıcılık ölçer cihazı kullanılarak yapılması gerekmektedir. Kurulan deney düzeneğinde farklı dalga boyların ışık çıkışı olan 10 adet LAZER ışık kaynakları kullanılmıştır. Bu sayede her malzemenin farklı dalga boylarında ki ışığa karşılık göstermiş olduğu yansıtma katsayısı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu ölçümlerde elde edilen veriler Cauchy yaklaşımı yapılarak kırıcılık indisi formülleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar OptiColor programı kullanılarak sayısal ortamda doğrulanmıştır. Ayrıca PMMA malzemesinin sonuçları CODE V, ZEMAX ve OSLO optik tasarım ve analiz programındaki veriler ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. PMMA polimerinin 405 – 1064 nm dalga boyları arasındaki ışık kaynakları ile yapılan ölçümlerde kırıcılık indisi 1,516–1,481 arasında olduğu bulunmuştur [27].

Almaral-Sanchez vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, kırmızı renkteki saydam organik-inorganik boya PMMA-SiO_2 ile kros-link olarak bağlanarak hibrit film elde edilmiş ve bu film Fourier Transform IR spektroskopi, AFM, optik geçirgenlik ve yansıtma spektroskopisi ile karakterize edilmiştir [28]. Yapılan testler, kırmızı renkli ince filmin 2 μm kalınlığında ve yüzey pürüzlülüğünün 0,3 nm mertebesinde olduğunu ve malzemeden geçen ışık yoğunluğunun malzeme içerisindeki kırmızı boya miktarına göre değiştiğini göstermiştir. Hibrit filmin renk koordinatı CIE ve CIELAB sistemine göre yapılmış ve x değeri 0,3101 y değeri 0,3163 olarak bulunmuştur. Şeffaf PMMA görünür bölgenin tamamında ortalama %90 ışık geçirgenlik sağlarken, bu çalışmada hazırlanan kırmızı filmin 400 ile 600 nm arasındaki geçirgenliğinin filmdeki boya miktarına göre azaldığı görülmüştür [16].

Rai vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, 200 ve 500 mikron kalınlığındaki PMMA filmleri 0, 10, 50, 100, 500 kGy gama ışımasına maruz bırakılarak, PMMA filminin ışık geçirgenliğinde meydana gelen değişim incelenmiştir [29]. Işık geçirgenlik testleri

200 ile 1000 nm aralığında her kalınlık için tek tek yapılmış ve özellikle 250-300 nm arasında ve 380-500 nm dalga boyu aralıklarında ışık geçirgenliklerinin azaldığı görülmüştür. FTIR spektrumlarında yaklaşık 100 kGy kadar olan tüm radyasyon dozunda ve sonrasında meydana gelen doz artışında, bozulmamış PMMA'ya kıyasla, piklerin emilim yoğunluğunda bir azalma görülmüştür [29].

Rouaramadan ve Ekramajaj (2013) yaptığı çalışmada, PMMA ve PVC polimerlerin ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılması (%100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100) ile edilen ince filmlerin optik özelliklerini incelemiştir [30]. Optik ölçümler, EMS'nin 200 ile 1100 nm dalga boyları arasındaki bant aralığında gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça farklı oranlardaki ince filmlerin içerisine 10 mL tetrahidrofuran çözücü eklenerek PMMA ile PVC çözünmüş ve daha sonra hazırlanan solüsyon 7,5 cm yarıçapındaki cam üzerine dökülerek kurutulmuştur. Elde edilen filmler çift ışın demeti metoduna göre Schimadzu 1650 PC UV-VIS spektrofotometre cihazında incelenmiştir. Farklı yoğunluklara karşılık elde edilen soğurma değerlerinin uyuşmamasının polimer içindeki yoğunluğa bağlı olduğu belirtilmiştir. Tüm karışımların 250 ile 290 nm arasında daha kuvvetli soğurma davranışı sergiledikleri görülmüştür. Ağ. %50/50 PVC/PMMA karışımı, en iyi optik özellikleri göstermiştir. Ayrıca, ağ. %50/50 PVC/PMMA karışımı ile elde edilen emilme katsayısı, söndürme katsayısı ve kırıcılık indisi değerleri diğer karışımlara kıyasla önemli değişimler göstermiştir [30].

Nahida (2012) PMMA malzemesinin farklı sürelerle UV ışımasına maruz kalması sonrası optik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelenmiştir [31]. Çalışmada Beer-Lambert formülü kullanılarak sonuçların sağlaması yapılmıştır. Saf yapıda olan PMMA polimerinin şeffaf yapıya, %92 ışık geçirgenliğine ve 1,49 kırıcılık indisine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 0,7 mm kalınlıklarındaki PMMA numuneleri 24, 72 ve 120 saat süreyle ksenon lambasından 320 nm dalga boyundaki ışınlara maruz bırakılmıştır. Buna göre, PMMA malzemesinin 72 saat süre ile UV ışığına maruz kalmasının emilme katsayısının maksimum seviyelere çıkması için yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca, PMMA polimerinin UV ışımasına maruz kalmasına bağlı olarak malzemenin optik özelliklerinde; emilme katsayısında, sönümleme katsayısında, kırıcılık indisinde ve dielektrik katsayında azalma olduğu görülmüştür [31].

Pablick (2017) ışık kaynaklarının güç yoğunlukları giderek arttırılmakta ve daha kompakt tasarımlara dönüştürülmekte olduğunu belirtmiştir [32]. Bu çalışmada camın polimer malzemelere bazı üstün özellikler sergilediği öne sürülmüştür. LED ve

LAZER farlar içerisindeki ısı yükünün artmasına neden olmaktadır. Bu tür durumlarda özellikle optik elemanlar, oluşan ısıdan dolayı yüzey formlarında bozulmaya uğramaktadır. Bundan dolayı camdan yapılan optik lenslerin polimerlere kıyasla daha iyi bir seçim olacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, cam, PMMA, PC ve silikonunun optik ve mekanik özellikleri karşılaştırılmış ve camın yüksek sıcaklık, UV ışınları, toz, hidrokarbonlar ve diğer çevresel etkilere polimer malzemelerden daha dayanıklı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, refraktif uygulamalar için oldukça yüksek renk doğruluğunu temin etmektedir. Ortam şartlarına bağlı olarak meydana gelen deformasyonların camlarda neredeyse sıfır olduğu gösterilmiştir [32].

Pablick vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, LED ışık kaynaklarında kullanılan ışık geçirgen optik yapıların büyük kısmının PMMA veya PC gibi enjeksiyonla kalıplanmış polimerlerden yapıldığı ifade edilmiştir [33]. Son zamanlarda LED'lerde meydana gelen gelişmeler sonucunda daha yüksek ışık akısı ve enerji yoğunluğu seviyelerine ulaşılmaktadır. Bu durum termal stabilizedeki sınırlamaları nedeniyle bu tür polimerin kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır. Camın yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olması nedeniyle camdan yapılan optik elemanlar gittikçe daha önem kazanmaktadır. Bu makalede, PMMA, PC, silikon ve cam malzemelerden yapılmış ışık tüplerinin ışık geçirgenlik ve ısıl dayanımları araştırılmıştır. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan termal simülasyonlar sunulmuştur. Buna göre, otomotiv aydınlatma ürünlerinin 80°C'lik ortam şartlarında, PMMA malzemelerin termal dayanımlarının yeterli olmadığı görülmüştür [33].

2.3.2 Otomotiv aydınlatma ürünlerinin sayısal olarak modellenmesine yönelik literatür çalışmaları

Literatürde, ışık geçirgen polimer malzemelerin optik özelliklerinin deneysel yöntemlerle belirlenmesinin yanında, optik tasarım ve analiz programında sayısal modellerin oluşturulması ve doğrulamasıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır [34-37]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, aydınlatma ürünlerinde kullanılan optik komponentlerin optik özelliklerinin tanımlanması, optik tasarım ve analiz programına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu kısımdaki daha önce yapılmış çalışmalar otomotiv iç ve dış aydınlatmalarını içermektedir.

Ragnow (2015) yaptığı çalışmada, otomotiv aydınlatma ürünlerinde bulunan komponent sayısının artmasından kaynaklanan ışık dağılımının hesaplanmasının ve

fotorealistik simülasyon sonuçlarının elde edilmesinin çok uzun zaman aldığını ve bu sürenin nasıl kısaltılabileceğini açıklamıştır [34]. Yapılan simülasyonların farklı hesaplama yöntemlerine göre süreyi nasıl etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca, simülasyon sonuçları tutarlılığı ile simülasyon süresi arasındaki dengenin nasıl kurulması gerektiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ilgili komponentlerin birebir yüzeylerini kullanmaktansa üçgen yapıdaki ağ örgüsünün (maksimum kiriş yüksekliğinin 0,01 mm) kullanılması süreyi azaltmakta ve kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmektedir. Işık yolunun hesaplanması için Monte Carlo Ray Trace yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha kısa sürmekte ve daha tutarlı sonuçlar vermektedir [34].

Bony vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, Mercedes-Benz roadster SLK (R172) aracında kullanılan ve gün boyu yanan lamba (DRL) ve stop lambasının tasarım ve analiz süreçleri irdelenmiştir [35]. Bu modelin daha önceki sürümünde kullanılmakta olan filament ampuller yerine LED ışık kaynakları kullanılarak hem enerji sarfiyatı azaltılmış hem daha verimli ışık dağılımı ve farklı bir stil görünümü elde edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları Monte Ray Trace yöntemine göre çözümlenmiş ve OPTIS firmasının geliştirmiş olduğu SPEOS yazılımı kullanılmıştır. LED ışık kaynağı kullanılmasıyla her bir DRL başına 5W'lık bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Fakat bu çalışmada kullanılan polimerden üretilmiş lens malzemelerin türü, rengi ve kalınlığının belirtilmemesi çalışmanın eksik yönlerini ortaya koymaktadır [35].

Yu vd. (2013) tarafından yayınlanan makalede, BMW araçlarının pozisyon lambasında kullanılan ışık kılavuzlarının tasarım ve analiz işlemleri anlatılmıştır [36]. LED ışık kaynaklarının kullanımından ve pozisyon lambalarının dairesel yapıda olması nedeniyle homojen olmayan görünümler oluşmuş ve ışık kılavuzlarının tasarımı esnasında bu sorunun giderilme yöntemi açıklanmıştır. Optik simülasyon işlemleri TracePro programı kullanılarak yapılmıştır. İlgili aracın Amerika'da kullanılacağı ön görülerek Otomotiv Mühendisleri Topluluğunun (SAE) belirlemiş olduğu yasal gerekliliklere göre, pozisyon lambası tasarlanmıştır. Işık kılavuzunun teknolojisinde geri ışık modülü (BLMs) kullanılmıştır. Işık kılavuzunda emilme katsayısının küçük olmasından dolayı PC yerine PMMA polimeri tercih edilmiştir. Pozisyon lambasının aydınlatma dağılımı kök ortalama kare hatası (RMSE) hesaplama modülüne göre yapılmıştır. Geliştirilen tasarım ile hem homojen bir ışık dağılımı hem de gerekli yasal şartları sağlayan pozisyon lambası elde edilmiştir [36].

Bianco vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, yeni nesil bir aydınlatma kaynağı olan organik ışık yayan diyot (OLED) teknolojisinin stop lambalarında kullanılabilmesi için yapılan gerekli optik ve elektronik simülasyon çalışmaları açıklanmıştır [37]. Bu OLED'lerin, araçlara yeni bir görünüm kazandırmak için gelecekte daha yaygın olarak kullanılacağı öngörülmüş ve bu nedenle yeni simülasyon araçlarına ihtiyaç duyulacağı ifade edilmiştir. Fotometrik bakış açılarında (yatayda ve dikeyde ±20°) homojenliğin %10 hata oranı ile oluştuğu görülmüştür. Fakat bu açıların dışında kalan açılarda homojenlik hata oranı %10'un üzerinde bulunmuştur. OLED parlaklık dağılımının, özellikle konvansiyonel olmayan şekillerde ve büyük aydınlatma alanlarında homojen olmayacağı ifade edilmiştir. Işık yoğunluğu Lambert kosinüs formülü ile analitik olarak hesaplanmıştır. Arka lamba gelişiminde OLED ışık kaynağı simülasyonu için tamamen bütünleşmiş bir optik araca ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir [37].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Optik özelliklere sahip bir üründen bahsediliyorsa kesinlikle ışık kırıcı ve/veya yansıtıcı bir komponentten söz edilmektedir. Optik bir sistemin en kritik komponentini ışık kaynakları oluşturmaktadır. Fakat ışık kaynağı tek başına çoğu zaman anlam ifade edememekte veya istenen şartları sağlayamamaktadır. Bundan dolayıdır ki, aydınlatma ürünlerinde ışık kaynağının yanında ışığı yönlendirmeye, odaklamaya, yaymaya veya filtrelemeye yarayan lens ve/veya ayna yapıları kullanılmaktadır.

Aydınlatma sektöründe görünür bölge olarak tarif edilen kısım (EMS'nin 380–780 nm dalga boyları arasında kalan kısım) insan gözü tarafından algılanan aralık olmasından dolayı bu çalışma kapsamında sadece 380–780 nm arası temel alınmıştır. Bir ışık kaynağının farklı lens malzemeleri ile etkileşimi sırasında farklı davranışlar sergilemesi gibi farklı dalga boylarındaki ışık kaynakları da aynı lens malzemesi ile etkileşimi sırasında farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Otomotiv aydınlatma sektöründe kullanılan ürünlerin optik özelliklerinin belirlenmesinde kritik öneme sahip olan ve lens malzemesi olarak kullanılan malzemelerin başında cam, PMMA ve PC polimerler gelmektedir. Daha öncede bahsedildiği üzere cama kıyasla birçok avantajlarından dolayı günümüzde üretilen araç lambalarının nerdeyse tamamında polimer lensler kullanılmaktadır. Lens malzemesi olarak kullanılan polimer malzemelerin ışık ile etkileşimi sonucunda ışığı geçirme, yansıtma ve emme miktarları büyük önem arz etmektedir. Literatürde ışık geçirgen malzemelerin optik özelliklerini belirlemek amacıyla farklı deneysel yöntemler ve test cihazları kullanılmıştır [25-32].

Herhangi bir ürünün ya da komponentin optik özelliklerinin araştırılmasında elde edilmesi istenen veri veya sonuçların farklı olması farklı test cihazlarının kullanmasını gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında öncelikle farklı renk ve kalınlıklarda plakalar üretilmiş ve akabinde bu plakların ışık ile etkileşimi sonucunda malzeme üzerine düşen ışığın ne kadarını geçirdiği, yansıttığı ve emildiğini belirlemek için UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazı kullanılmıştır. Test cihazından elde edilen verilerin daha sonra optik tasarım ve analiz programının girdisi olarak kullanılmasından dolayı elde edilen verilerin tekrarlanabilir ve güvenilir olması beklenir. Bu anlamda,

spektrofotometre cihazı kullanılarak elde edilen verilerin doğrulaması yapıldıktan sonra optik tasarım ve analiz programında sayısal modellemeleri yapılmıştır. Daha sonra, ölçümleri yapılmış bu renk plakaları içerisinden belirlenen malzemeler ile örnek bir CHMSL numunesinin sayısal modelli oluşturulmuştur ve optik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğunu kıyaslamak adına örnek CHMSL numunesi belirlenen polimer malzemelerden üretilmiş ve bu CHMSL numunesinin ganyofotometre cihazı kullanılarak belirli açılardaki ışık şiddetleri ölçülmüştür.

3.1 Laboratuvar Ortamında Yapılan Deneysel Çalışmalar

3.1.1 Farklı renkteki plakaların üretimi

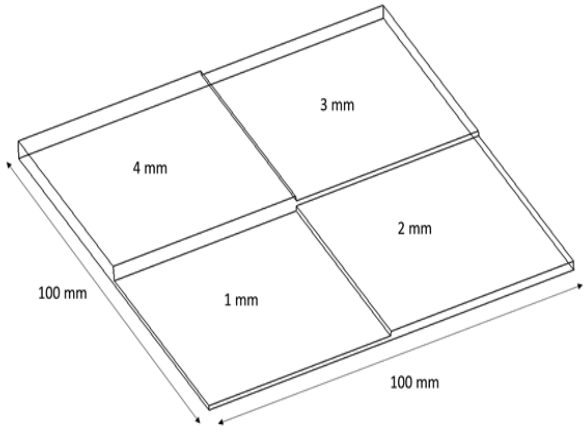
Bu kısımda UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında ölçümlerinin yapılması için gerekli renkli polimer renk plakalarının üretim aşaması, kullanılan cihazlar ve gerekli yazılımlar açıklanmıştır.

Endüstriyel olarak sıklıkla tercih edilen ve EVONIK firması tarafından üretilen Plexiglas 8N PMMA polimerlerinin renk listesi, renk kodları ve 3 mm kalınlıktaki renk plakalarının (görünür bölgedeki) ışık geçirgenlik oranları [38] Çizelge 3.1'de bulunmaktadır. Çizelge 3.1'de bulunan % geçirgenlik bilgileri sayısal model oluşturmak için yetersiz kalmaktadır. Bu eksikliğin giderilebilmesi ve spektrofotometre cihazında optik testlerin yapılabilmesi için renk plakaları üretilmiştir. Renk plakalarının üretiminde kullanılan granüller EVONIK firmasından temin edilmiştir. Daha sonra numune plakaların enjeksiyon yöntemi ile üretimi öncesinde MoldFlow analizleri yapılmıştır. MoldFlow programının kullanılmasıyla, enjeksiyon üretimindeki parametreler belirlenmiş ve bu veriler ışığında, FEKA Otomotiv bünyesinde bulunan uygun tonajdaki enjeksiyon cihazı ile renk plakalarının üretimleri yapılmıştır.

MoldFlow programına daha önceden CATIA mekanik tasarım programı kullanılarak tasarlanmış ve çizimleri yapılmış olan renk plakasına ait CAD kalıp verisi yüklenmiş ve uygun sayısal modelleme yapıldıktan sonra renk plakası kalıbının PMMA polimer malzemesi ile dolum simülasyonu ve analizleri yapılmıştır. MoldFlow analiz programında yapılan plakanın mekanik çizimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : EVONIK Plexiglas 8N PMMA ürün listesi [38].

Renk	Renk Kodu	% Geçirgenlik (τ)
Şeffaf	Clear	90
Kırmızı	33701	17,7
Kırmızı	33661	21,6
Kırmızı	33780	23,3
Kırmızı	33691	25,6
Kırmızı	33681	31,7
Kırmızı	33711	36,8
Kırmızı	33721	42,0
Amber	23095	55,2
Amber	23340	58,4
Amber	23085	60,7
Amber	23105	65,4
Sarı	13115	69,5
Sarı	13025	73,2
Gri	7V275	15,0
Gri	7V274	25,0
Gri	7V205	30,0
Gri	7V273	35,0
Gri	7V265	45,0
Gri	7V272	55,0
Gri	7V271	65,0
Gri	7V270	70,0
Gri	7V269	75,0
Gri	7V268	85,0



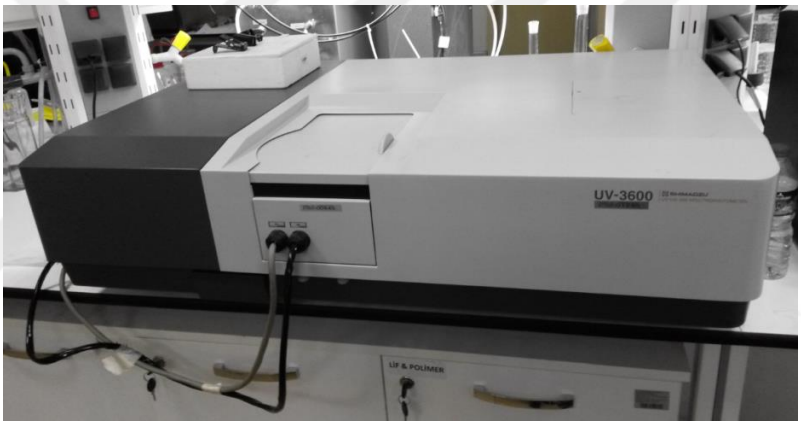
Şekil 3.1 : MoldFlow analizi yapılan plakanın mekanik çizimi

Üretilecek olan parçanın en doğru şekilde ve hatasız olarak üretilebilmesi için MoldFlow analiz çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Üretilecek olan renk plakasının boyutunun küçük ve basit yüzey formlarına sahip olmasından dolayı, MoldFlow çalışmasına gereksinim yokmuş gibi bir algı oluşabilmesine rağmen üretiminde oluşabilecek ufak bir enjeksiyon hatası malzemenin optik özelliklerini

etkilemekte ve ölçüm sonuçlarını tekrarlanamaz hale getirebilmektedir. Ayrıca, üretilen renk plakalarının UV-VIS-NIR spektro-fotometresinde ölçüm yapılmaya uygun boyutlara gelmesi için renk plakaları sınır hatlarından kesilerek dört eşit parçaya ayrılmıştır.

3.1.2 Farklı renkteki plakalarının UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında geçirgenlik, yansıtma ve emme testlerinin yapılması

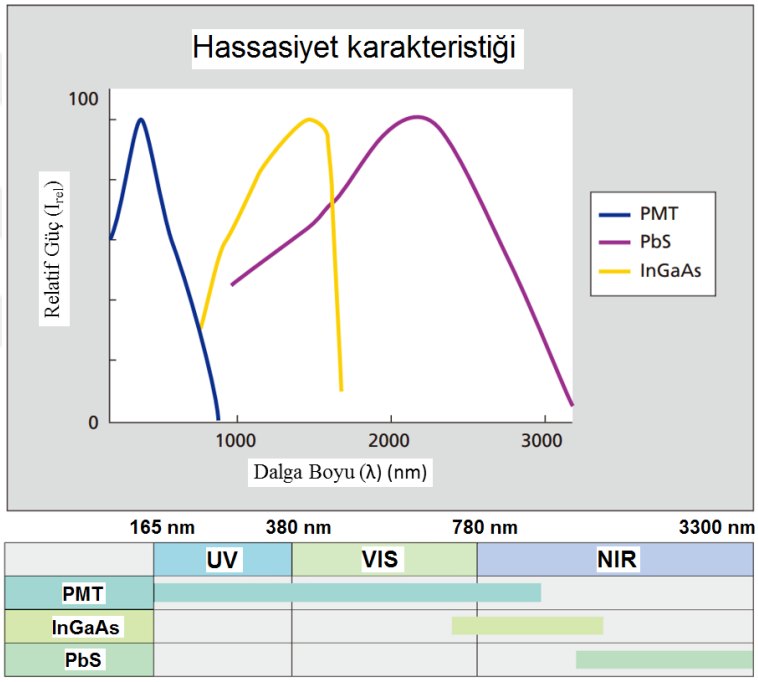
Bu çalışma kapsamında farklı renkteki ve farklı kalınlıklardaki polimer malzemelerin optik özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda aynı kalınlıktaki olup farklı renkteki polimerlerin ve farklı kalınlıklarda olup aynı renkteki polimerlerin optik özellikleri Şekil 3.2'de gösterilen SHIMADZU marka UV-3600 model UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazında belirlenmiştir.



Şekil 3.2 : UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazının genel görünümü

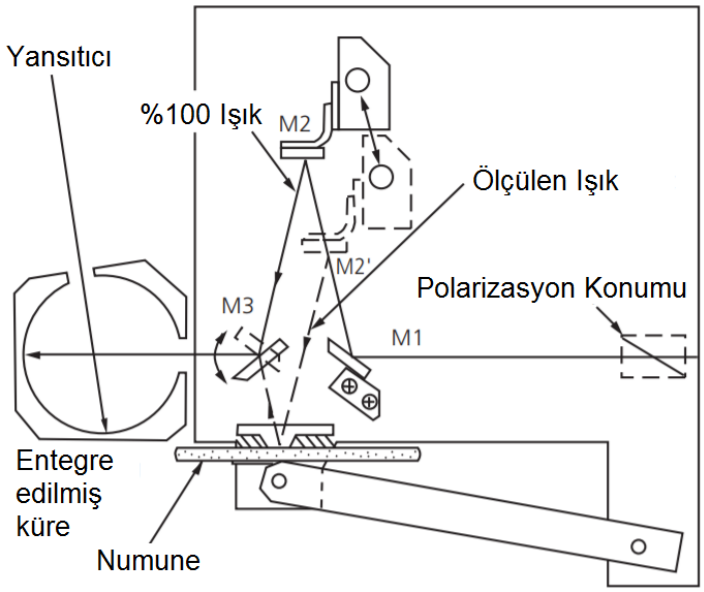
Optik özelliklerin karakterizasyonu esnasında kullanılacak test cihazının seçim kıstaslarının en başında, test cihazında kullanılacak olan ışığın dalga boyunun ne kadar monokromatik "hassas" olduğu gelir. Bilimin ilk yıllarında malzemelerin optik özellikleri belirlenirken poli-kromatik ışık kaynakları kullanılmak zorunda kalınmışken günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak ölçüm cihazlarındaki yenilikler sonucunda ilgili testler monokromatik ışık kaynakları ile yapılabilir hale gelmiştir. Aydınlatma sektörü başta olmak üzere görüntüleme cihazı ve sensör üretimlerinin yapımında kullanılan malzemelerin belirli dalga boylarındaki ışık ile etkileşim özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Işık geçiren malzemelerin optik özellikleri, malzeme ile etkileşime geçen ışığın dalga boyuna bağlı olduğundan, test cihazında kullanılan ışık kaynağının güvenirliliği, tekrar edilebilirliği ve hassasiyeti oldukça önemlidir.

Kullanılan UV-VIS-NIR spektrofotometre test cihazı üzerinde üç farklı dedektör bulunmaktadır. Bunlar ultraviyole ve görünür bölgeler için bir PMT (photomultiplier) ve kızılötesi bölge için InGaAs ve PbS dedektörlerinden oluşmaktadır [39]. Yüksek performanslı çift mono-kromatör, yüksek çözünürlük (maksimum çözünürlük: 0,1 nm) ile ultra-düşük ışık seviyesinde (340 nm'de maksimum %0,00005) ve 185 ila 3300 nm arasındaki geniş dalga boyu aralığında (mor ötesi, görünür bölge ve kızılötesi) ölçüm yapılmasını sağlar [39]. Yüksek hassasiyette ışık geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri yapabilmektedir. Kullanılan dedektörlerin dalga boyuna karşın göstermiş oldukları hassasiyet değerleri Şekil 3.3'de görülmektedir. Ayrıca cihazın çalışma prensibine ait şematik çizim Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.3 : UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında bulunan PMT, InGaAs ve PbS detektörlerinin hassasiyeti [39]

Bu tez çalışmasın sırasında UV cihazında yapılan ölçümler, otomotiv aydınlatma sektöründeki yasal şartlarda belirtilen 380 nm ile 780 nm dalga boyu aralığında (görünür bölgede) yapılmıştır. Tüm ölçümler bu aralıktaki 1 nm dalga boyu aralığı ile ve yavaş tarama hızında gerçekleştirilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 mm kalınlıklarında ve şeffaf renkteki EVONIK Plexglas 8N Clear polimerinden üretilmiş plakalarının 380–780 nm dalga boyu arasındaki % geçirgenlik değerleri, yüzde yansıtma değerleri ve emme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak eşitlik 2.7'de verilen Beer-Lambert formülü ile teorik doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

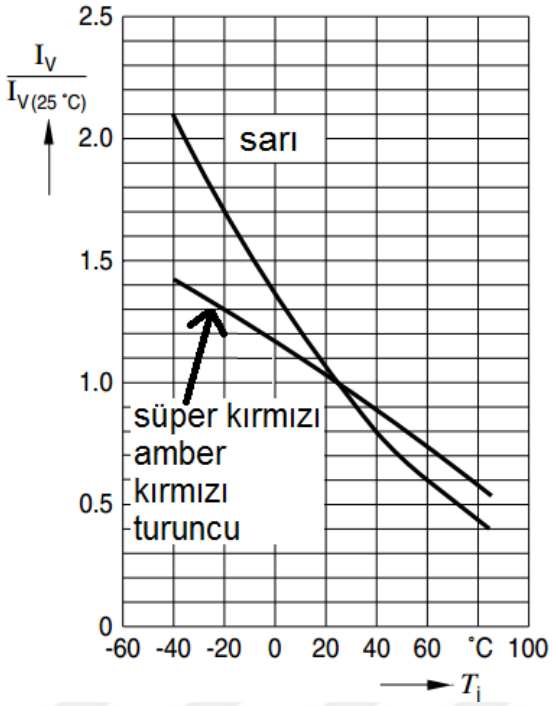


Şekil 3.4 : UV-VIS-NIR Spektrofotometre cihazının çalışma prensibi [39]

3.1.3 LED'in yonga sıcaklığının ölçülmesi

LED gibi yarı iletkenden üretilmiş ürünler, yarı iletken üzerindeki sıcaklık değiştikçe çalışma performansları olumlu veya olumsuz yönde etkilenmektedir. LED'in yongası yarı iletkenden üretiliyor olması nedeniyle LED ışık saçmaya başladığı andan itibaren ısınmaya başlamaktadır. Bu zaman diliminde kullanılan LED'in yonga sıcaklığının kaç derecelere ulaştığının tespit edilmesi ve bu sıcaklıktaki ışık performansının yüzde olarak değişiminin belirlenmesi gereklidir. İlgili LED'in ürün tanıtım dokümanlarında verilen yonga sıcaklığına bağlı olarak ışık gücündeki değişim Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Fakat LED'in ürün içerisinde 30 dk. çalıştıktan sonra yonga sıcaklığının kaç dereceye ulaşacağı bilinmemekte ve bu değer her PCB tasarımında farklılık göstermektedir. Bunun yanında, OSRAM marka TOPLED LA T67F model LED'in 30 dk. sonraki sıcaklığında ne kadar ışık gücüne sahip olduğu bilgisinin aydınlatma ürününün sayısal modeli oluşturulurken tanımlanması gerekmektedir. LED'in zamana bağlı sıcaklık değerini ölçmek için Şekil 3.6'da görülen çoklu kanal tarama özelliğine sahip GRAPHTEC GL800 DATA LOGGER cihazı ve K-tipi termokupl kullanılmıştır.

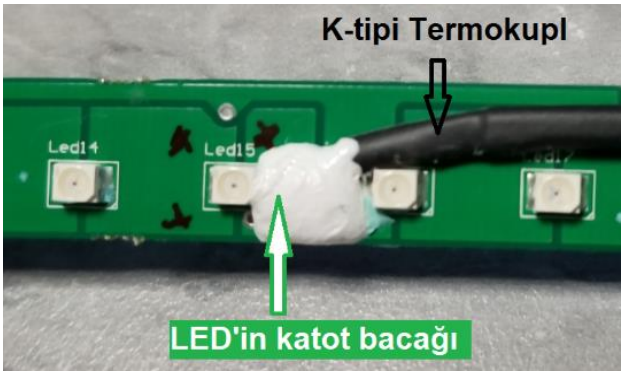
LED'in yongasındaki sıcaklığın zamana bağlı ölçümleri, 30 sn. aralıklarla 30 dk. boyunca PCB'nin merkezinde bulunan LED'in katot bacağına termal macun sürülerek sabitlenmiş K-tipi termokupl ile Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterildiği gibi yapılmıştır. LED'in yonga sıcaklığının doğru bulunması için termokupl LED'in katot bacağı üzerine termal macun ile konumlandırılmalı ve katot bacağı üzerinden sıcaklık ölçümü yapılmalıdır [41-43].



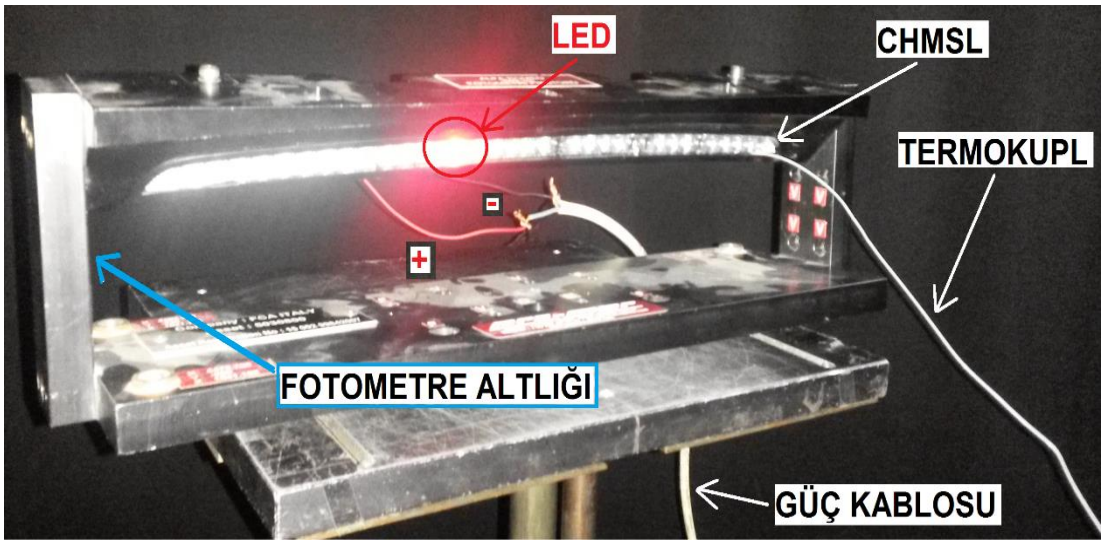
Şekil 3.5 : OSRAM TOPLED LA T67F'in yonga sıcaklığına karşılık ışık gücündeki değişim [41]



Şekil 3.6 : Zamana bağlı sıcaklık ölçümlerinde kullanılan GRAPHTEC GL800 DATA LOGGER cihazı



Şekil 3.7 : LED'in katot bacağına bağlanmış K-tipi termokupl



Şekil 3.8 : LED'in yonga sıcaklığının ve ışık şiddetinin ölçümü

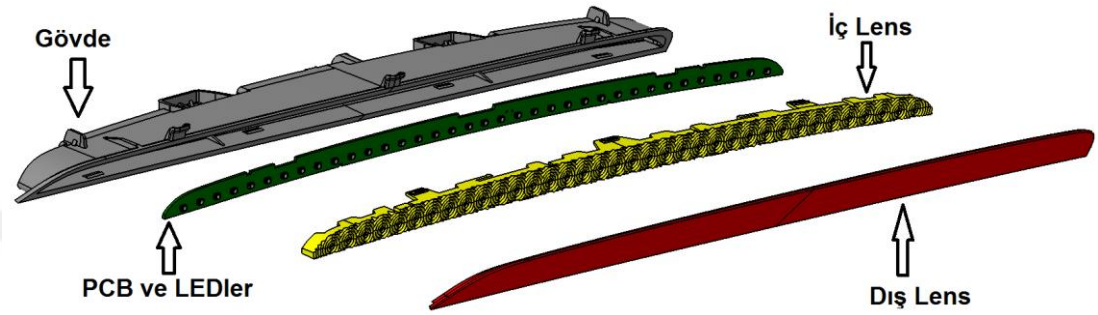
LED'in yonga sıcaklığının ölçümü sırasında, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi sıcaklık ölçümü yapılan LED dışındaki diğer LED'lerin üzerlerinden ışık çıkışı olmayacak şekilde önleri kapatılmıştır. Bu sayede hem LED'in yonga sıcaklığı hem de sıcaklığı ölçülen LED'in merkez noktasındaki ışık şiddeti ölçülebilir hale gelmiştir. Ölçümler oda sıcaklığında (25 °C) ve birebir araç konumunda olacak şekilde karanlık oda laboratuvarında fotometre altlığı kullanılarak ganyofotometre cihazı üzerinde yapılmıştır.

3.1.4 CHMSL numunesinin ganyofotometre cihazı ve fotosensörler kullanılarak fotometre ölçümlerinin yapılması

Bölüm 3.1.2'de anlatılan karakterizasyon çalışmasının ve simülasyon sonuçlarının doğruluğunu kanıtlamak adına CHMSL numunesinin fotometrik ölçümleri yapılmıştır.

Bu kısımda referans numune olarak belirlenen CHMSL'nin üretim aşamaları ve karanlık oda laboratuvarındaki fotometrik test süreçleri anlatılmıştır. Öncelikle CHMSL'nin yapısında bulunan komponentlerin hangi polimerler kullanılarak üretileceği belirlenmiş ve akıtma yöntemi ile üretimleri yapılmıştır. Daha sonra, kaynak hattında komponentlerin birbirine montajı yapılmıştır. Bu çalışmanın son aşaması olarak CHMSL numunesinin yasal gereklilikler doğrultusunda fotometrik ölçümleri yapılmıştır. Bu ürün, sırasıyla gövde, PCB, iç lens ve dış lens olarak dört ana komponentden oluşmaktadır. PCB üzerinde toplam 36 adet OSRAM TOPLED LA T67F kullanılmış ve her bir LED'in devre tasarımı 2,15 Voltluk gerilim ve 20 mA

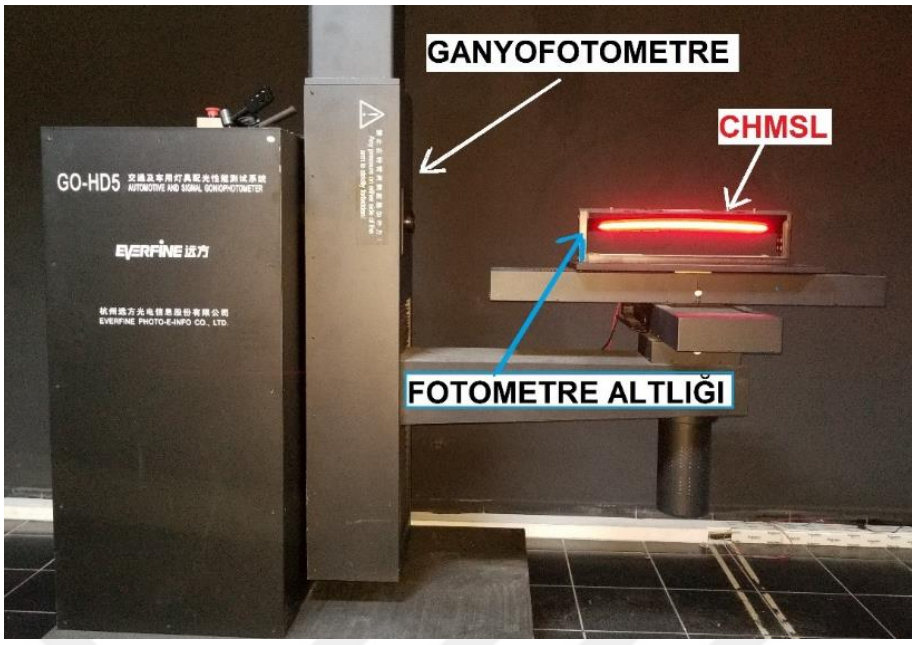
geçecek şekilde yapılmıştır. Bu LED'ler PCB üzerine 12 mm'lik eşit aralıklarda yerleştirilmiştir. İç lensin bir yüzeyi tamamen düz forma sahip iken diğer yüzeyinde gelen ışığı toplamak ve paralel hale getirmek amacıyla Fresnel prizmaları kullanılmıştır. Dış lensin dış yüzeyi araç formunu takip edecek şekilde prizmasız bir yapıya sahip iken iç yüzeyinde, iç lens tarafından toplanmış ve paralel hale getirilmiş olan ışığı yasal şartnamelerde belirtilen bölgeye yönlendirebilmek için Konveks prizmalar kullanılmıştır. İlgili ürünün patlatılmış görüntüsü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Referans olarak seçilen CHMSL'nin patlatılmış görüntüsü

UV-VIS-NIR ölçümlerini doğrulamak adına CHMSL numunesinin seri üretimi esnasında kullanılan hammaddeler yerine referans olarak belirlenen hammaddeler kullanılmıştır. İç lens malzemesi olarak, renk plakalarından karakterizasyonu yapılmış EVONIK Plexiglas 8N Clear ve dış lens malzemesi olarak da EVONIK Plexiglas 8N 33691 kullanılmıştır. İlgili ürün hali hazırda seri olarak üretildiği ve projenin başında MoldFlow çalışmaları yapıldığı için MoldFlow çalışmalarının tekrar yapılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Daha sonra, ilgili komponentlerin montajı vibrasyon kaynak yöntemi ile tamamlanmış ve fotometrik ölçüme hazır hale getirilmiştir.

Son olarak karanlık oda laboratuvarındaki fotometri test ölçümü aşamasına geçilmiş ve bu kapsamda FEKA Otomotiv karanlık oda laboratuvarında bulunan EVERFINE GO-HD5 Ganyofotometre cihazı kullanılmıştır. Bu ölçüm sırasında CHMSL numunesinin ganyofotometre cihazında araçtaki birebir konumunda ve açısında olması zorunludur. Bu koşulu sağlamak için CHMSL'nin takılacağı bölgedeki araç konumunda olacak şekilde fotometre altlığı üretilmiş ve CHMSL'nin bu altlığa montajı yapıldıktan sonra ganyofotometre cihazında ölçümleri Şekil 3.10'da gösterildiği gibi yapılmıştır. CHMSL numunesinin fotometrik ölçümleri Bölüm 2.2'de belirtilen ECE R48 [8] ve ECE R7 [9] yönetmeliklerine göre ve sabit 13,5 V ile beslenerek yapılmıştır.



Şekil 3.10 : CHMSL'nin ganyofotometre cihazına yerleştirilmesi ve ölçümü

3.2 Sayısal Modelleme ve Analiz Çalışmaları

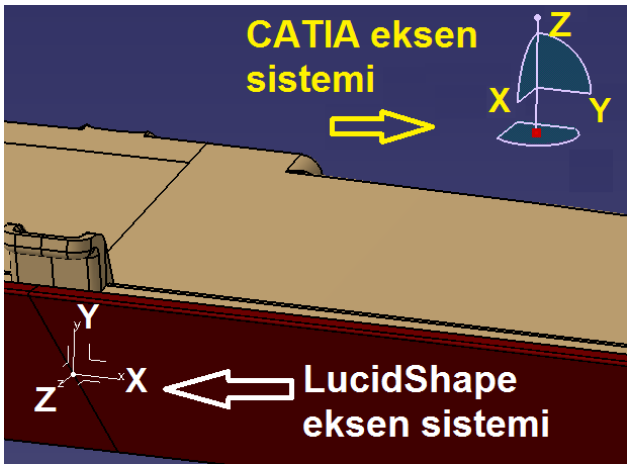
Endüstride gerçekleştirilen fotometrik testler genellikle fabrikanın üretim hattına yakın bölgede kurulmuş karanlık oda laboratuvarında ganyofotometre cihazı ve fotosensörler ile yapılmaktadır. Fabrika ortamında yapılan bu fotometrik testler, ürünlerin standartlarda belirtilen aydınlatma şartlarını sağladığının kontrol edilmesini kapsamaktadır. Fakat nihai ürün hedeflerine çoğu zaman iyileştirme çalışmalarından sonra ulaşılmaktadır. Fabrika ortamında gerçekleştirilen fotometrik testlerin yanında, optik tasarım ve analiz programları kullanılarak ürünlerin sayısal modellenmesi ile de bu sonuçlara ulaşılabilmektedir. Ürüne ait optik tasarım ve sayısal modellemeleri oluşturulduktan sonra standartlarda belirtilen kıstaslar göz önüne alınarak simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Sayısal modellemenin yüksek doğrulukta olması, fotometrik ölçümler esnasında doğru çıktıların elde edilmesini sağlamaktadır. Sayısal ortamda gerçekleştirilen analizlerde ve simülasyonlarda ürünün ışık istemlerini karşılayıp karşılayamadığı ve ışık kusurlarının olup olmadığı tespit edilebilmektedir. Bu sayede olası hataları önceden görerek önlem alınması kolaylaşmaktadır. Ayrıca her bir tasarım iyileştirmesinin ardından sayısal model güncellenerek analizlerin ve simülasyonların tekrar edilmesiyle optimum tasarım elde edilebilmektedir. Optik tasarım ve analiz programlarının kullanılmasıyla yeni bir ürün için ortaya çıkan test maliyetleri ve kontrol süreleri azaltılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, UV-VIS-NIR spektrofotometre ile elde edilen optik test sonuçları PMMA'nın sayısal modellemesinde kullanılmıştır. Bölüm 3.2'de, deneysel yaklaşım ile optik özellikleri belirlenen renkli polimer malzemeler ve farklı renklerde ışık saçılımında bulunan LED'ler için LucidShape optik tasarım ve analiz programı içerisinde kütüphanelerin oluşturulması açıklanmıştır. Daha sonra, referans olarak seçilen CHMSL numunesinin sayısal modelinin oluşturulma yöntemi açıklanmıştır. Bu çalışmanın ileride yapılacak optik analizler ve simülasyon çalışmaları için temel oluşturacağı düşünülmektedir.

3.2.1 Optik tasarım ve analiz programının çalışma yöntembilimi

LucidShape programı kullanılarak yapılacak olan optik analizler ve simülasyonlar altı temel aşamaya dayanmaktadır Bu aşamalar şöyle açıklanabilir:

- İlk olarak CAD verilerinin CATIA programından LucidShape programına araç konumunu ve pozisyonunu koruyacak şekilde transferinin yapılması gerekir. Burada, CATIA programı için (x,y,z) olan eksen sisteminin LucidShape için (z,x,y) olarak değişmesine, analizi yapılacak ürünün aydınlatma merkezine Şekil 3.11'de gösterildiği gibi referans eksen sisteminin eklenmesine ve her veri transferi esnasında bu eksenin seçilmesine (ki ürün uzay sisteminin merkezine ve aynı yere yerleşsin) dikkat edilmelidir.

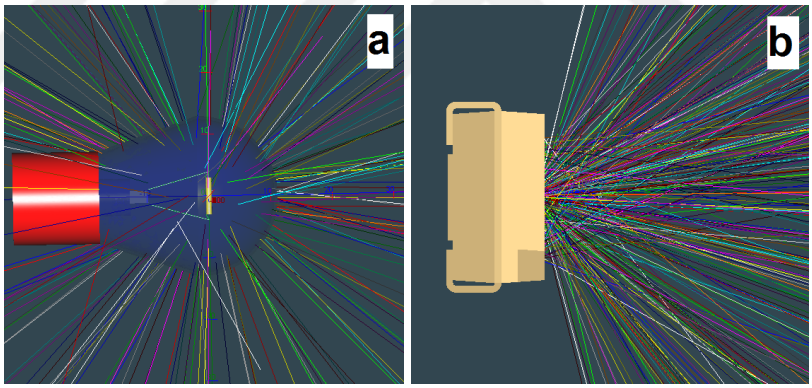


Şekil 3.11 : CATIA ile LucidShape arasındaki akses farklılığı

- Bir sonraki aşama ise transferi yapılan CAD komponentlerin optik özelliklerini belirlemek ve bu özelliklerin ilgili komponentler için tanımlanmasıdır. Bu anlamda bir malzeme, ya üzerine düşen ışığı tamamen emer, ya kırarak kısmi olarak diğer ortama geçirir ya da kısmi olarak ışığı geri yansıtır. Yani optik

komponentler ışığı ya emen ya geçiren ya da yansıtan (Absorber, Refractor, Reflector) malzemedir. İlgili komponentlerin hangi malzeme grubunda olduğu belirlendikten sonra detaylı bir şekilde malzeme özelliklerinin tanımlanması gerekir.

- Diğer bir önemli husus, ilgili aydınlatma sisteminde kullanılacak olan ışık kaynaklarının sayısının ve türünün belirlenmesidir. LucidShape programı içerisinde tüm filament ampul çeşitleri bulunmakla birlikte yeni bir filament ampul tasarımının yapılması da mümkündür. Fakat program içerisinde herhangi bir LED ışık kaynağı tanımlı değildir. Bunun sebebi her LED üreticisinin ürünlerinin birbirinden farklı özellikler göstermesidir. İlgili ışık kaynaklarının sayısı ve türünün belirlenmesinden sonra sayısal modellerinin oluşturulması aşamasına geçilir. Şekil 3.12'de örnek filament ampul ile LED ışık çıkışları görülmektedir. Eğer sistemde LED ışık kaynağı var ise dikkat edilmesi gereken en önemli husus ilgili LED'in ışık çıkış açısı ile spektrum bilgilerinin doğru tanımlanması gerekliliğidir.

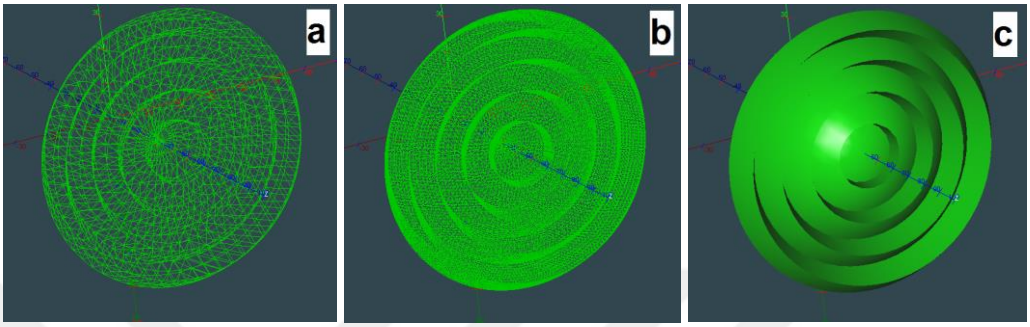


Şekil 3.12 : (a) Filament ampul ile (b) LED'in ışık çıkış açıları

- Bir sonraki önemli esas ise, analiz işlemlerden hangi sonuçların alınacağının seçilmesidir. Burada istenen olan sonuca göre sensör tipi değişmektedir. LucidShape içerisinde toplamda sekiz farklı sensör (Candela, Ray File, Ray History, Volume, Luminance Forward, Luminance Backward, Licence Plate, Lux) bulunmaktadır. Her bir sensörden elde edilen sonuçların ve değerlerin farklı olması yapılan analiz ve simülasyonların ne kadar hassas ve doğru yapılması gerektiğini işaret etmektedir.

- Önemli diğer bir nokta komponentlerin modellemesinde kullanılacak olan örgü yapısının (mesh yapının) hassasiyet oranının belirlenmesidir. Yüzey örgü

yapısında bulunan örgü eleman sayısının arttırılması ile örgü elemanlarının boyutu küçülterek gerçeğe daha yakın yüzeyler elde edilmektedir. Fakat örgü elemanlarındaki artış simülasyon süresini uzatmakta ve programın çözümleme yapmasını da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle gereken örgü elemanlarının hesaplanması için uygun parametrelerin seçilmesi gerekir. Örgü elemanının boyu değiştikçe ilgili yüzeyin nasıl etkilendiği Şekil 3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.13 : Maksimum örgü eleman uzunluğunun LucidShape programında karşılaştırılması: (a) 1mm (b) 0.1mm (c) 0.01mm

- Doğru bir sayısal modellemenin oluşabilmesi için gerekli olan en son adım, analiz ve simülasyonlarda kullanılacak ışık sayısının belirlenmesidir. Işık sayısının belirlenmesi sırasında analizde kullanılacak olan ışıkların hangi dalga boylarında çalışacağı ve işlemin kaç adımda sonlandırılacağı bilgileri de programa girilmelidir. Simülasyonda kullanılacak olan ışık sayısının artması sonuçların doğruluğunu her zaman olumlu yönde etkilemektedir. Fakat bu yöntemde işlem süresi önemli oranda artmaktadır. Bu nedenle analizlerin bir adımda değil birkaç adımda yapılması ve her adımda ışık sayısı arttırılması daha doğrudur. Bu parametrelerin doğru girilmesi günlerce simülasyon sonucunun beklenmesini önleyebilir.

3.2.2 Ölçümü yapılan plakaların optik özelliklerinin programa tanımlanması

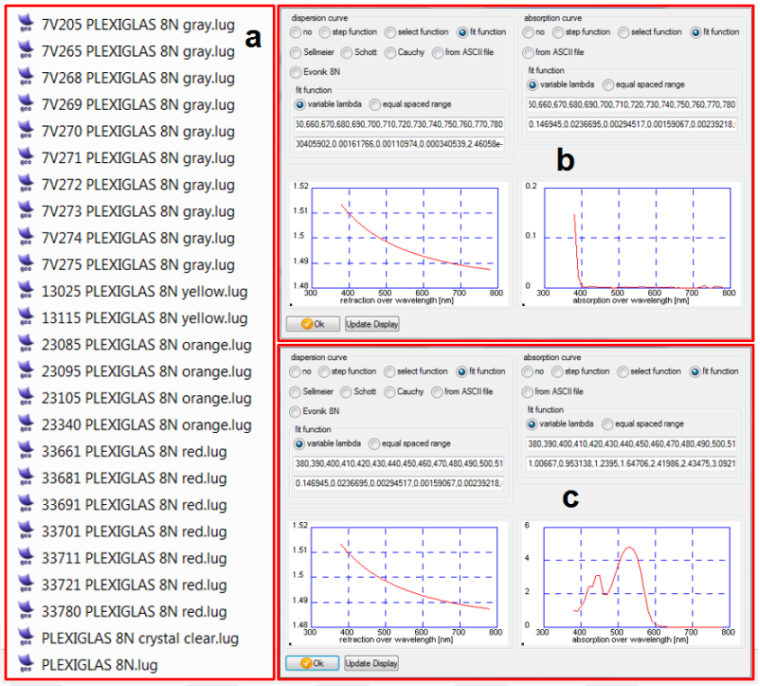
LucidShape programına bir malzemenin tanımlanması için öncelikle dalga boyuna karşılık kırıcılık indisi değerinin ve aynı şekilde dalga boyuna karşılık emme katsayısı değerinin girilmesi gereklidir. Bu bilgiler LucidShape programında kullanılacak olan bir komponentin hammadde özelliklerinin tanımlanması için yeterlidir. Fakat bu bilgilere ek olarak, ilgili komponentin yüzey pürüzlülük bilgilerinin de girilmesi çıkan sonuçların doğruluğunu arttıracaktır.

Görünür bölgedeki kırıcılık indisinin malzemenin farklı renklerde üretilmiş olmasından etkilenmemesi nedeniyle dalga boyuna karşılık kırıcılık indisi dağılımı literatürden alınarak kullanılmıştır [6]. Dalga boyuna karşılık gelen emme katsayı (α) değerlerinin LucidShape programına girilebilmesi için öncelikle malzemenin daha önceden belirlenmiş dalga boyu aralığındaki ışık geçirgenliklerinin (I) ölçülmesi ve daha sonra bu değerlerin eşitlik 3.2 ile dönüşümünün yapılması gereklidir. Eşitlik 3.2'deki Fresnel faktörünün (τ) nasıl hesaplanacağı (ışık kaynağından çıkan ışığın şiddeti (I_0) değeri 100 olarak alınarak) Bölüm 2'de detaylı olarak açıklanmıştır. Program içerisinde oluşturulmuş olan malzeme listesi ve referans olarak seçilmiş Plexiglas 8N Clear ve 33691 numunelerinin tanımlanmış hali Şekil 3.14'de görülmektedir.

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln\left(\frac{I_0}{\tau I}\right) \tag{3.2}$$

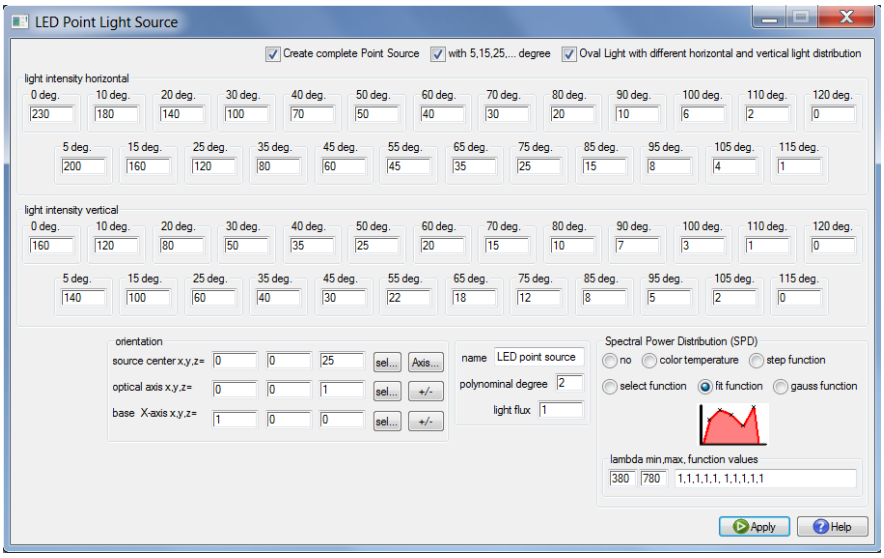
3.2.3 Işık kaynağı özelliklerinin optik programa tanımlanması

Bu çalışma için önemli diğer bir parametre ışık kaynağının seçimidir. Deneysel çalışmaları yapılan ve analiz programına değerleri girilen renk plakalarının simülasyon boyunca etkileşime gireceği ışık kaynağının tanımlanması alınacak simülasyon sonuçları çok ciddi oranda etkilemektedir. Önemli hususlardan bir diğeri de ışık kaynağının kütüphaneden seçilmesi ya da yeniden oluşturulmasıdır. Kütüphaneden seçilen bir ışık kaynağı için hiçbir ek bilgiye ihtiyaç duyulmamakta ve tüm bilgiler ön tanımlı olarak gelmektedir. Işık kaynağı olarak LED seçilirse LED'in LucidShape programında sayısal olarak baştan modellenmesi gerekmektedir. LED'lerin özellikleri üretici firmaya göre değişmektedir. Hatta aynı firmada üretilmiş ve görsel olarak farklılık olmamasına rağmen çıkan ışığın saçılımları ve spektrumu farklılık gösterebilmektedir. Bu aşamada, LED'in sayısal modelinin oluşturulabilmesi için iki farklı yöntem vardır; bunlardan ilki üretici firma tarafından paylaşılan ışık verisi (rayFile) ve spektrum dosyalarının sisteme tanıtılmasıdır. Bu şekilde yapılan modelleme en doğru yöntem olmakla birlikte ışık verisinde bulunan ışık sayısı dosya boyutunun düşük olması için en fazla 5 milyon ile sınırlı kalmaktadır. Bu değer verimli bir analiz için yeterli olmadığından ışık kaynağının sayısal modelinin yeniden oluşturulması gereklidir.



Şekil 3.14 : Optik program içerisinde tanımlanmış (a) malzeme listesi (b) Plexiglas 8N Clear özellikleri (c) Plexiglas 8N 33691 özellikleri

LED'in sayısal modelini oluşturmanın diğer bir yolu da LED'in ürün tanıtım dokümanlarında bulunan çıkış açısı, güç, 30 dk. sonraki % ısıl kayıp miktarı, dalga boyu dağılımı, ürün boyutu, varsa LED önünde bulunan lens tipi ve davranışı vb. bilgilerin programa girilmesidir. Şekil 3.15'de LED'in sayısal modelinin oluşturulması sırsındaki parametre sayfası görülmektedir. LED'in sayısal modelinin oluşturulmasında yapılacak küçük bir hata alınan sonuçları büyük ölçüde değiştirmektedir.



Şekil 3.15 : LED'in LucidShape programında sayısal olarak modellenebilmesi için gerekli parametrelerin ekran görüntüsü

3.2.4 CHMSL numunesinin optik program içerisinde modellenmesi

Referans numune olarak seçilen CHMSL aydınlatma ürününden elde edilecek sonuçlar yapılan çalışmaların doğruluk derecesini belirleyeceğinden, dört farklı kurgu belirlenerek ulaşılmak istenen hedefin her bir kurgudan nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, dört farklı kurgu yapılmasının diğer bir nedeni de referans CHMSL ürünü kullanılarak, karanlık oda laboratuvarında yapılan fotometri testlerinden elde edilen sonuçlara en yakın değerlerin hangi kurgu sonucunda elde edilebileceğini belirlemektir. Kurgular arasında farklılıklar oluşması durumunda yapılan bu çalışma anlam kazanmış olacaktır. Her bir kurgu için analiz ve simülasyon çalışmaları ayrı ayrı Çizelge 3.2'de gösterilen parametrelere göre yapılmıştır. Yapılan kurgu çalışmalarında, Bölüm 3'de açıklanan renkli polimer plakaların deneysel çalışmaları sonucunda elde edilen bilgiler kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 : Kurguların karşılaştırılması.

Parametreler	Kurgu 1	Kurgu 2	Kurgu 3	Kurgu 4
Gövde Malzemesi (ışığı %100 emen)	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
İç Lens Malzemesi (Plexiglas 8N Clear)	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
Dış Lens Malzemesi	**PMMA**	**PMMA**	**Plexiglas 8N 33691**	**Plexiglas 8N 33691**
Her bir LED'in gücü (1.1 lümen)	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
LED'in Rengi veya Sıcaklığı	**3200 K**	**Amber**	**3200 K**	**Amber**
Kullanılan Sensör Tipleri ve Parametreleri	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
Kullanılan Toplam Işık Sayısı (180 Milyon)	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
Işığın Yüzeylerle Etkileşim Sayısı (64)	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı
Kullanılan Örgü Elemanı Sayısı	Aynı	Aynı	Aynı	Aynı

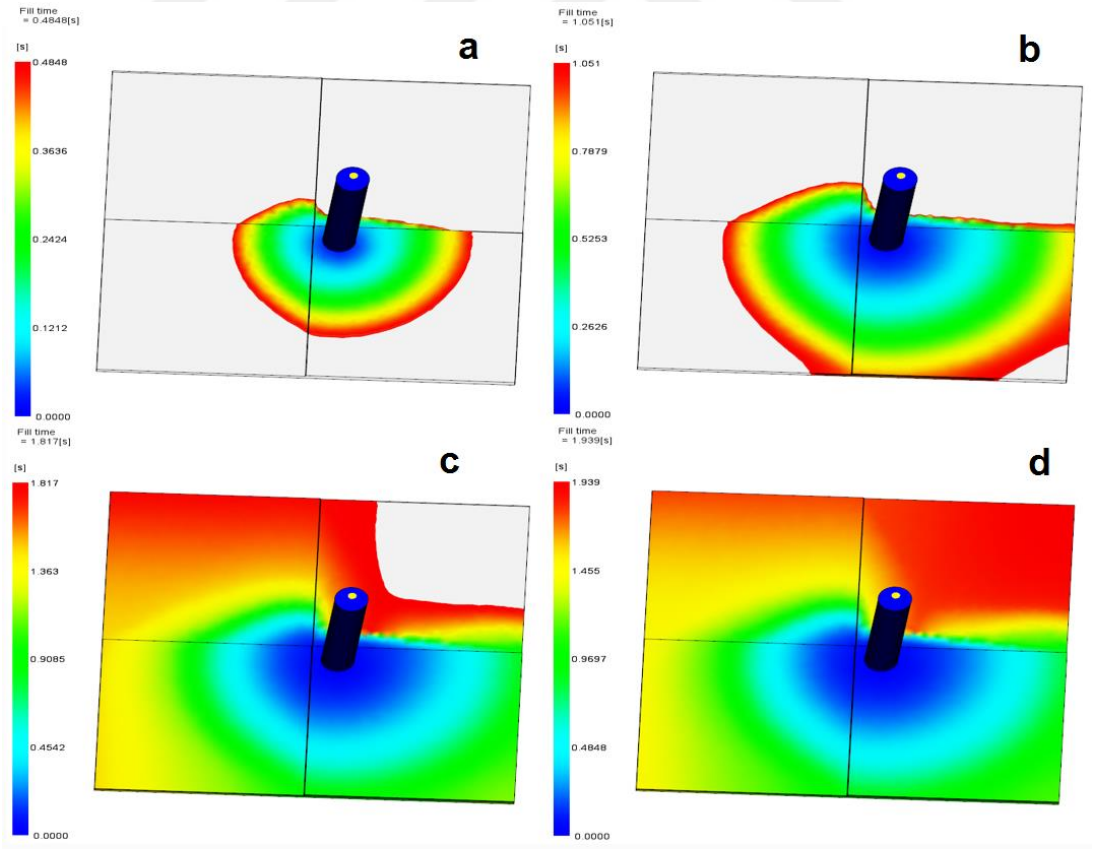
Çizelge 3.2'de de görüldüğü üzere kurgular belirlenirken sadece iki parametre değişken seçilmiş ve diğer tüm parametreler tüm kurgular için sabit tutulmuştur. CHMSL'nin gövde malzemesi olarak üzerine düşen ışığın tamamını emen (absorber) olarak tanımlanmıştır. Tüm kurgularda iç lens malzemesi olarak, renk plakalarından deneysel ölçümü yapılmış Plexiglas 8N Clear kullanılmıştır. PCB üzerinde toplamda 36 adet OSRAM TOPLED LA T67F kullanılmış, her bir LED için OSRAM

firması tarafından paylaşılan 5 milyonluk ışık verisi kullanılmıştır ve her bir ışığın yüzeylerle en fazla 64 kez etkileşimine izin verilmiştir. Sayısal modellerde Candela, Luminance Forward ve Lux sensörleri kullanılmıştır. Bu sayede her bir kurguda açığa çıkan ışığın dağılımı, rengi ve sanal gerçeklik görüntülerinin alınması sağlanmıştır. Sayısal modellemede kullanılan örgü yapısı ve örgü elaman sayıları sabit tutulmuştur. Burada dış lens malzemesi olarak iki farklı ürün bulunmaktadır. PMMA olarak adlandırılan birinci ürün LucidShape içerisinde tanımlıdır ve sadece kırıcılık indisi bilgisi bulunmaktadır. Dalga boyuna karşılık emme katsayısı bulunmadığı için Çizelge 3.1'de bulunan ve Plexiglas 8N 33691'e karşılık gelen geçirgenlik yüzdesi (%25,6) eşitlik 4.1'de yerine yazılarak emme katsayı değeri (0,427) elde edilmiş ve LucidShape programına bu değer girilerek kurgu 1 ve 2 için analizler yapılmıştır. Kurgu 3 ve 4'de dış lens malzemesi olarak, renk plakalarından test ölçümleri yapılmış Plexiglas 8N 33691 değerleri atanmış ve buna göre analizler gerçekleştirilmiştir. Tüm kurgularda LED ışık kaynağı kullanılmıştır fakat kurgu 1 ve 3'de LED'in spektrum bilgisi olarak 3200 Kelvin sıcaklığındaki siyah cisim saçılması eşitliğinden elde edilen değerler girilmiştir. Kurgu 2 ve 4'de ise direk OSRAM firması tarafından paylaşılan amber renge ait spektrum değerleri girilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

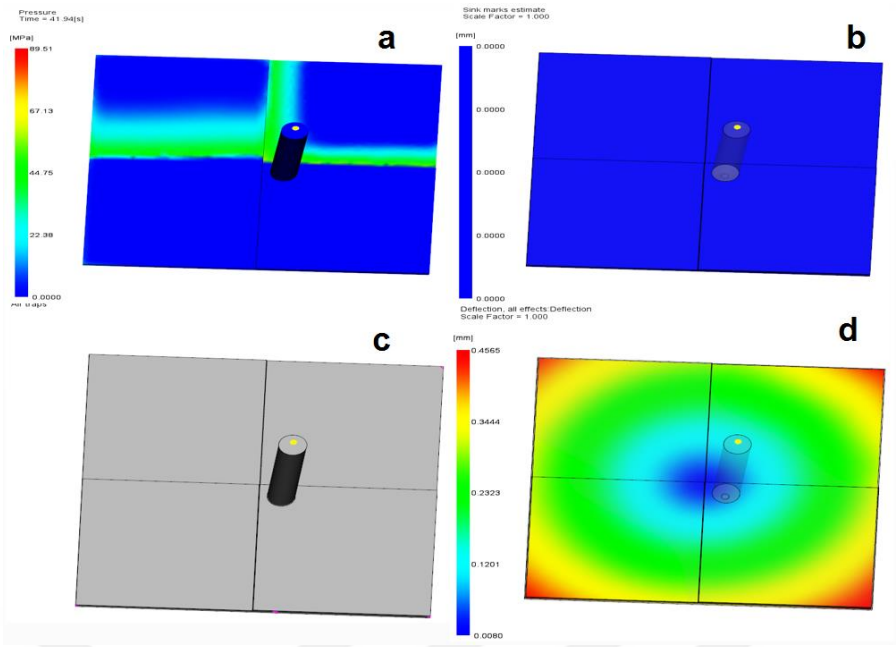
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1 Deneysel Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Renk plakalarının enjeksiyon yöntemi ile hatasız bir şekilde üretilebilmesi için neden MoldFlow analizlerine ihtiyaç duyulduğu Bölüm 3.1.1'de açıklanmıştır. MoldFlow analizlerinde renk plakalarının %25, %50, %75 ve %100 dolum profilleri esnasında alınan ekran görüntüleri Şekil 4.1'de görülmektedir. Bunlara ek olarak enjeksiyon basıncı, sink mark oluşma riski, hava tutma riski ve çarpılma riskine ait sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Ayrıca simülasyon sonrası elde edilen enjeksiyon parametreleri Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Simülasyon işleminin çıktısı olan enjeksiyon parametreleri daha sonra enjeksiyon cihazlarından plaka üretimi için kullanılarak Şekil 4.3'de gösterilen örnek renk plakalarının üretimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 : MoldFlow simülasyonunda renk plakasının dolum profili esnasındaki % dolum sonuçları: (a) %25 (b) %50 (c) %75 (d) %100



Şekil 4.2 : MoldFlow simülasyon sonuçları: (a) enjeksiyon basıncı (b) sink mark oluşma riski (c) hava tutma riski (d) çarpılma risk



Şekil 4.3 : Enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş renk plaka örnekleri

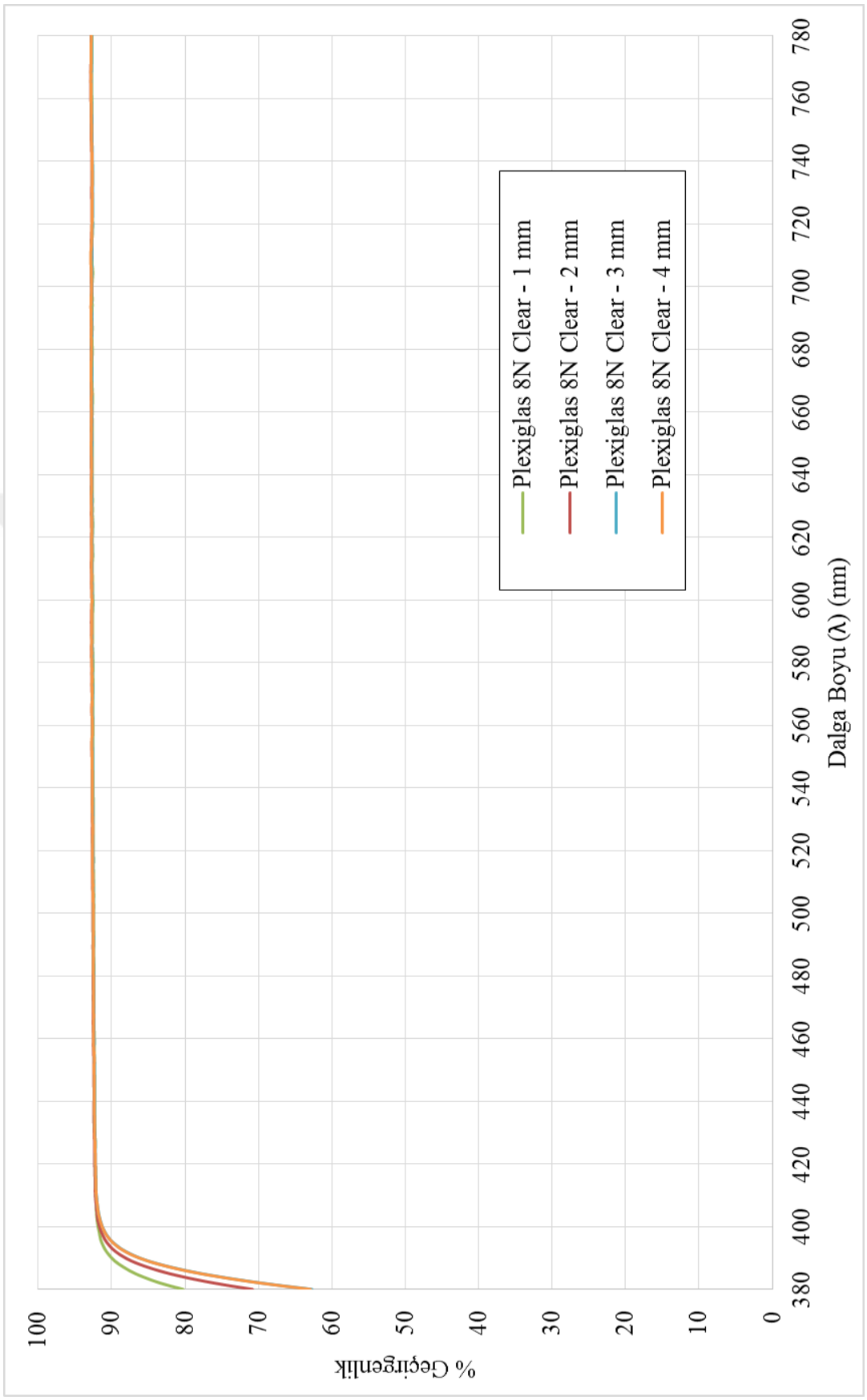
Çizelge 4.1 : MoldFlow enjeksiyon parametreleri

Parametre	Değer	Sonuç
Erime Sıcaklığı	235 °C	UYGUN
Sabit Kalıp Sıcaklığı	75 °c	UYGUN
Hareketli Kalıp Sıcaklığı	75 °c	UYGUN
Enjeksiyon Basıncı	90 MPa	UYGUN
Enjeksiyon Süresi	2 sn.	UYGUN
Soğuma Süresi	10 sn.	UYGUN
Sink Mark Riski	-	UYGUN
Hava Tutma Riski	-	UYGUN
Çarpılma Riski	-	UYGUN
Atıklık Riski	-	UYGUN

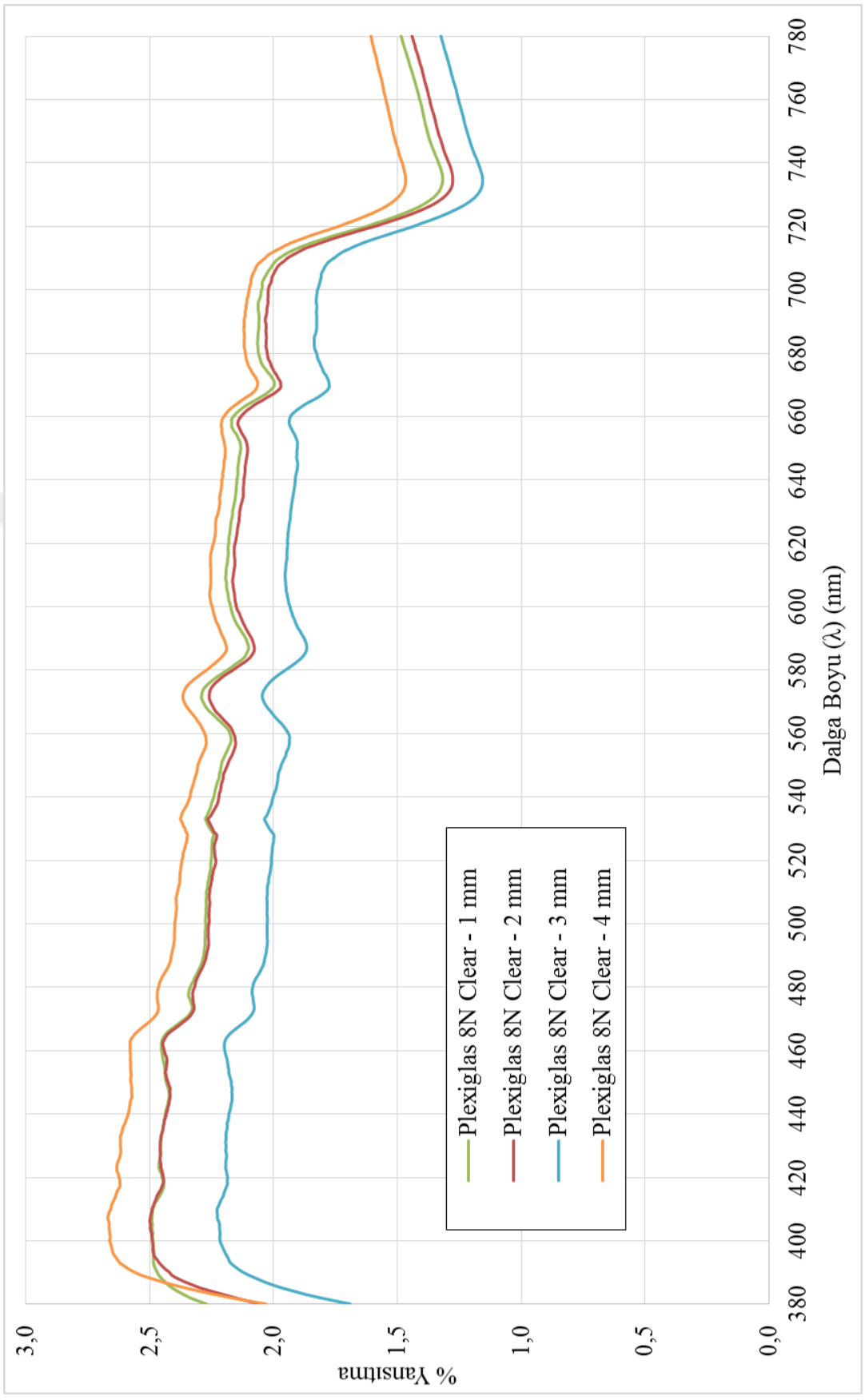
Enjeksiyon dolum işleminin plakanın her yüzeyinde tam ve eksiksiz olabilmesi için Şekil 4.1'de gösterildiği gibi parçanın ortasından beslenmiştir. Dolum işlemi resimlerde de görüldüğü üzere ilk olarak kalın bölgelerde yürümeye başlamış ve son olarak ince bölgeleri doldurmaktadır. Ayrıca Şekil 4.2'de belirtilen enjeksiyon basıncı, sink mark oluşma riski, hava tutma riski ve çarpılma riskine ait sonuçlar incelendiğinde bu değerlerin uygun sınırlar arasında olduğu elde edilmiştir. Özellikle plakanın besleme bölgesinin tayini, simülasyon sonrası elde edilecek değerleri ciddi oranlarda etkilemektedir. Daha önceki deneyimlerden yola çıkılarak en uygun enjeksiyon besleme noktasının, parçanın tam orta noktalarında olması gerektiği bir kez daha simülasyon sonuçları ile doğrulanmış oldu.

Enjeksiyon üretimi sonucunda elde edilen numuneler incelendiğinde, gözle görülür herhangi bir sorun görülmemiştir ve testleri yapılacak plakaların parçalanmadan önceki ağırlıkları ölçülmüştür ve eksik enjeksiyon problemiyle karşılaşılmamıştır. Tüm plakaların ağırlıkları tartıldığında 25 ±1 gr aralıklarındadır. Ayrıca numuneler üzerinde kalıp izlerine de rastlanmamıştır.

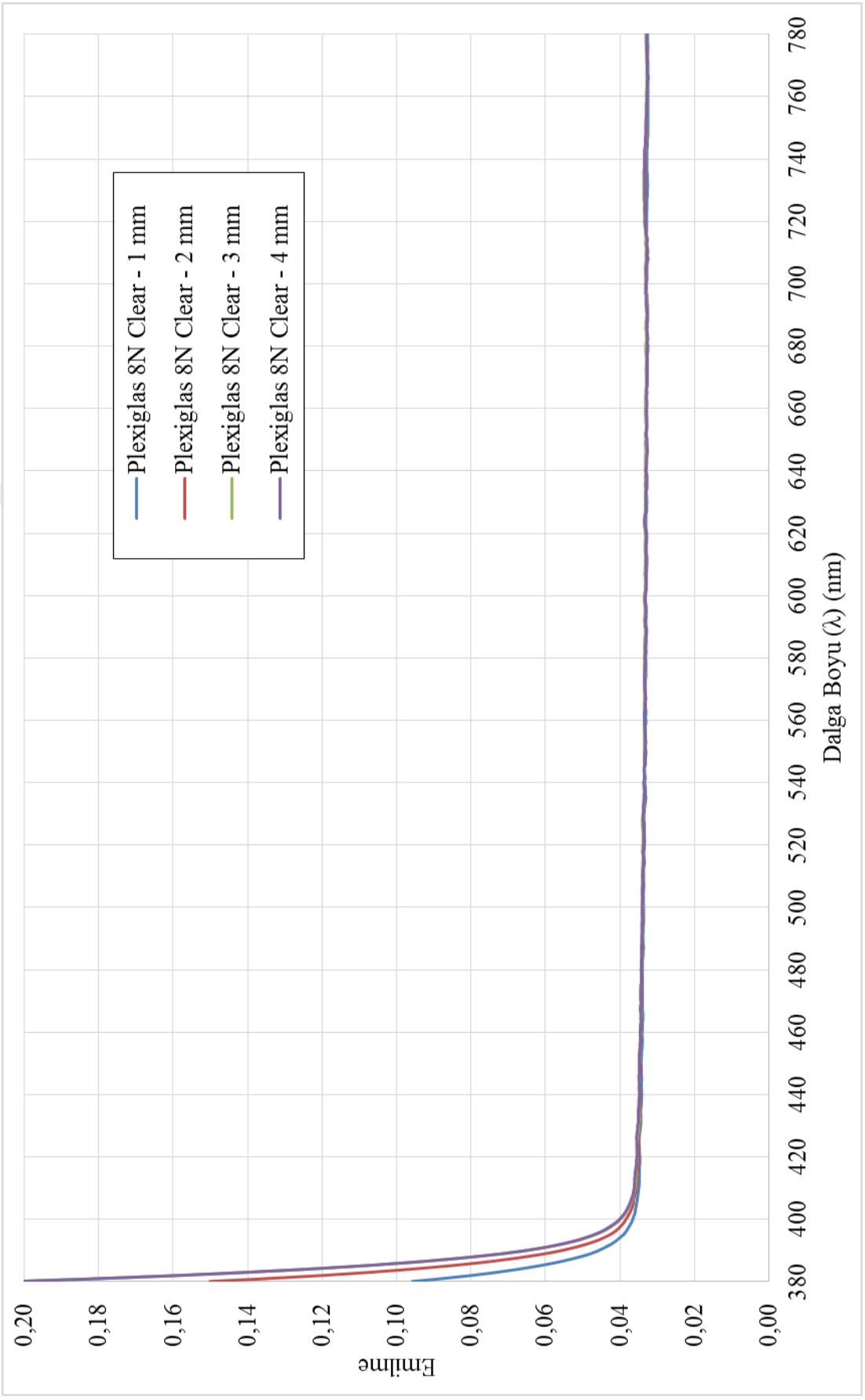
Enjeksiyon üretimi sonrasında elde edilen uygun numuneler dört eşit parçaya bölünerek UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazında ölçümlere hazır hale getirilmiştir. EVONIK Plexiglas 8N Clear renk plakalarının % ışık geçirgenliği, % ışık yansıtma ve ışık emilimi sonuçları sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Daha sonra, EVONIK Plexiglas 8N Clear renk plakalarının karakterizasyonundan elde edilen sonuçlar kullanılarak formülasyon doğrulama çalışmaları yürütülmüştür. Ayrıca, benzer çalışmalar EVONIK Plexiglas 8N 33691 renk plakası için de yapılmış ve % ışık geçirgenliği, % ışık yansıtması ve ışık emilimi sonuçları sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Clear ve 33691 test sonuçları üzerinden yapılan matematiksel modelleme sonuçlarından sadece % ışık geçirgenlik değerlerinin ölçülmesinin yeterli olduğu anlaşılmıştır ve geri kalan renk plakalarından sadece 3 mm (otomotiv aydınlatmada kullanılan lenslerin ortalama kalınlığı) kalınlıklarındaki plakaların % ışık geçirgenlikleri ölçülmüştür. Kırmızı, amber-sarı ve gri renkli plakaların ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir.



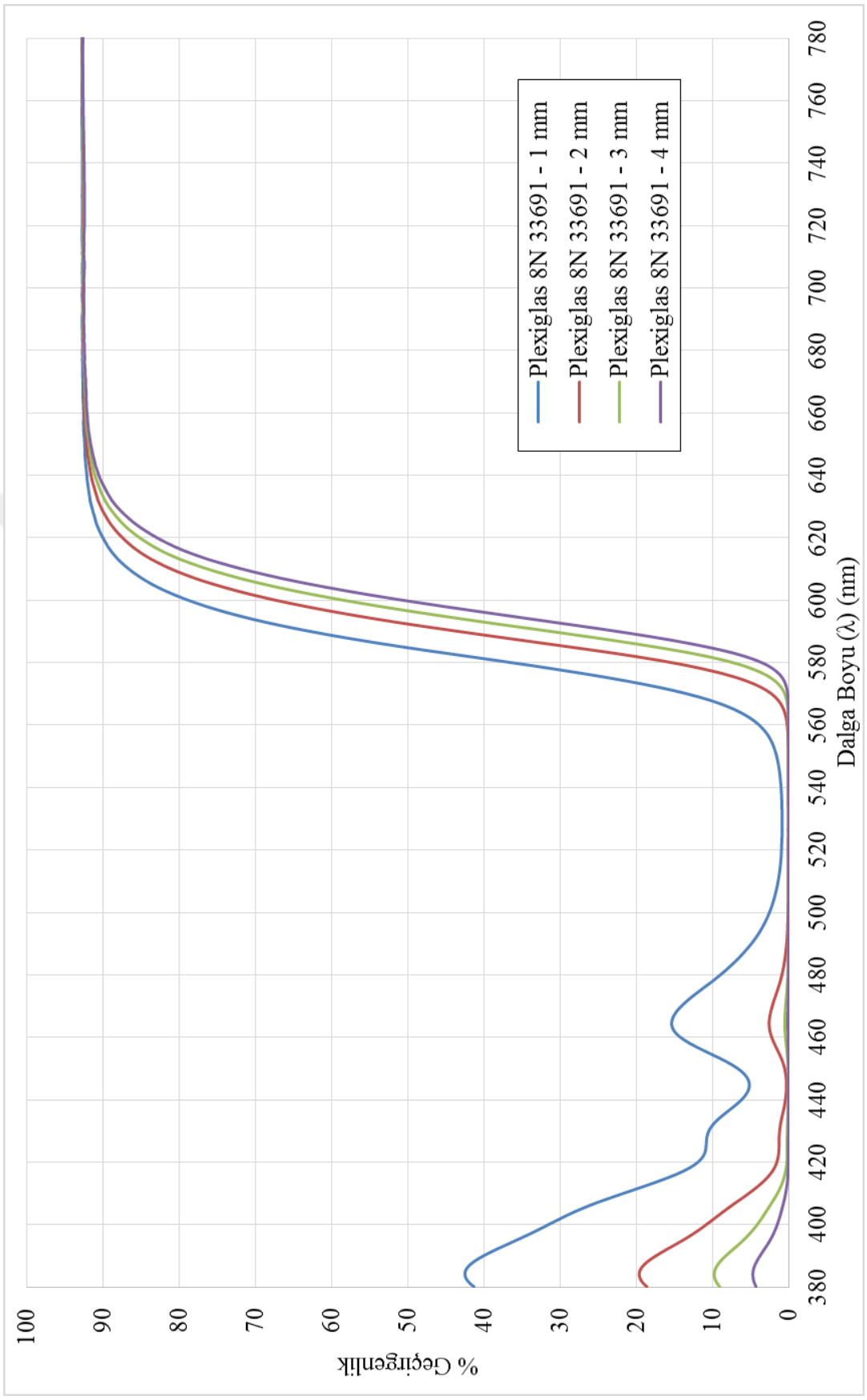
Şekil 4.4 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları



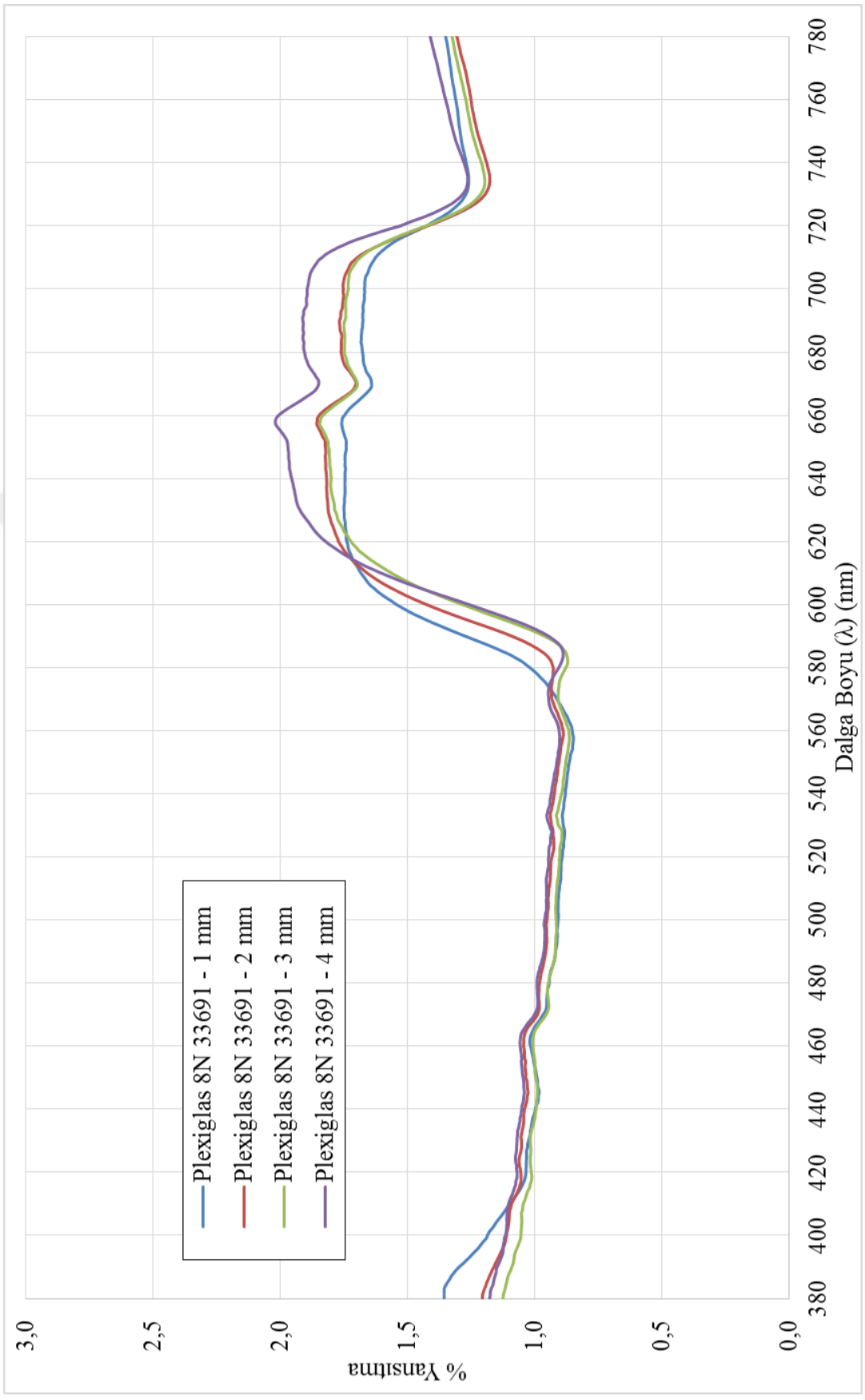
Şekil 4.5 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın % ışık yansıtma ölçüm sonuçları



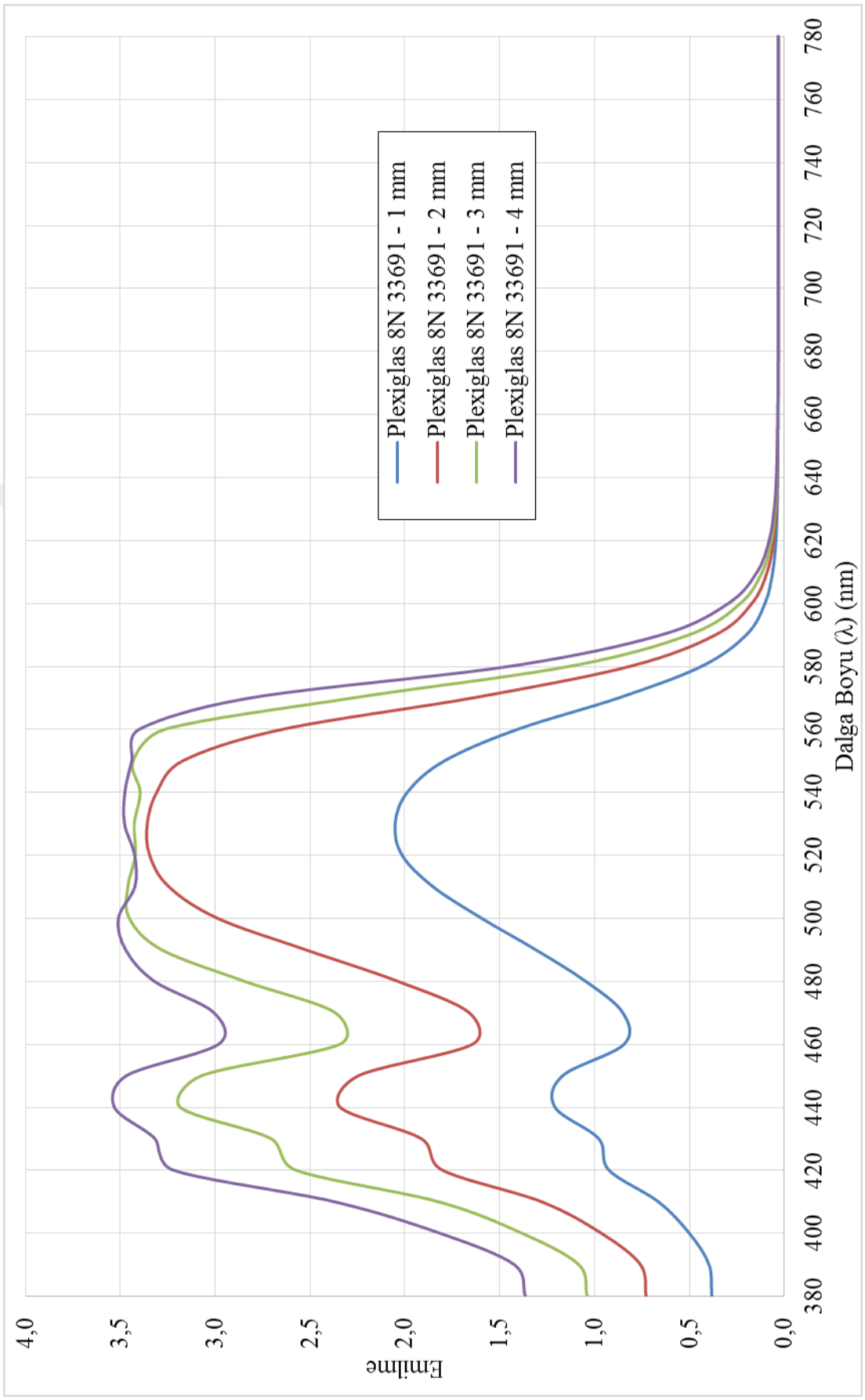
Şekil 4.6 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N Clear'ın ışık emilim ölçüm sonuçları



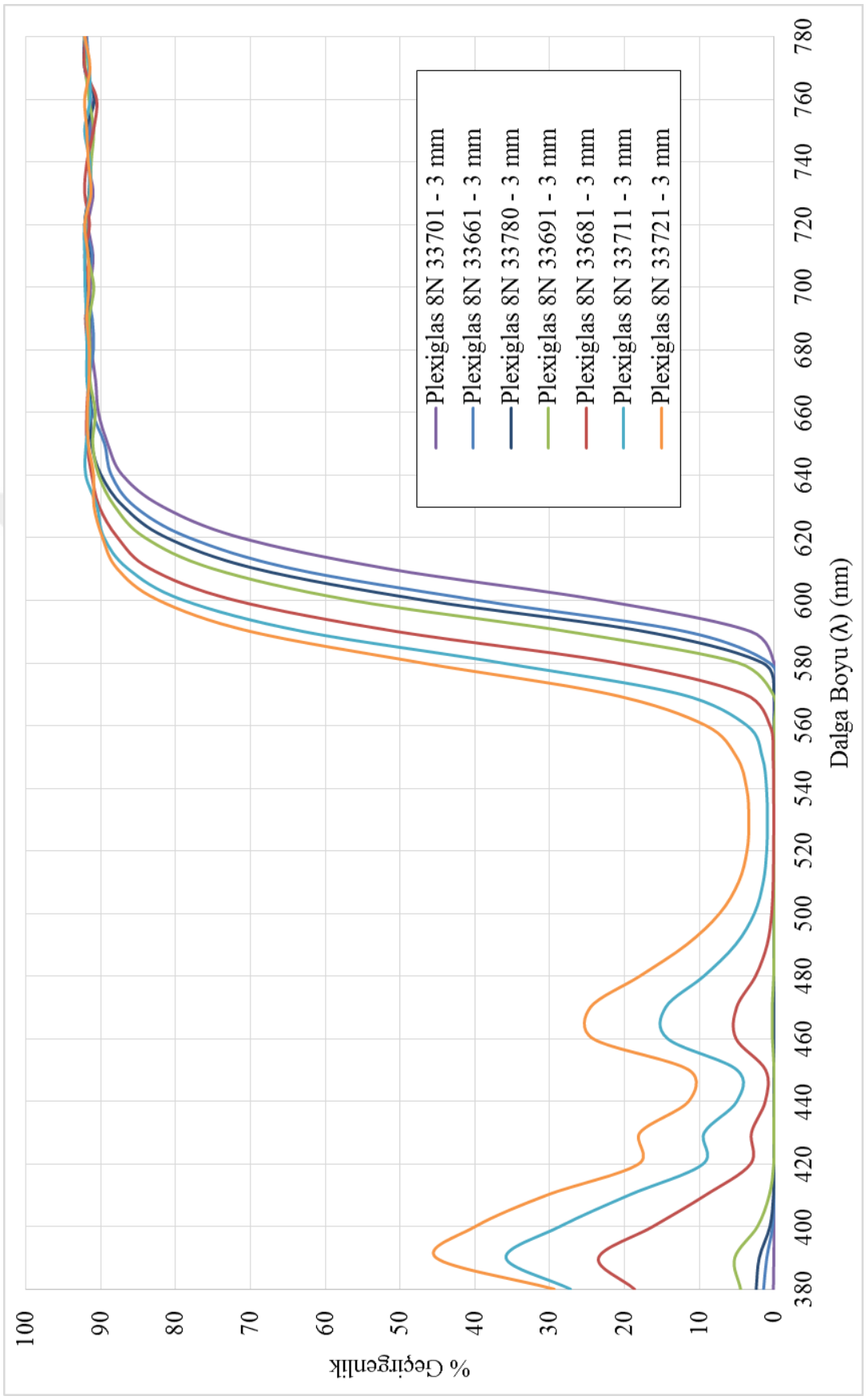
Şekil 4.7 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları



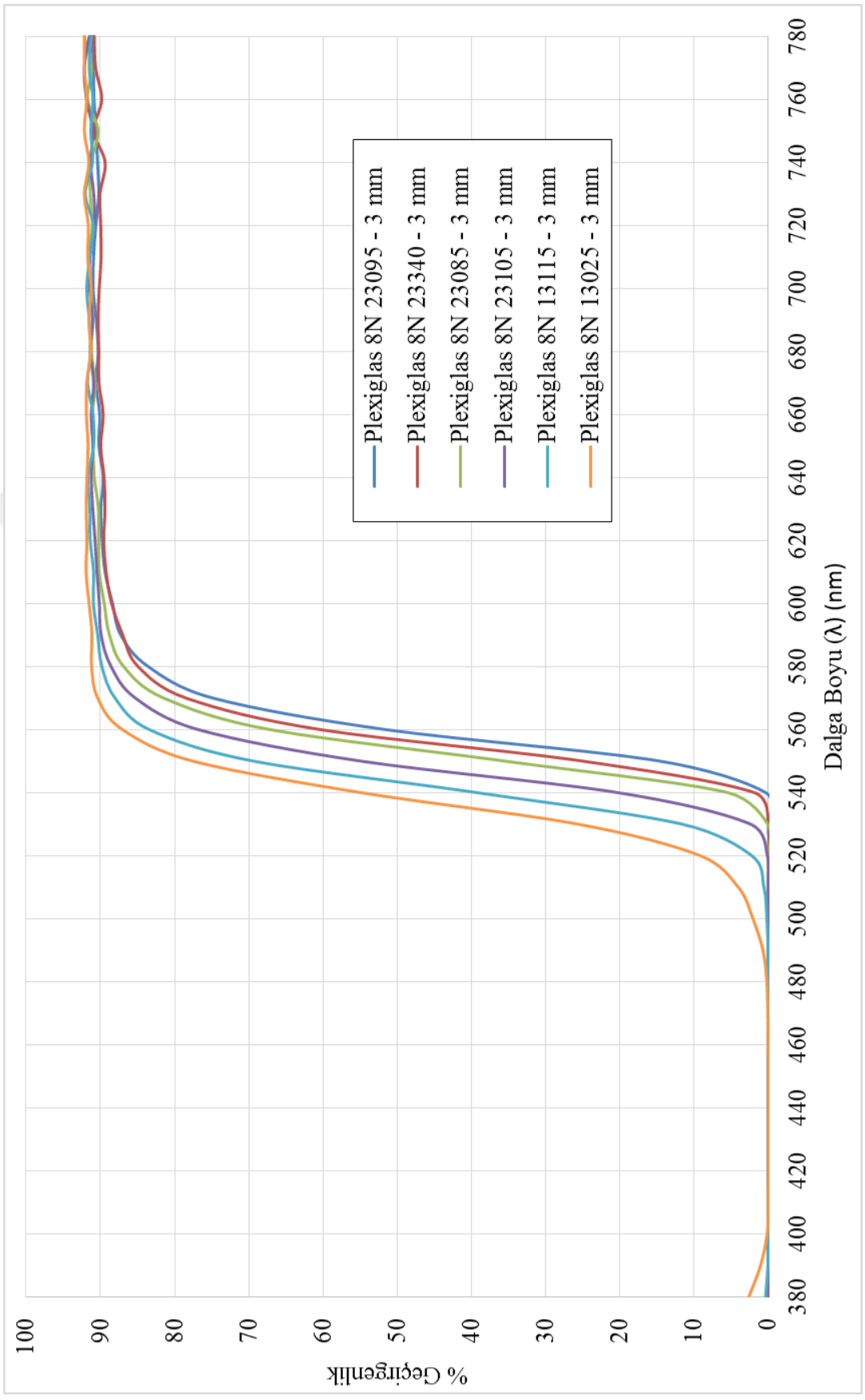
Şekil 4.8 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in % ışık yansıtma ölçüm sonuçları



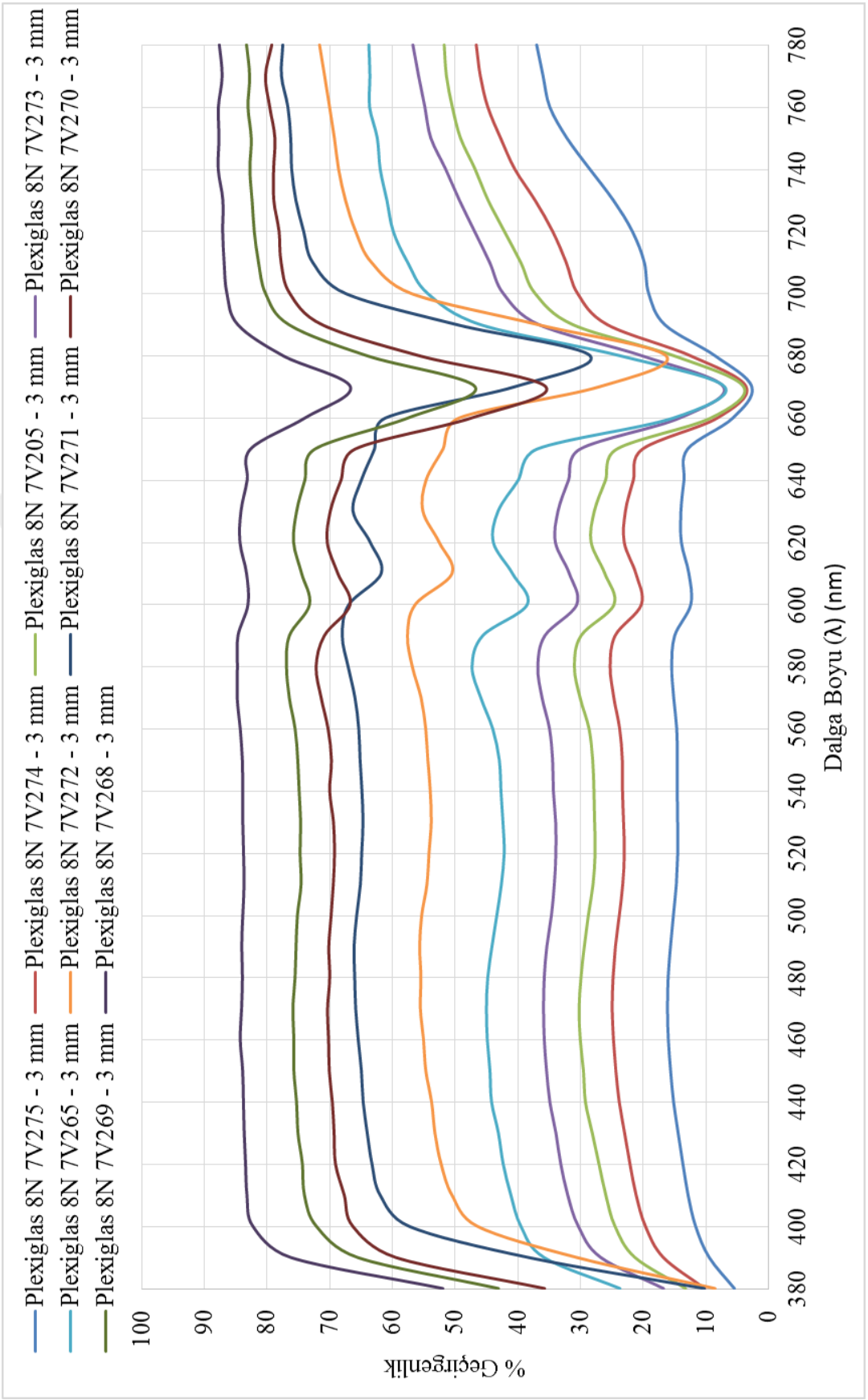
Şekil 4.9 : Farklı kalınlıklardaki Plexiglas 8N 33691'in ışık emilim ölçüm sonuçları



Şekil 4.10 : 3 mm kalınlığındaki kırmızı renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları



Şekil 4.11 : 3 mm kalınlığındaki sarı ve amber renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları



Şekil 4.12 : 3 mm kalınlığındaki gri renkteki plakaların % ışık geçirgenliği ölçüm sonuçları

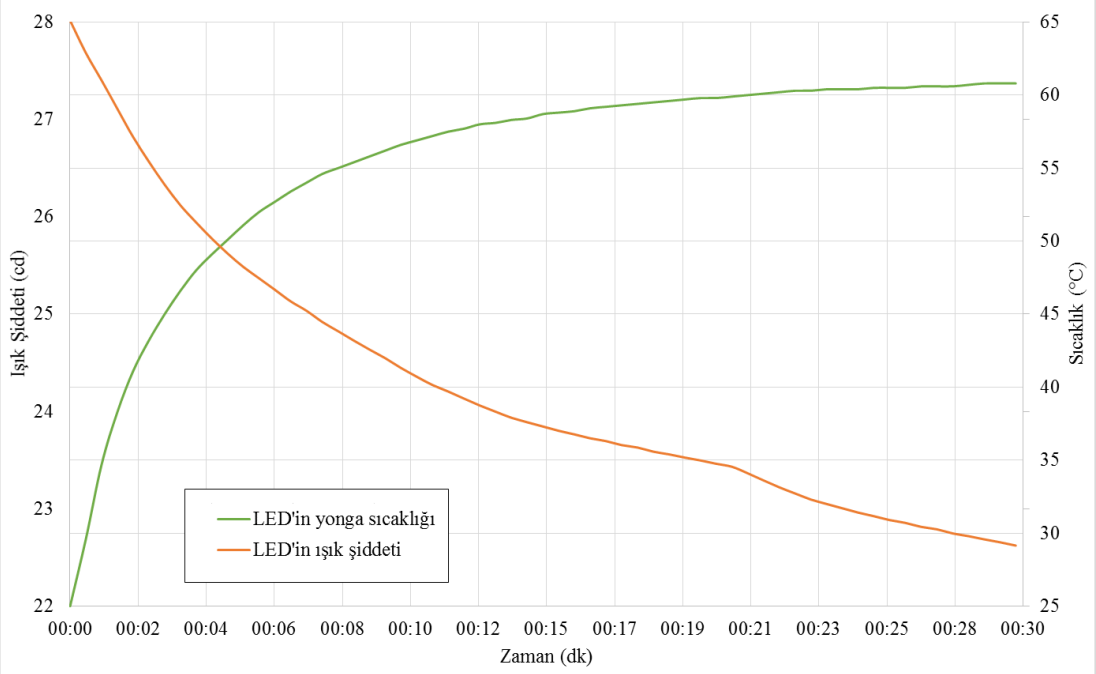
Şeffaf (saydam) plakalardan elde edilen veriler ve formülasyon doğrulama sonrası elde edilen sonuçlarda, sadece geçirgenlik bilgisinin sayısal model oluşturmak için yeterli ve hata oranı çok düşük olmasından ötürü renkli polimerlerden üretilmiş plakaların sadece geçirgenlik değerlerinin ölçülmesinin yeterli olduğuna karar verilmiştir. Buna göre, çizelge 3.1'de yer alan ve referans numune olarak seçilen EVONIK Plexglas 8N 33691 PMMA numunesinde de sonuçlar kıyaslanmış ve doğrulamaları yapılmıştır. İleriki aşamalarda bu iki referans polimerler kullanılarak örnek CHMSL numunesi üretileceğinden ötürü formülasyon doğrulamaları bu polimerler üzerinden yapılmasının daha yararlı olacağı kanısına varılmıştır.

EVONIK Plexiglas 8N Clear plakasından elde edilmiş karekterizasyon sonuçlarına bakıldığında, PMMA şeffaf polimerin özellikle 400 ile 780 nm arasında yaklaşık %92 ışık geçirgenliğine sahip olduğu görülmüştür. 380 ile 400 nm arasında emilim miktarının yüksek olmasından ötürü geçirgenlik bu bölgede azalmıştır. Yansıtma grafiği incelendiğinde ortalama %2 yansıtma değeri ölçülmüştür. Ayrıca, ışığın polimer yüzeyine gelme açısına bağlı olarak (0° ile 30° arasında) ortalama %3 yansıtma olacağı eşitlik 2.6'da yer alan eşitlik ile çözüldüğünde elde edilmekle birlikte yansıtma miktarının gelme açısına göre değişimi Şekil 2.11'de de gösterilmiştir.

PMMA polimer malzemesinin renklendirilmesiyle elde edinilen plakaların yansıtma miktarı renkten bağımsız olduğunu gösteren sonuçlar (ışığın polimer yüzeyine 0° ile 30° açılarda geldiği düşünüldüğünde) ortalama %3 olarak görülmektedir. Bu durumun doğruluğunu göstermek adına EVONIK Plexglas 8N 33691 PMMA kırmızı polimerler üzerinden yapılan ölçümler Şekil 4.8'de gösterildiği gibi ortalama %2 seviyelerinde olmuştur. Clear ve 33691 numunelerinin ışığı yansıtması sonrası elde edilen veriler sonuçların renkten bağımsız olduğunu göstermektedir.

Işık geçirgenliği polimerin rengine göre tamamen farklılık göstermektedir ve kıyaslanarak yorumlanması doğru değildir. Yüzde ışık geçirgenliği, yüzde ışık yansıtması ve ışık emilim ölçümlerin yapılması için kullanmış olduğumuz spektrofotometre cihazımızın bilinmeyen nedenlerden ötürü emilim sonuçlarının 3'ün üzerinde olmasın durumunda hata yaptığı görülmüştür. Bu hata durumu Şekil 4.9'da 480 ile 580 nm aralığında ve 3 mm ile 4 mm kalınlıklardaki plakaların emilim sonuçlarının yapılması sonucunda görülmüştür. Fakat doğrulama işlemlerini polimerin ışık geçirgenlik sonuçlarını kullanarak yaptığımız için burada karşılaşılan hatalar bizim için bir sorun teşkil etmemiştir.

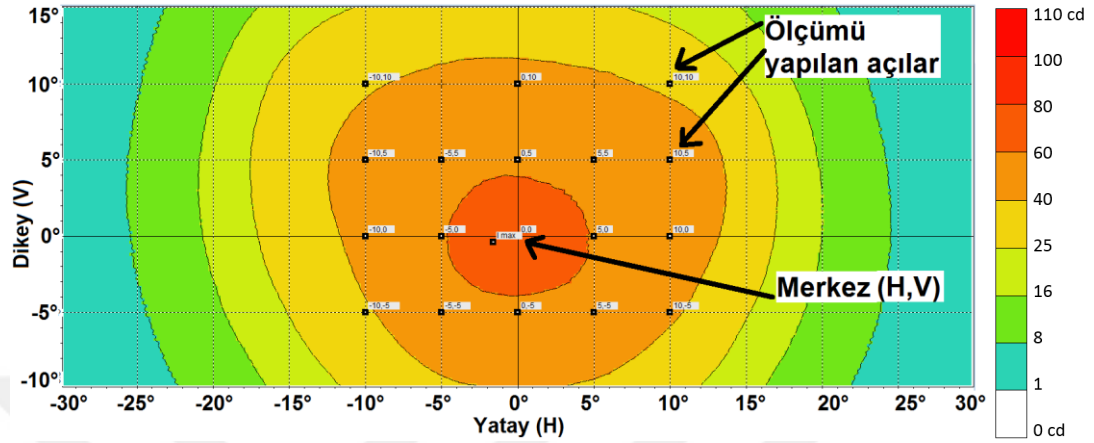
Laboratuvar ortamında yapılan ve LED üzerinde oluşan yonga sıcaklığının zaman bağlı ölçüm sonuçları Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Bu tabloda zamana bağlı olarak LED'in yonga sıcaklık değişim bilgisinin yanında, sıcaklığı ölçülen LED'in zaman bağlı ışık yoğunluğundaki değişimi de gösterilmiştir. Bu bilgiler bize ilgili LED'in ürün tanıtım tablosundaki bilgiler ile aynı sonuçları vererek kullanılan LED'in de doğrulaması yapılmıştır. Bu bilgiler referans numune olan CHMSL de kullanılan LED'lerin sayısal modellenmesi ve simülasyonları esnasında kullanılmıştır. CHMSL numunesinde kullanılan ve PCB'nin tam ortasında yer alan LED çalışmaya başladıktan 30 dk. sonra yonga sıcaklığı ortalama 60° gördüğü ve ışık yoğunluğunda ortalama %30 azalma olduğu kaydedilmiştir. Ayrıca sıcaklığa bağlı ışık yoğunluğundaki değişim ilgili LED'in ürün tanıtım dokümanında Şekil 3.5'de görüldüğü üzere %30 azalma olduğu çalışmamızı doğrulamaktadır.



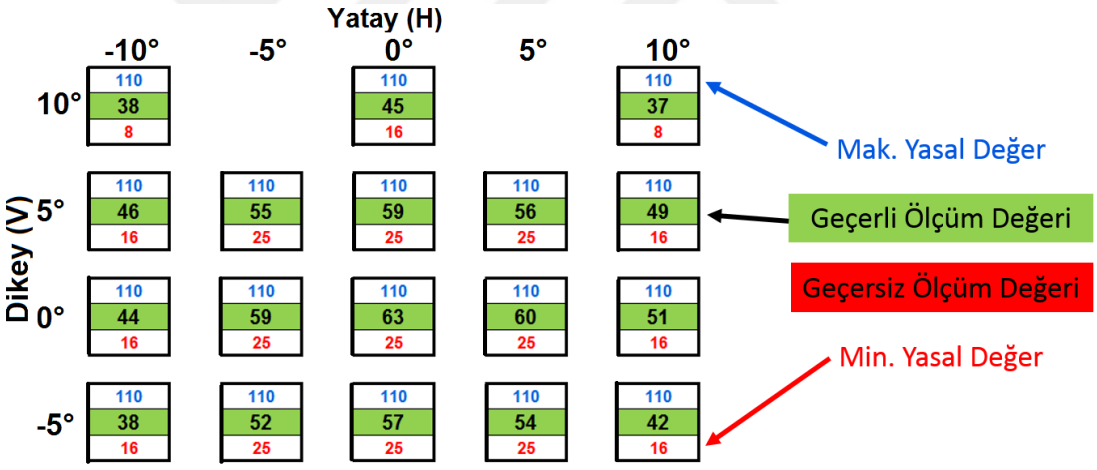
Şekil 4.13 : LED'in yonga sıcaklığının ve ışık şiddetinin zamana bağlı değişimi

Yapılan tüm ön hazırlık çalışmalarından sonra referans olarak seçilen ve enjeksiyon yöntemi ile üretilen CHMSL numunesinin karanlık oda laboratuvarındaki fotometri testleri yapılmıştır. Ürünün optik merkezinde yatayda ±30° dikeyde +15° ile -10° dereceler arasında yapılan isocandela taramasına ait tarama sonuçları Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Bu tarama sonuçları kullanılarak, ECE R7 [9] yasal şartnamelerinde belirtilen açılardaki ışık yoğunluklarının ölçümlerine ait veriler Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Bu noktalarda alınan tüm ölçüm değerleri yasal şartnamelerde belirtilen

minimum ve maksimum ışık yoğunlukları arasında olduğu görülmüştür. Referans CHMSL numunesinin çalışır durumda iken çekilen ürün görseline ait resim Şekil 4.18'de gösterilmiştir ve ürün üzerinde ne hot-spot nede karanlık bölgelere rastlanmamıştır.



Şekil 4.14 : Isocandela dağılımı



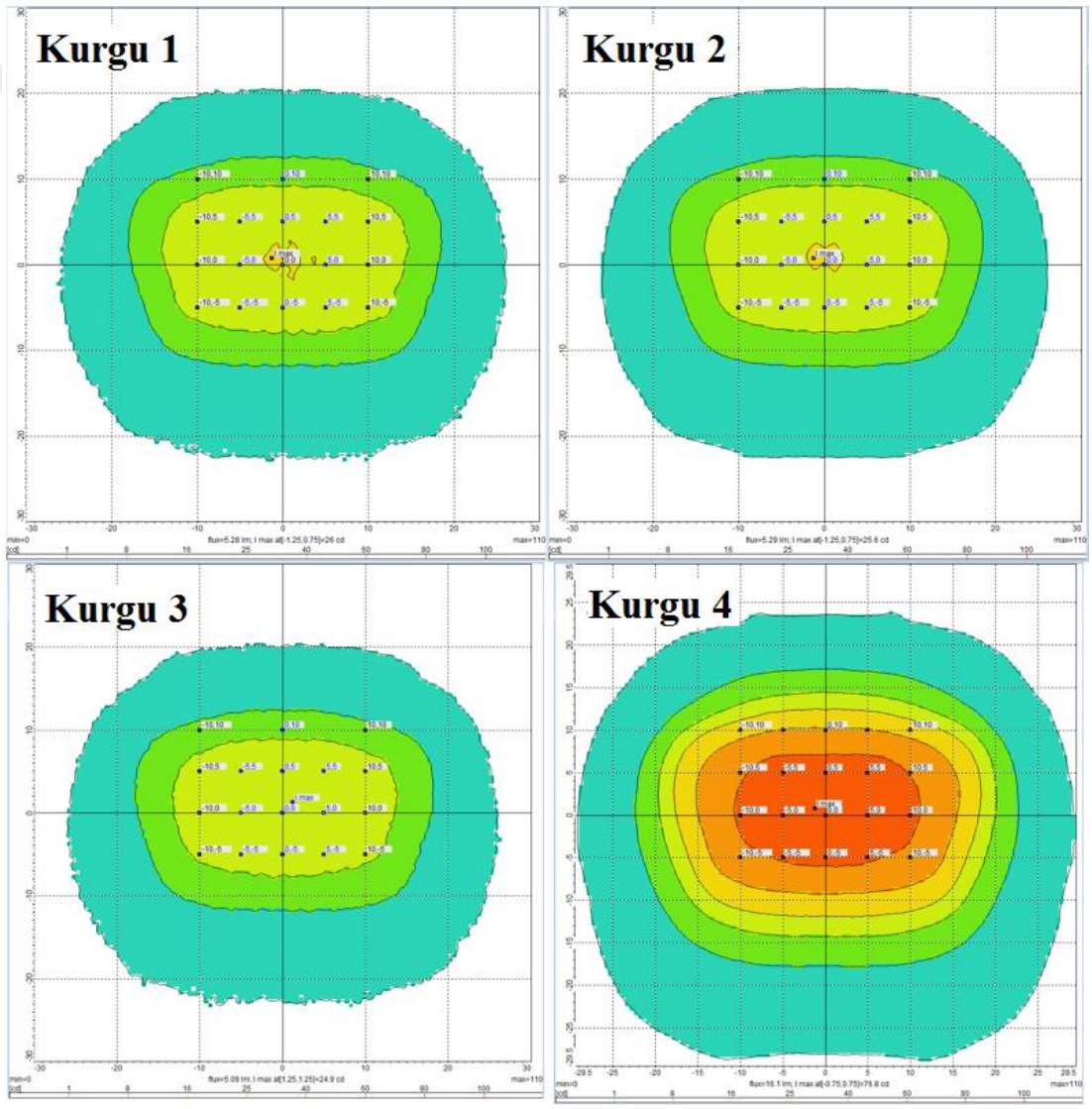
Şekil 4.15 : ECE R7'de belirtilen açılarda ölçülen ışık yoğunlukları



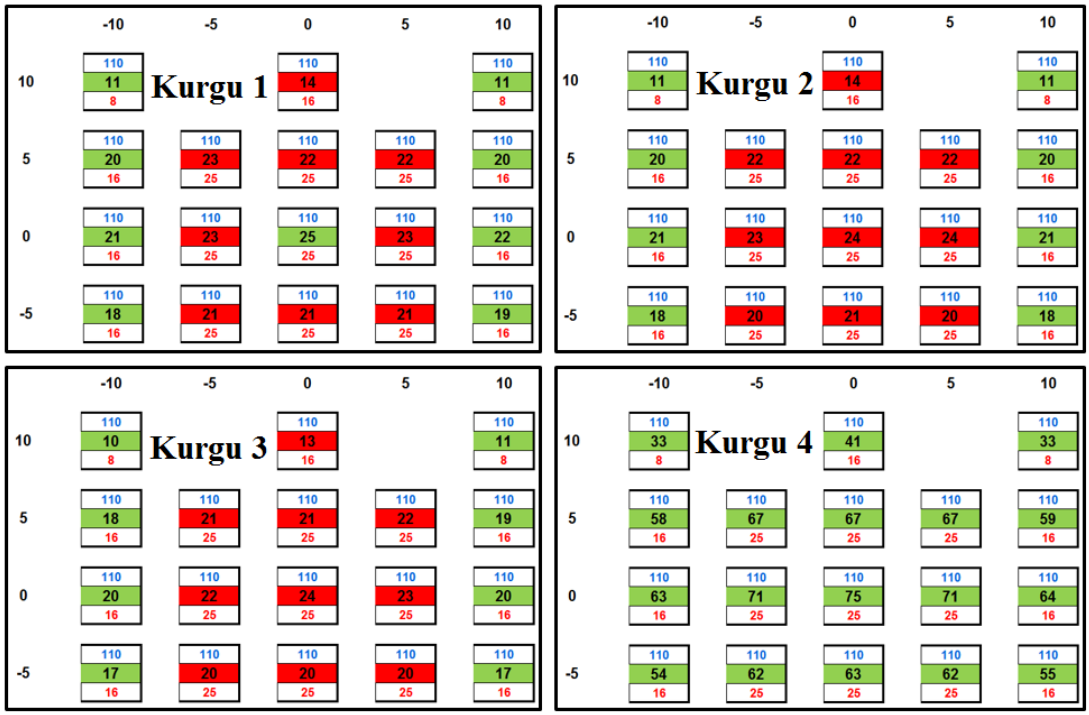
Şekil 4.16 : CHMSL'nin çalışır durumdayken alınmış görüntüsü

4.2 Analiz ve Simülasyon Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar

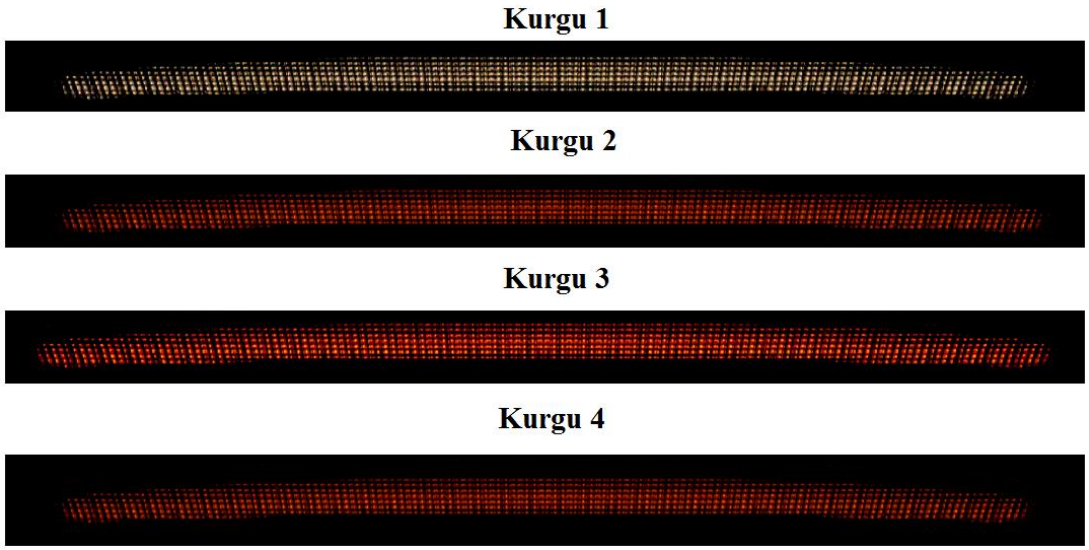
Bu bölümde yapılan tüm analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlar sensör tiplerine göre ayrı ayrı sunulmuştur. Her sensör tipine göre (Candela ve Luminance Forward) dört farklı kurgular aynı anda sunularak aralarındaki farklılıklar daha kolay gösterilmeye çalışılmıştır. İlk olarak Candela sensöründen elde edilen isocandela dağılımları Şekil 4.19'da ve simülasyon sonrası edinilen değerler, ECE R7 [9] yasal şartnamelerinde belirtilen açılardaki ışık yoğunluklarının ölçümlerine ait veriler Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Ayrıca, Luminance Forward simülasyon (render) sonuçları Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : Farklı kurgulara göre isocandela sonuçları



Şekil 4.18 : Farklı kurgulara göre ışık yoğunluklarının ölçüm sonuçları

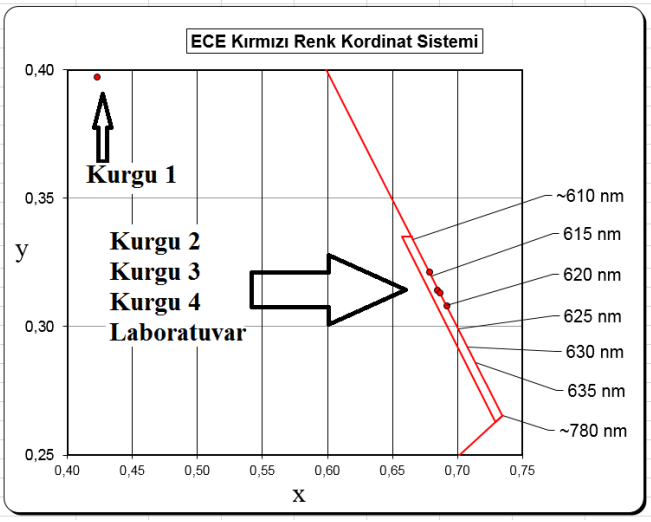


Şekil 4.19 : Kurgulara göre Luminance Forward sensör (render) sonuçları

Deneysel çalışmaların en son adımı olarak CHMSL numunesinin hem nihai ürünün çalışır durumdayken çıkan ışığın renginin hem de simülasyonlarda açığa çıkan ışık renginin CIE 1931 diyagramındaki konumlarının tayin edilmesidir. Şekil 4.22'de her bir kurgu ve laboratuvar esnasında alınan renk ölçümlerinin x ve y değerleri gösterilmiştir.

	KIRMIZI				
	ECE yasal değerler		Ölçüm Değerleri		
	x	y	x	y	
Kurgu 1	0,6650	0,3350	0,4230	0,3970	HATALI
Kurgu 2	0,6570	0,3350	0,6850	0,3140	UYGUN
Kurgu 3	0,7290	0,2628	0,6790	0,3210	UYGUN
Kurgu 4	0,7347	0,2653	0,6920	0,3080	UYGUN
					-
Laboratuvar			0,6870	0,3130	UYGUN

1) $y \leq 0.335$
2) $z \leq 0.008$
3) $(x + y + z = 1)$



Şekil 4.20 : CHMSL numunesinin farklı kurgularından ve laboratuvar ölçümlerinden elde edilen ışığın CIE 1931 diyagramındaki renk (x, y) koordinatları

5. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, otomotiv aydınlatma sektöründe ışığı geçirerek yönlendiren farklı renklerdeki PMMA malzemelerinin optik özelliklerinin araştırılması, bu farklı renklerdeki PMMA polimerlerinden test plakalarının üretimi ve akabinde UV-VIS-NIR spektrofotometre cihazı kullanılarak optik karakterizasyon testleri yapılmıştır. Bir sonraki aşama olarak, renk plakalarının karakterizasyonu sonucunda elde edilen veriler uygun formata dönüştürülmesi, uygun formattaki verilerin optik program içerisinde tanımlanması ve yapılan karakterizasyon çalışmasını doğrulamak adına referans olarak seçilen örnek CHMSL numunesinin sayısal modellemesi yapılmıştır. Son olarak, CHMSL numunesinin sayısal modellenmesi sonucu elde edilen sonuçların doğrulanabilmesi için sayısal modellemede seçil malzemeler ile üretimi yapılarak karanlık oda laboratuvarında fotometri ölçüm testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ve karanlık oda laboratuvarında yapılan fiziksel test sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Otomotiv aydınlatma sektöründe renkli ve ışık geçiren malzeme olarak PMMA tercih edilmektedir.
- PC malzemelerin UV dayanımları olmadığı için dış yüzey malzemesi olarak kullanılmamakta ve sadece şeffaf hali tercih edilmektedir.
- Renk plakalarının karakterizasyonundan elde edilen veriler incelendiğinde, malzeme kalınlığının artmasıyla malzemeden gecen ışığın yoğunluğu azalmaktadır.
- Malzeme kalınlığı sabit kaldığında, malzeme içerisindeki renk pigmentlerinin yoğunluğunun artmasıyla malzemeden gecen ışığın yoğunluğu azalmaktadır.
- Polimer malzemenin renklerine göre, malzemeden geçen ışığın yoğunluğu malzemeden geçen ışığın dalga boyuna göre farklılık göstermektedir.

- Farklı renklerdeki malzemelerden gecen ışığın yoğunluğu dalga boyuna bağlı olduğundan ötürü, üründe kullanılacak olan LED ışık kaynağının uyumluluğu kontrol edilmeli ve uygun spektruma sahip LED seçilmeli.
- Farklı firmalar tarafından üretilen LED'lerin ışık saçılımları ve spektrum dağılımları tamamen farklılık göstermektedir.
- LED ışık kaynağının sayısal olarak modellenmeden önce oda koşullarında yapılan termal testlerde, LED sıcaklığının yarım saat çalışır halde kaldıktan sonra 60°C'lere ulaştığı ve bu esnada ışık yoğunluğunda %20 azalma olduğu kaydedilmiştir. Bu değerler LED'in ürün tanıtım dokümanlarında da doğrulanmıştır.
- Optik program içerisinde yapılan sayısal modellemede sonuçların daha tutarlı olabilmesi adına örgü elemanın boyu minimum küçüklükte (0,01 mm) olması gerektiği fark edilmiştir.
- Optik simülasyonların çözümlemesi için Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır, bu yöntem sayesinde hem hızlı hem de tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.
- CATIA ortamında tasarlanan komponentlerin optik programa transferi esnasında eksen sisteminin farklılığından kaynaklı hataların oluşmaması için bir adet ana (main) transfer aksesin oluşturulmasının gerekliliği görülmüştür.
- Otomotiv aydınlatma ürünlerinin karanlık oda laboratuvarındaki fotometri testlerinin yapımı esnasında doğru sonuçları elde edebilmek için, aydınlatma ürünleri ganyofotometre cihazının tablasına birebir araç konumunda olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Aksi takdirde elde edilen veriler hiçbir anlam ifade etmeyecektir. Bunun için de her bir ürün için fotometri altlığı (konumlandırıcı) yapılmalıdır.
- Yapılan sayısal modelleme sonucu elde edilen verilerin doğruluğunu görmek adına dört farklı simülasyon çalışması yapılmıştır. Dış lens olarak seçilen Plexiglas 8N 33691 ve LED ışık kaynağının renginin amber olarak seçildiği (4. kurgu) simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçların gerçek parça üzerinden yapılan fotometri sonuçlarıyla en uyumlu olduğu görülmüştür.
- Optik program kullanılarak elde edilen render görüntüleri, gerçek parçanın çalışır durumunda çekilen fotoğrafları ile uyumlu ve kıyaslanabilirdir.

KAYNAKLAR

[1] **Sea, M. S.** (2000). Illuminating Engineering Society of North Anerica, *IESNA Lighting Handbook: Reference & Application*, 9th ed. New York.

[2] **Termal Kamera Kullanım Alanları.** (2014). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.elektrikce.com/termal-kamera-ve-kullanim-alanlari/

[3] **Lighting Evolution: Benefits Of Led Lighting.** (2016). Erişim: 19 Mayıs 2018, http://www.noblecs.com/white_paper.pdf

[4] **Park, S. J., & Lee, Y. L.** (2014). Study on the development of high-efficiency, long-life LED fog lamps for the used car market, *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 15(4), 201-206.

[5] **Johnson, C.** (2012). *Mathematical Physics of BlackBody Radiation*, Icarus iDucation, Skolan för datavetenskap och kommunikation, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

[6] **LED Basics - LED Fundamental Series by OSRAM Opto Semiconductors**. (2010). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.osram.com/os/products/led-general-lighting/tools-and-service/led-fundamentals/leds_basics.jsp

[7] **OSRAM Opto Semiconductors Subfolder LED**. (2018). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.osram.com/apps/downloadcenter/os/?path=%2Fos-files%2FOptical+Simulation%2FLED%2F

[8] **OSRAM Sylvania Inc.** (1986). LED ColorCalculator Software, Version 7.23,

[9] **Electronic Spectroscopy**. (2013). Erişim: 19 Mayıs 2018, http://260h.pbworks.com/w/page/69071382/Electronic%20Spectroscopy

[10] **Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. M., & Pedrotti, L. S.** (2017). *Introduction to optics.* Cambridge University Press.

[11] **Hecht, E.** (1974). *Schaum's outline of optics*. McGraw-Hill Companies.

[12] **Refractive Index Database**, (2009). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://refractiveindex.info/?shelf=organic&book=poly(methyl_methacrylate)&page=Sultanova

[13] **Synopsys Inc.** (1986). LucidShape Software Technical Help File, Verison 2017.03

[14] **Hébert, M.** (2013). Reflection and transmission of light by a flat interface, Fresnel's formulae. *Institut d'Optique*.

[15] **Taylor, A. E.** (2000). Illumination fundamentals. *United States: Lighting Research Center*.

[16] **Diffraction of Light.** (1919). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.olympus-lifescience.com/en/microscope-resource/primer/lightandcolor/diffraction/

[17] **Optical Fibres Attenuation**. (2001). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://shopdelta.eu/optical-fibres-attenuation_l2_aid811.html

[18] **Zandi, B., Polin, D., Khanh, T. Q.** (2017). Validity range of luminance and luminous intensity for a right characterization of rear lamps under mesopic vision conditions, *12th International Symposium on Automotive Lighting*, (ss. 509-518). Darmstadt, September 25-27, 2017.

[19] UN Regulation No.1. (2013). Contracting Parties to the Agreement, Their date of application of the UN Regulations and designated Type Approval Authority and Technical Services Rev.21, UNECE Vehicle Regulations.
[20] ECE R48 Regulations. (2014). Installation of lighting and light-signalling devices Rev.12, UNECE Vehicle Regulations.
[21] ECE R7 Regulations. (2012). Position, stop and end-outline lamps Rev.6, UNECE Vehicle Regulations.
[22] ECE R37 Regulations. (2015). Filament lamps Rev.8, UNECE Vehicle Regulations.
[23] ECE R128 Regulations. (2013). Light Emitting Diode (LED) light sources, UNECE Vehicle Regulations.
[24] Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, *4*(2), 3807-3815.
[25] Beukema, M., De Buyl, F., Van Tiggelen, K., & Bolsacova, I. (2013). Dow Corning Silicone Technology Innovations for LED Light Engines, *10th International Symposium on Automotive Lighting*, (ss. 770-780). Darmstadt, September 23-25, 2013.
[26] Najeeb, H. N., Balakit, A. A., Wahab, G. A., & Kodeary, A. K. (2014). Study of the optical properties of poly (methyl methaacrylate)(pmma) doped with a new diarylethen compound. *Academic Research International*, *5*(1), 48.
[27] Kasarova, S. N., Sultanova, N. G., Ivanov, C. D., & Nikolov, I. D. (2007). Analysis of the dispersion of optical plastic materials. *Optical Materials*, *29*(11). 1481-1490.
[28] Almaral-Sánchez, J. L., Rubio, E., Mendoza-Galván, A., & Ramirez-Bon, R. (2005). Red colored transparent PMMA–SiO2 hybrid films, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, *66*(10), 1660-1667.
[29] Rai, V. N., Mukherjee, C., & Jain, B. (2016). Optical properties (uv-vis and ftir) of gamma irradiated polymethyl methacrylate (pmma). *arXiv preprint arXiv:1611.02129*.
[30] Rouaramadan, E., & Hasan, A. A. (2013). Study of the optical constants of the PVC/PMMA blends. *Int J Appl Innovat Eng Manage*, *2*, 240-5.
[31] Nahida, J. H. (2012). Spectrophotometric Analysis for the UV-Irradiated (PMMA). *International of basic & Applied Science, IJBAS-IJENS*, *12*(02), 58-67.
[32] Paßlick, C. (2017). Complex Glass Optics for LED and Laser Headlamp Systems, *12th International Symposium on Automotive Lighting*, (ss. 405-413). Darmstadt, September 25-27, 2017.
[33] Paßlick, C., Hellwig, A., Geyer, U., Heßling, T., & Hübner, M. C. (2014). Stability of glass versus plastics for transmissive high-power LED optics. In *Current Developments in Lens Design and Optical Engineering XV* (Vol. 9192, p. 919210). International Society for Optics and Photonics.
[34] Ragnow, S. (2015). The Impact of Approximate Modeling on Simulation Results, *International Forum on Automotive Lighting*, (ss. 92-110). China, Kunshan, 2015.
[35] Bony, A., Hamami, K., Tebbe, F., & Mertens, J. (2011). Energy saving through LED in signaling functions for automotive exterior lighting. In *SPIE Eco-Photonics 2011: Sustainable Design, Manufacturing, and Engineering Workforce Education for a Green Future* (Vol. 8065, p. 806502). International Society for Optics and Photonics.
[36] Yu, J. C., Chen, J. H., & Liu, S. C. (2013). Design of LED edge-lit light bar for automotive taillight applications. In *LED-based Illumination Systems* (Vol. 8835, p. 88350G). International Society for Optics and Photonics.

[37] Bianco, P., Blanckenhagen, B., Kellermann, H., Locatelli, A., Manfreda, G., Padovani, S., & Spadaccini, L. (2017). Introduction of OLED in Rear Lamps: electro-optical simulation for photometry assessment, *12th International Symposium on Automotive Lighting*, (ss. 451-460). Darmstadt, September 25-27, 2017.

[38] EVONIK Industries. (2008). Product Information Sales Range PLEXIGLAS® Unicolor Signal Red Orange and Yellow Transmission τA, Erişim: 30 Haziran 2015, http://www.plexiglas.net/product/plexiglas/en/about/downloads/

[39] SHIMADZU UV-3600 Spectrophotometer. (2008). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.upc.edu/sct/ca/documents_equipament/d_85_id-406.pdf

[40] OSRAM Opto Semiconductors. (2018). Erişim: 19 Mayıs 2018, https://www.osram.com/os/ecat/TOPLED%C2%AE%20LA%20T67F/com/en/class_pim_web_catalog_103489/global/prd_pim_device_2191044/

[41] Huber, R. (2002). Thermal management of SMT LED. *Osram Opto Semiconductors (8/02)*.

[42] Huber, R. (2013). Temperature Measurement with Thermocouples: Application Note'. *OSRAM Opto Semiconductors*, 1-13.

[43] Swamy, R. (2013). Thermal Measurement for LEDs, *Measurement and Instrumentation Technical*, (ss. 58-60), April 2013.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mehmet Fatih ATAŞALAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 26.10.1987 Gaziantep

E-posta : mfatasalan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Gaziantep Üniversite, Mühendislik Fakülte, Fizik Mühendisliği (ING)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Fizik Mühendisi (2013-2015), Ar-Ge, SANKO Holding, Bursa
- Optik Tasarım ve Analiz Mühendisi (2015-…), Ar-Ge, FEKA Otomotiv, Bursa

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- "Production And Optical Characterization Of Colored PMMA Plates To Improve Optical Design And Analysis In The Automotive Lighting Industry", OTEKON, 2018, Bursa

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- "Projectıon Of Sciences Onto Textile And Fashion: Nano-Technology And Chargeable Fabric Example", *ITCC 2015 International Textile and Costume Congress And Exhibition*, 2015, Marmara Üniversitesi, İstanbul (Best Paper)
- "Plaka Lambası Fotometrisi", *10. Uluslarası Aydınlatma Kongresi*, 2015, İstanbul
- "Işık Perdeli Stop Lambası", *IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi ve Sergisi*, 2015, İzmir
- "Polimer/Seramik Kompozit Esaslı Işık Difüsör Malzemelerin İncelenmesi Ve Otomotiv Sektöründe Uygulama Örneği", *11. Uluslarası Aydınlatma Kongresi*, 2017, İstanbul
- "Investigation Of Polymer Ceramic Composite Based Light Diffuser Materials And Application Example in Automotive Sector", (Poster), *11. Uluslarası Aydınlatma Kongresi*, 2017, İstanbul
- "Front Fog and Corner Lamp Enhancing Driving Safety by Using a Common LED and Reflector Design", *International Research, Development, Innovation and Technology Management Congress*, 2018, Okan Üniversitesi, İstanbul