



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DIŞ AYDINLATMA FARININ NÜMERİK ISIL PERFORMANS
İNCELEMESİ

Sercan BODUROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2010



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DIŞ AYDINLATMA FARININ NÜMERİK ISIL PERFORMANS
İNCELEMESİ

Sercan BODUROĞLU

Doç. Dr. A. Alper ÖZALP

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2010

T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DIŞ AYDINLATMA FARININ NÜMERİK ISIL PERFORMANS
İNCELEMESİ

Sercan BODUROĞLU

Doç. Dr. A. Alper ÖZALP

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez ... / ... / 20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ Doç. Dr. A. Alper ÖZALP Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Jüri Başkanı

Danışman

Jüri Üyesi

ÖZET

Birçok otomotiv dış aydınlatma lambasında ışık kaynağından çıkan ışığın istenildiği şekilde yansıtılması için reflektör kullanılmaktadır. Reflektörlere mükemmel yansıtma sağlaması için hassas yüzeyli ve çoğu kez alüminyum kaplamalı özel tasarımlı yansıtıcılar da denilebilir. Alüminyum kaplama ışığı çok iyi yansıtmasının yanı sıra özellikle akkor ampul gibi çevresine yüksek ışınım enerjisi yayan ışık kaynaklarından gelen fotonları da çok iyi yansıtarak reflektörün daha az ısınmasını sağlamaktadır. Eğer lamba alüminyum kaplama olmadan da istenilen ışık performansı sağlayabiliyorsa alüminyum kaplama maliyetinden kaçınılmak istenebilmektedir, fakat böyle durumlarda oluşabilecek ısı problemleri iyi tespit edilmelidir. Bu çalışma otomotiv dış aydınlatma sektöründe, alüminyum kaplamalı ve kaplamasız reflektörlerin lambada oluşan sıcaklık dağılımına etkilerinin birbirleriyle kıyaslanması ihtiyacına karşılık yapılmıştır. Kaplama etkisinin ve kaplamasız reflektörde renk etkisinin iyi tespit edilebilmesi için hem alüminyum kaplamalı hem de alüminyum kaplamasız gri ve siyah renkli olarak üç ürün termal açıdan CFD yazılımı ile incelenmiş ve sonuçlar kıyaslamalı olarak irdelenmiştir. Çalışma neticesinde reflektörde alüminyum kaplama olduğu zaman gövdedeki sıcaklık dağılımında taşınım ile ısı transferinin baskın olduğu, alüminyum kaplamanın olmadığı durumlarda da ışınım ile ısı transferinin baskın olduğu tespit edilmiştir. Işınım ile ısı transferinin baskınlığı kaplamasız gövdenin kaplamalı olana göre daha fazla ısınmasına sebep olmuş ve özellikle kaplamasız ürünlerin ampule yakın bölgelerinde ciddi derecede sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Reflektör renginin ise kaplamaya nazaran lambanın sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisinin çok az olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv dış aydınlatma lambası, Isı transferi, Alüminyum kaplama etkisi, CFD

ABSTRACT

On many automotive exterior lighting lamps, reflector is used to reflect the light from the light source as requested. Reflectors could be named as the specially designed reflecting areas which have smooth surface and mostly aluminum coated to reflect perfectly. Besides reflecting the light perfectly, aluminum coating also makes the reflector body less heating as reflecting the photons from the light sources especially similar to incandescent bulbs which emit high thermal radiation around. If the lamp is able to meet the requested lighting performance without aluminum coating, avoiding the cost of aluminum coating could be wanted, but in this case possible thermal problems should be predicted well. This study is carried out against the demand of automotive exterior lighting sector as comparing the aluminum coated and uncoated reflector's thermal effects on temperature distribution of the lamp. To sensitively determine the coating effect and the colour effect of uncoated surfaces, three lamps as aluminum coated, uncoated gray and uncoated black are analyzed thermally with a CFD software and the results are investigated comparatively. As study result, it is determined that convection is dominant on housing temperature profile when reflector is aluminized, and also radiation heat transfer is dominant on housing temperature profile when reflector is uncoated. Dominance of radiation caused more heating of uncoated lamp housing than the aluminized one and on uncoated lamps overheating occurred especially on areas near bulb. Also it is seen that the reflector colour has less effect on lamp temperature profile than aluminum coating.

Key Words: Automotive exterior lighting lamp, Heat transfer, Aluminum coating effect, CFD

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
1. KURAMSAL TEMELLER.....	5
1.1. Isı Transferi	6
1.1.1. İletimle ısı transferi	6
1.1.2. Taşınım ile ısı transferi.....	7
1.1.3. Işınım ile ısı transferi.....	9
1.2. Akışkanlar Mekaniği.....	13
1.2.1. Süreklilik denklemi	14
1.2.2. Momentum denklemi	15
1.2.3. Enerji denklemi	16
2. OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜRÜNLERİ.....	17
2.1. Genel Bilgi	17
2.2. Optik Tasarım.....	18
2.3. Kullanılan Plastik Malzemeler	20
2.4. Ürün Testleri	21
2.5. Kullanılan Işık Kaynakları	23
2.5.1. Ampuller.....	23

2.5.2. LED	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Materyal	29
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. CFD (Computational Fluid Dynamics).....	30
3.2.2. Termal simülasyon	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	37
4.1. Termal Analiz Sonuçları	37
4.1.1. Alüminyum kaplı ($\varepsilon = 0.04$) PC gövde ve şeffaf PC lens	37
4.1.2. Alüminyum kaplamasız gri renk ($\varepsilon = 0.84$) PC gövde ve şeffaf PC lens	39
4.1.3. Alüminyum kaplamasız siyah renk ($\varepsilon = 0.95$) PC-ABS gövde ve şeffaf PC lens	41
4.2. Analiz Sonuçlarını Detaylı Kıyaslama.....	43
4.2.1. Grafiklerde kullanılan kesitler.....	43
4.2.2. Sıcaklık grafikleri ve kesit hız profilleri.....	46
4.2.3. Gerçek sıcaklık ölçümleriyle analiz sonuçlarını kıyaslama	65
SONUÇ	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	80
TEŞEKKÜR	81

KISALTMALAR DİZİNİ

CFD	Computational Fluid Dynamics
DVP	Design Validation Plan
HDT	Heat Deflection Temperature
LED	Light Emitting Diode
OEM	Original Equipment Manufacturer

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Lamba iç hava dairesel kesit çapları	45
Tablo 4.2. Alüminyum kaplamalı lambanın lens sıcaklık kıyaslaması.....	67
Tablo 4.3. Alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklık kıyaslaması	69
Tablo 4.4. Alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklık kıyaslaması	71
Tablo 4.5. Gövde sıcaklık değerleri kıyaslaması	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örnek lambadaki ısı transfer mekanizmaları	5
Şekil 2. Tek yönde ısı iletimi	7
Şekil 3. Zorlanmış taşınım ve doğal taşınım	8
Şekil 4. Grashof sayısı, kaldırma kuvveti ile sürtünme kuvveti arasındaki ilişki	9
Şekil 5. Elektromanyetik dalga spektrumu	10
Şekil 6. Yarı saydam malzeme üzerindeki ışınım enerjisi	12
Şekil 7. Emici ortamdan geçen radyasyonun azalması	12
Şekil 8. Sınır tabakadaki hız profilleri	14
Şekil 9. Örnek otomobil ön farı alt parçaları.....	17
Şekil 10. Örnek otomobil arka lambası alt parçaları.....	18
Şekil 11. Gerçek optik ölçümü.....	19
Şekil 12. Eski tip lens üzeri optik ile yeni tip reflektör üzeri optik yüzey.....	19
Şekil 13. Otomotivde kullanılan plastik malzemeler	20
Şekil 14. Vicat yumuşama sıcaklığı tayini	21
Şekil 15. HDT yumuşama sıcaklığı tayini	21
Şekil 16. Örnek test fırını	22
Şekil 17. Örnek ampul yakma test senaryosu	22
Şekil 18. Otomotiv aydınlatmada kullanılan ampul çeşitleri	23
Şekil 19. Örnek tungsten ampul (P21W)	24
Şekil 20. Örnek halojen ampul (H7)	25
Şekil 21. Örnek ksenon ampul ve ark görüntüsü	25
Şekil 22. Ksenon ampul (A) ile halojen ampul (B) arasındaki fark.....	26
Şekil 23. Power LED	27
Şekil 24. Tezde incelenen 3 farklı ÇAP 70 lambası.....	30
Şekil 25. Termal analizi öncesi hazırlanan 3 boyutlu katı model	32
Şekil 26. Termal analizi öncesi sonlu elemanlara ayrılmış 3 boyutlu katı model.....	32
Şekil 27. ANSYS CFX-Pre ara yüzeyi	33
Şekil 28. Gözlük camının ve plastik poşetin görülebilir ve kızılötesi dalga boylarındaki geçirgenlik özellikleri.....	34
Şekil 29. Elektromanyetik dalga spektrumu	35
Şekil 30. Ampul filamanı	35
Şekil 31. ANSYS CFX-Solver ara yüzeyi	37
Şekil 32. Alüminyum kaplı lamba gövde sıcaklık dağılımı.....	38
Şekil 33. Alüminyum kaplı lamba lens sıcaklık dağılımı	39
Şekil 34. Alüminyum kaplamasız gri lamba gövde sıcaklık dağılımı	39
Şekil 35. Alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklık dağılımı.....	40
Şekil 36. Alüminyum kaplamasız siyah lamba gövde sıcaklık dağılımı	41
Şekil 37. Alüminyum kaplamasız siyah lamba lens sıcaklık dağılımı.....	42
Şekil 38. Lamba gövdesinin Z eksenini boyunca kesitleri.....	44
Şekil 39. Lamba lensi iç yüzey ve dış yüzey dairesel kesitleri	44
Şekil 40. Lamba lensi iç yüzey ve dış yüzey X ve Y kesitleri	45
Şekil 41. Lamba iç hava dairesel kesitleri.....	46
Şekil 42. Gövde dış yüzeyi sıcaklık dağılımı kıyaslaması.....	47
Şekil 43. Gövde iç yüzeyi sıcaklık dağılımı kıyaslaması.....	48
Şekil 44. Lens dış yüzeyi dairesel kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması.....	50

Şekil 45. Lens iç yüzeyi dairesel kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması.....	51
Şekil 46. Lens dış yüzeyi aksenal kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması	52
Şekil 47. Lens iç yüzeyi aksenal kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması	52
Şekil 48. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₁	54
Şekil 49. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₂	55
Şekil 50. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₃	56
Şekil 51. Ampul camı sıcaklık dağılımı	57
Şekil 52. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₄	59
Şekil 53. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₅	60
Şekil 54. Dikey kesitte iç hava hız profilleri.....	60
Şekil 55. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z ₆	62
Şekil 56. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.04$	63
Şekil 57. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.84$	64
Şekil 58. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.95$	64
Şekil 59. Al. kaplamalı lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü.....	65
Şekil 60. Al. kaplamalı lambanın lens dış yüzeyi sıcaklık dağılımı.....	
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü	66
Şekil 61. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamalı lamba	66
Şekil 62. Al. kaplamasız gri lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü	67
Şekil 63. Al. kaplamasız gri lambanın lens dış yüzeyi sıcaklık dağılımı.....	
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü	68
Şekil 64. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamasız gri	68
Şekil 65. Al. kaplamasız siyah lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü ..	69
Şekil 66. Al. kaplamasız siyah lambanın lens dış yüzeyi sıcaklık dağılımı	
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü	70
Şekil 67. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamasız siyah	70
Şekil 68. Gövde üzerindeki ölçüm noktaları.....	71
Şekil 69. Al. kaplamalı lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri.....	72
Şekil 70. Al. kaplamasız gri lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri	72
Şekil 71. Al. kaplamasız siyah lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri	73

SİMGELER DİZİNİ

A	Alan, m ²
A_s	Yüzey alanı, m ²
A_x	x yönündeki kesit alanı, m ²
A_y	y yönündeki kesit alanı, m ²
A_z	z yönündeki kesit alanı, m ²
c_0	Işık hızı, 2.9979 x 10 ⁸ m/s
c_p	Özgül ısı (sabit basınç), J/kg.K
$E_{b\lambda}$	Siyah cismin belirli dalga boyundaki yaydığı ışınım enerjisi, W
E_b	Siyah cismin yaydığı toplam ışınım enerjisi, W
g	Yerçekimi ivmesi, m/s ²
Gr_L	Grashof sayısı
h	Isı taşınım katsayısı, W/ m ² K
h	Planck sabiti, 6.6256 x 10 ⁻³⁴ J.s
I_λ	Cisim üzerine gelen belirli dalga boyundaki ışınım enerjisi, W
\vec{i}	x yönündeki birim vektör
\vec{j}	y yönündeki birim vektör
\vec{k}	z yönündeki birim vektör
k	Boltzmann sabiti, 1.38065 x 10 ⁻²³ J/K
k	Isı iletim katsayısı, W/mK
k_x	x yönündeki ısı iletim katsayısı, W/mK
k_y	y yönündeki ısı iletim katsayısı, W/mK
k_z	z yönündeki ısı iletim katsayısı, W/mK
L_c	Geometrinin karakteristik uzunluğu, m
\dot{m}_c	Sistemden birim zamanda çıkan kütle, kg/s
\dot{m}_g	Sisteme birim zamanda giren kütle, kg/s
Nu	Nusselt sayısı
P	Basınç, Pa
Pr	Prandtl sayısı
$\dot{Q}_{ışınım}$	Işınım ile ısı transfer büyüklüğü, W
\dot{Q}_{iletim}	İletimle ısı transfer büyüklüğü, W
$\dot{Q}_{taşınım}$	Taşınım ile ısı transfer büyüklüğü, W
\dot{Q}_x	x yönündeki ısı transfer büyüklüğü, W
\dot{Q}_y	y yönündeki ısı transfer büyüklüğü, W
\dot{Q}_z	z yönündeki ısı transfer büyüklüğü, W
Ra_L	Rayleigh sayısı
t	Zaman, s
T_s	Yüzey sıcaklığı, °C
T_∞	Akışkan sıcaklığı (yeterince yüzeyden uzakta), °C
U	Hız, m/s
u	x yönündeki hız, m/s
v	y yönündeki hız, m/s
w	z yönündeki hız, m/s

β	Termal genleşme katsayısı, 1/K
ε	Yayma katsayısı
ε_λ	Spektral yayma katsayısı
α	Emme katsayısı
α	Isı yayılım katsayısı, m ² /s
α_λ	Spektral emme katsayısı
τ	Geçirgenlik katsayısı
τ_λ	Spektral geçirgenlik katsayısı
κ_λ	Spektral emme katsayısı, 1/m
λ	Dalga boyu, μm
ρ	Yoğunluk, kg/m ³
ρ	Yansıtma katsayısı
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
μ	Dinamik viskozite, kg/ms
σ	Stefan – Boltzmann sabiti, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

GİRİŞ

Aydınlatma ürünleri otomotiv sektöründe birinci derece güvenlik ekipmanları sınıfındadır. Sürücünün uygun bir şekilde görmesini sağlamakla beraber diğer sürücüler tarafından da uygun bir şekilde görülmesini sağlamaktadırlar. Öndeki aracın yavaşlamasında fren lambalarının yanması veya aracın dönüş öncesi sinyal lambasıyla ikaz vermesi gibi sürücüler arasında trafikte bilgi alış verişine de imkan vermektedirler. Bu şekilde güvenlik açısından vazgeçilmez olan araç aydınlatma sistemlerinin düzgün çalışmaması kazalara sebep olabilir. Dolayısıyla aydınlatma ürünleri malzeme, üretim teknikleri ve proses açısından son teknolojiyi takip etmek mecburiyetindedirler. (Nolte 2005)

Teknolojinin gelişimine paralel olarak 1990'larla birlikte otomotiv dış aydınlatma ürünlerinde plastik malzeme kullanımı yaygın hale gelmiştir. Plastik malzeme kullanımı aydınlatma ürünlerinde daha özgür optik ve stilistik çalışmaların ortaya çıkmasına sebep olmakla beraber ürünlerde çözülmesi daha zor ısı problemleri oluşturmuştur. Lambalarda kullanılan tüm ışık kaynaklarının tükettiği enerjinin birbirlerine göre farklı oranlarda olsa da büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Oluşan bu ısının herhangi bir şekilde ürün üzerinde kararma veya deformasyon gibi bir zarar ortaya çıkarmaması veya ışık kaynağının kendi aydınlatma performansını çok fazla etkilememesi gerekir ki tasarımı bitmiş ve gerçek kalıplardan üretilmiş bir ürün üzerinde ısı probleminin tespit edilmesi halinde o problemin çözümü çok yüksek maliyetler gerektirecektir. Onun için ürün daha tasarım aşamasındayken oluşabilecek risklerin öngörülmesi ve o riskleri bertaraf edecek şekilde tasarımın şekillendirilmesi son ürün üzerinde yapılması muhtemel olan yüksek maliyetli modifikasyonları engellemiş olacaktır. Bu aşamada ürün bilgisayar ortamında tasarlanırken muhtemel problemlerin tespit edilebilmesi, CFD (Computational Fluid Dynamics) ile yapılan termal analizin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Otomotiv aydınlatma ürünlerinde plastik malzeme kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte termal analiz yetenekleri daha çok önem kazanmış ve buna bağlı olarak birçok farklı konunun tespiti için yapılan araştırmalar ve CFD çalışmaları da daha dikkat çekici hale gelmiştir. Aydınlatma ürününde kontrol edilmesi gereken en önemli

parametrelerden biri ısı problemi olduğu için bu konuda birçok araştırma, inceleme ve çalışmalar devam etmektedir. Nolte (2005) araç lambasının matematik modellemesini termal açıdan ve akışkanlar mekaniği açısından çok detaylı bir şekilde incelemiş ve gerçek ölçümler ile CFD analizi sonuçlarını kıyaslamıştır. Fischer (2005) otomobil sis lambasındaki doğal taşınım ve ışınlama ile olan ısı transferlerinin sıcaklık dağılımındaki etkilerini CFD yardımıyla incelemiştir. Senin ve ark. (2005) otomobil sis lambasının gövdesi ve lensinde oluşan sıcaklık dağılımının nümerik modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Kikuchi ve ark. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada LED' li farda LED junction sıcaklığının CFD simülasyonuna yer verilmiştir. Liang ve ark. (1997) otomobil sis lambası reflektörünün termal performansını CFD yazılımıyla inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Cimolin ve ark. (2008) otomobil lambasının komple termo-mekanik analizi için CFD ve stres analizi yardımıyla metodoloji geliştirmeyi baz alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bader ve ark. (2007) otomotiv aydınlatma ürünlerinin tasarlanmasında CFD kullanılmasının getirdiği avantajları ortaya çıkarmışlardır. Filipuzzi ve ark. (2007) CFD yardımıyla ampulün ve LED' in termal davranışını irdelemişlerdir. Preihs (2006) otomobil farında oluşan su buharının analitik yönden çözümlenmesini irdelemiş ve gerçek değerlerle analitik değerleri kıyaslamıştır. Yine benzer konuda Deponti ve ark. (2009) da bir çalışma yapmıştır. Başka bir çalışma olarak CFD analizinde sıcaklık değerleri etkileyen termal parametrelerin ne kadar etkili oldukları deneysel tasarım yöntemiyle El-Khatib ve Bielecki (2006) tarafından incelenmiştir. Zenin (2007) tarafından yapılan çalışmada lamba lens ve gövdesi üzerinde oluşan aşırı ısınma noktalarının (hotspot) oluşmasında doğal konveksiyon ve ışınlama ile ısı transferinin etkileri araştırılıp sonuçlar gerçek ölçümlerle kıyaslanmıştır. Hilburger (2004) ampul renginin ve alüminyum veya krom kaplı reflektör yüzeyinin lambada oluşan sıcaklığa etkisini nümerik olarak irdelemiş ve sonuçlarını deneysel ölçümlerle kıyaslamıştır.

Otomotiv aydınlatma lambası üzerinde yapılan nümerik ve deneysel çalışmaların yanı sıra otomotiv sektörü dışında da benzer ısıl mekanizmaları inceleyen birçok araştırma yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında faydalı olan ilgili araştırmalardan da yararlanılmıştır. Virag ve Murin (2005) ampul filamanındaki yüksek sıcaklık sebebiyle gerçekleşen tungsten buharlaşmasının filaman ömrüne etkisini araştırmışlardır ve araştırmalarındaki sıcaklık hesaplamalarında CFD yazılımı kullanmışlardır. Nikou ve

Ehsani (2008) tarafından CFD uygulaması kullanılarak dolgu malzemeli akış sistemlerinde farklı türbülans modellemeleri incelenmiştir. Liu ve ark. (2007 a, b) çalışmalarında yarı saydam malzemelerde ışınım ile ısı transferini teorik açıdan ele almışlardır. Ayrıca Liu ve ark. (2003) başka bir çalışmada Monte Carlo yönteminden faydalanmışlardır. Yarı saydam malzemenin ışınım ile ısı transferi konusunda Huang ve ark. (2008) nümerik yöntem geliştirmişlerdir. Krishna ve Mishra (2006) ayrık transfer metodunu (Discrete transfer method – DTM) değişken kırılma indisli yarı saydam ortamda ışınım ile ısı transferinde uygulamışlardır. Reynolds ve ark. (2000) ikizkenar yamuk şeklindeki oyuk tip emicide birleşik ışınım ve doğal taşınım etkilerini araştırmışlardır. Huang ve ark. (2005) tarafından değişken kırılma indisli emici, yansıtıcı ve yayıcı levhada ışınım ile ısı transferinin Monte Carlo modellemesi gerçekleştirilmiştir. Liu ve Wen (2002) yerçekimi etkisinde alevin CFD simülasyonunda türbülans modellemelerinin etkilerini incelemişlerdir.

Diğer tüm ürünler gibi otomotiv aydınlatma sektöründe de ürünler devamlı gelişim içindedir. Otomotiv pazarında küreselleşmenin tetiklediği rekabet ana sanayileri devamlı olarak teknolojik ürünler kullanmanın yanı sıra maliyet düşürme mecburiyetine de sokmaktadır. Aydınlatma ürünleri olarak tasarımdan sonra yapılacak olan herhangi bir değişiklik yüksek maliyet gerektirdiği için tasarım aşaması çok daha önemli bir hale gelmektedir. CFD ile termal analiz de tasarım aşamasının vazgeçilmez bir kısmı olduğundan dolayı CFD analizlerinin hassaslaştırılması, daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi gibi birçok farklı konularda araştırmalar, incelemeler ve çalışmalar devam etmektedir.

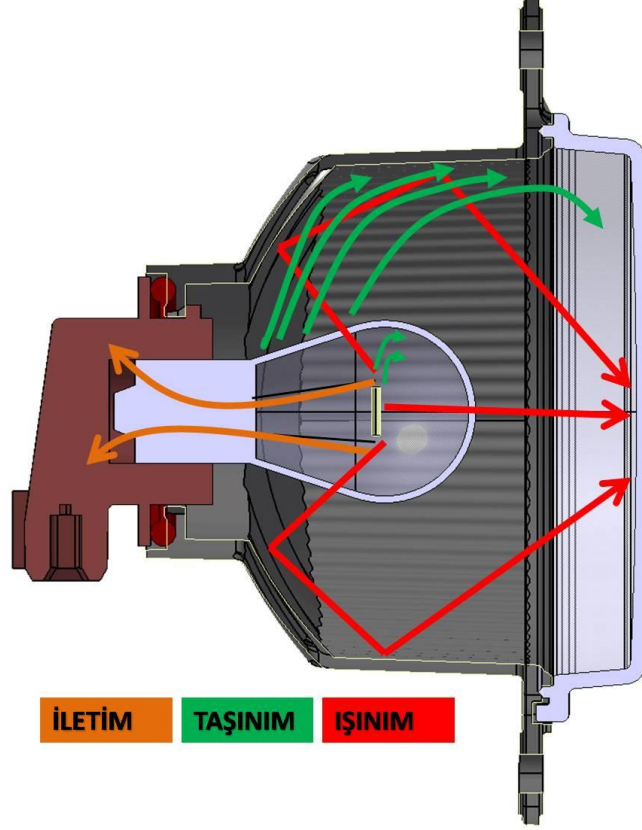
Otomotiv dış aydınlatma lambalarında LED, akkor ampul, halojen ampul ve ksenon ampul gibi farklı ışık kaynakları kullanılmaktadır. LED tipi ışık kaynaklarında oluşan ısı ampullere göre çok daha az olmakla beraber, LED’ de oluşan ısının büyük bir kısmı iletimle elektronik kart üzerine doğru iletilmektedir ve LED’ in kendi aydınlatma performansını direkt olarak etkileyebilmektedir. Ampullerde ise oluşan ısı enerjisi daha fazla olup bu enerjinin büyük bir kısmı etrafa ışınım ile dağılmaktadır. Ürünlerin asli görevi olan aydınlatma performansının kontrol altında olması için her tip otomotiv dış aydınlatma lambasının uyması gereken bazı regülasyonlar vardır ve bunlardan en önemlisi de lambanın aydınlatma performansı ile ilgilidir. Her farklı ünite için farklı

aydınlatma değerleri gerekirken regülasyonlarca belirlenen aydınlatma performansının yakalanabilmesi için ürünlerde optik tasarım gerçekleştirilmektedir. Işık kaynağından çıkan ışığın istenildiği şekilde yansıtılması için reflektör denilen ve çoğu kez mükemmel yansıtma sağlaması için hassas bir yüzeyi olan ve alüminyum kaplanan özel tasarımlı yansıtıcılardan faydalanılır. Alüminyum kaplama ışığı çok iyi yansıtmasının yanı sıra özellikle akkor ampul gibi çevresine yüksek ışınım enerjisi yayan ışık kaynaklarından gelen fotonları da çok iyi yansıtarak reflektörün daha az ısınmasını sağlamaktadır. Eğer lamba alüminyum kaplama olmadan da istenilen ışık performansı sağlayabiliyorsa alüminyum kaplama maliyetinden kaçınılmak istenebilmektedir fakat böyle durumlarda oluşabilecek ısı problemleri iyi tespit edilmelidir. Bu tespit yapılabilmesi ise iletim, taşınım ve ışınım ile olan her üç tip ısı transfer mekanizmasıyla akışkan hareketlerinin içi içe olduğu sistemlerin simülasyonunu yapabilen CFD yazılımlarıyla mümkün olabilmektedir.

Otomotiv dış aydınlatma sektöründe, alüminyum kaplamalı ve kaplamasız reflektörlerin lambada oluşan sıcaklık dağılımına etkilerinin birbirleriyle kıyaslanması ihtiyacına karşılık olarak yapılan bu yüksek lisans çalışmasında kaplama etkisinin iyi tespit edilebilmesi için hem alüminyum kaplamalı hem de alüminyum kaplamasız ürünler termal açıdan incelenmiştir. Ayrıca reflektör renginin de lamba içerisindeki sıcaklık dağılımına etkisini görebilmek için alüminyum kaplamasız ürünler gri ve siyah renk şeklinde iki tip olarak ele alınmıştır. Alüminyum kaplamalı lamba, alüminyum kaplamasız gri reflektörlü lamba ve yine alüminyum kaplamasız siyah reflektörlü lambanın termal açıdan inceleme sonuçları birbirleriyle kıyaslamalı olarak irdelenmiş, bu sayede reflektördeki alüminyum kaplamanın ve reflektör renginin lambadaki sıcaklık dağılımına etkisi ortaya çıkarılmıştır. Son olarak da gerçek sıcaklık ölçümleriyle analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

1. KURAMSAL TEMELLER

Otomotiv aydınlatma ürünlerinde ışık kaynaklarına verilen enerjinin çok büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısı enerjisi her üç tip ısı transfer mekanizmasıyla dış ortama transfer olmaktadır. (Şekil 1)



Şekil 1. Örnek lambadaki ısı transfer mekanizmaları

Örneğin akkor ampullü bir üründe ampul filamanı, üzerinden geçen elektrik akımıyla çok yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Filamanın yüksek sıcaklığı sayesinde etrafına yaydığı fotonlardan bazıları görülebilir dalga boyuna ulaşmasıyla ışık elde edilmiş olup, bunların haricinde termal radyasyon aralığında kalan birçok foton da filamandan eş zamanlı olarak çevreye yayılmaya devam etmektedir ki bu da ışınlama ile ısı transferini oluşturmaktadır. Ayrıca sıcak filaman etrafındaki ampul içi gazı taşınım ile filamanı soğutmaktadır. Benzeri olarak da ampul içi gaz ile ampul camı arasında, sıcak ampul camı ile etrafındaki soğuk hava arasında, ampul camından ısınan hava ile gövde ve lens duvarları arasında, gövde ve lens dış yüzeyleriyle dış ortam arasında taşınım ile

ısı transferi mevcuttur. Son olarak da filamandan ampul tutucuya doğru filaman ayakları boyunca iletimle ısı transferi gerçekleştirmektedir.

Bütün ısı transfer mekanizmaları ile birlikte lamba içerisinde akışkan hareketlerinin de yoğun bir şekilde gerçekleşmesi ürünün termal açıdan nümerik olarak incelenmesinde ilgili konuların üzerinde hassasiyetle durulması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

1.1. Isı Transferi

Isı, sıcaklık farkından dolayı bir sistemden diğerine transfer olan enerji formudur. Isı olarak enerji transferi her zaman yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşir ve her iki sistemde aynı sıcaklığa ulaştığı zaman enerji transferi de durur.

Isı üç farklı yolla transfer olabilir; *iletimle, taşınım ile ve ışınlama*. Bu üç farklı ısı transfer mekanizması da yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru gerçekleşir.

1.1.1. İletimle ısı transferi

İletim bir cismin partiküllerinin etkileşiminden dolayı yüksek enerjilik partikülünden komşusu olan düşük enerjilik partiküle doğru gerçekleşen enerji transferidir. (Çengel 2003)

Isı transferi büyüklüğün yanı sıra bir yöne de sahiptir. Belirli bir yöndeki ısı iletimi o yöndeki birim uzunluğa göre sıcaklık değişimine doğru orantılıdır. Bir ortamda ısı transferi genellikle üç boyutta olur ve zamana bağlıdır. Zamanla ortamda herhangi bir konumdaki sıcaklık değişmiyorsa bu duruma denge hali, eğer zamanla belirli bir noktadaki sıcaklık değeri değişiyorsa bu duruma da geçiş hali denir.

Anizotropik malzemelerde ısı transferi *Fourier' in Kanunu'* na göre;

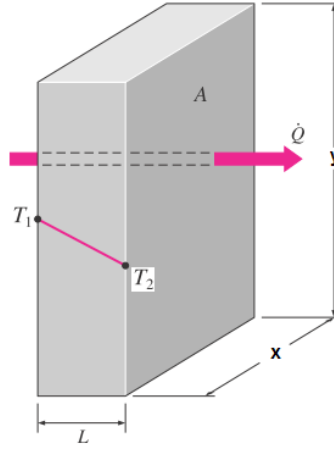
$$\vec{Q}_n = \dot{Q}_x \vec{i} + \dot{Q}_y \vec{j} + \dot{Q}_z \vec{k} \quad (1.1)$$

Buradaki i, j, k birim vektör ve \dot{Q}_x, \dot{Q}_y ve \dot{Q}_z de x, y, z yönündeki ısı transfer büyüklükleridir.

$$\dot{Q}_x = -k_x A_x \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dot{Q}_y = -k_y A_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{ve} \quad \dot{Q}_z = -k_z A_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1.2)$$

Burada k_x , k_y ve k_z malzemenin yöne bağılı olarak tanımlanan ısı iletim katsayısıdır. Bir malzemenin ısı iletim katsayısı birim kalınlıkta, birim alanda ve birim sıcaklık farkında meydana gelen ısı transferi oranı olarak tanımlanır. (Çengel 2003) Mühendislik sistemlerinde çoğu malzeme izotropik özelliktedir ve tüm yönlere doğru ısı iletim katsayısı aynı değerdedir. İzotropik bir malzemede tek yöne doğru gerçekleşen ısı transferi (Şekil 2) denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\dot{Q}_{iletim} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1.3)$$



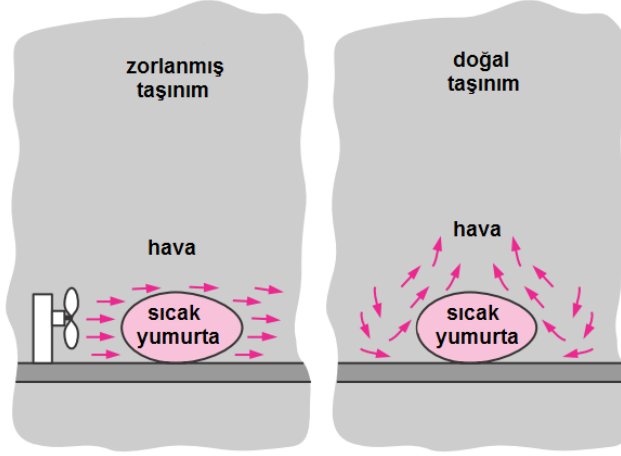
Şekil 2. Tek yönde ısı iletimi

1.1.2. Taşınım ile ısı transferi

Taşınım katı cisim yüzeyi ile çevresini saran hareketli gaz veya sıvı arasında gerçekleşen ısı transferidir ve hem iletim hem de akışkan hareketlerinin etkilerini içermektedir. Hareketsiz bir akışkan ile katı yüzey arasındaki ısı transferi sadece iletimle olur, akışkan hareketlerinin olması durumunda bu durum ısı transferini artırıcı yönde etki yapar. Akışkan hareketi ne kadar fazla ise o kadar fazla ısı transferi gerçekleşir fakat aynı zamanda da ısı transferi oranlarını belirlemeyi de o kadar zor hale getirir. (Çengel 2003)

Taşınım, akışkan hareketleri eğer fan, pompa, rüzgar gibi herhangi bir dış sebeple sağlanıyorsa *zorlanmış taşınım*, eğer herhangi bir dış etkiye bağlı olmadan sadece ısınan

gazın oluşturduğu yoğunluk farkında dolayı akışkan hareketleri meydana geliyorsa *doğal taşınım* olarak adlandırılır. (Şekil 3)



Şekil 3. Zorlanmış taşınım ve doğal taşınım

Taşınım ile ısı transferinin karmaşıklığına rağmen ısı transferi basite indirgenmiş şekilde *Newton' un soğuma kanunu* ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\dot{Q}_{taşınım} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad (1.4)$$

Burada h katı yüzey ile akışkan arasındaki ısı taşınım katsayısı, A_s yüzey Alanı, T_s yüzey sıcaklığı ve T_∞ de akışkan sıcaklığıdır.

Karışık taşınım çalışmalarında denklemleri boyutsuzlaştırarak ve gruplandırılarak toplam değişken sayısını azaltmak genel bir uygulamadır. Isı taşınım katsayısını da *Nusselt sayısı* ile boyutsuzlaştırmak da en genel uygulamalardan biridir.

$$Nu = hL_c/k \quad (1.5)$$

Burada k akışkanın ısı iletim katsayısı, L_c karakteristik uzunluktur. Nusselt sayısı katı ve akışkan arasında gerçekleşen ısı transfer mekanizmaları taşınım ve iletimle ısı transferlerinin birbirine oranıdır.

Doğal taşınım ile ısı transferinde önemli bir boyutsuz büyüklük olan *Grashof sayısı* akışkan yoğunluk farkından dolayı oluşan kaldırma kuvveti ile akışkanın viskozitesi gereği katı yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti gibi büyüklüklerin birbirleriyle ilişkisinin ölçüsüdür. (Şekil 4)

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_y - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad (1.6)$$



Şekil 4. Grashof sayısı, kaldırma kuvveti ile sürtünme kuvveti arasındaki ilişki

Doğal taşınımında ortalama *Nusselt sayısı* Nu için sabit ampirik ifade aşağıdaki gibidir.

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = CRa_L^n \quad (1.7)$$

Buradaki *Rayleigh sayısı* Ra_L sayısı Grashof ve Prandtl sayılarından meydana gelmektedir.

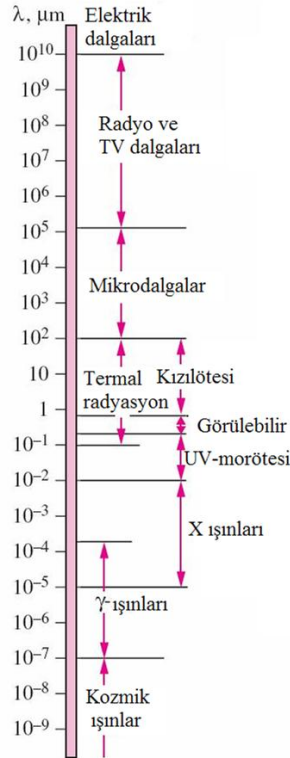
$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_y - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (1.8)$$

1.1.3. Işınlı ısı transferi

Atomların veya moleküllerin elektronik konfigürasyonundaki değişimlerinin bir sonucu olarak maddenin etrafına elektromanyetik dalga (ya da foton) formunda yaydığı enerjiye *ışınım* denir. Taşınım ve iletimden farklı olarak ışınlı ısı transferi herhangi bir ara ortam gerektirmemektedir. Gerçekte, ışınlı ısı transferi olan ısı enerjisi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve vakumda herhangi bir sönümlenme oluşmamaktadır. Güneş enerjisi de dünyamıza ışınlı ısı transferi ile ulaşmaktadır.

Isı transferi konularında cisimlerin sıcaklıklarından dolayı yaydığı termal radyasyon dikkate alınmaktadır. Termal radyasyon x – ışınları, gamma ışınları, mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi diğer formlardaki elektromanyetik dalgalara (Şekil 5) göre farklılık

göstermektedir ki termal radyasyon sıcaklığa bağlı iken diğerleri sıcaklık ile ilişkili değildirler. (Çengel 2003)



Şekil 5. Elektromanyetik dalga spektrumu

Mutlak sıcaklık 0 °K üzerindeki her cisim çevresine elektromanyetik dalgalar şeklinde termal radyasyon yaymaktadır. Bu elektromanyetik dalgalar cismin sıcaklığıyla doğru orantılı olacak şekilde enerji içermektedirler ve dalga boyu kısaldıkça içerdiği enerji artmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki ürün daha fazla enerji içeren dalgalar dolayısıyla etrafına daha kısa dalga boylarında foton yaymaktadır. Siyah cismin birim sıcaklıkta, birim zamanda, birim yüzey alanında ve birim dalga boyunda yaydığı enerjiyi yani *spektral siyah cisim yayma enerjisini* veren eşitlik *Planck kanunu* olarak tanımlanmıştır. (Çengel 2003)

$$E_{b\lambda}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (\exp(C_2/\lambda T) - 1)} \quad (1.9)$$

Burada;

$$C_1 = 2\pi^5 k^4 / 15 = 3.742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$$

$$C_2 = hc_0/k = 1.439 \times 10^4 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Eşitlik (1.9) tüm dalga boyları aralığında integre edilirse;

$$E_b(T) = \int_0^{\infty} E_{b\lambda}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (1.10)$$

elde edilmiş olur. T_s sıcaklığındaki bir yüzeyden yayılabilecek maksimum ışınım miktarı *Stefan - Boltzmann kanunu* ile verilmektedir.

$$\dot{Q}_{\text{ışınım maks.}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (1.11)$$

Burada σ *Stefan - Boltzmann sabiti* olarak verilmektedir ve değeri 5.67×10^{-8} W/m^2K^4 , dir. Maksimum oranda ışınım yapan ideal yüzeye *siyah cisim* denilmektedir ve siyah cisim tarafından yayılan ışınım da *siyah cisim radyasyonu* denilmektedir. Bütün gerçek yüzeylerden yayılan radyasyon enerjileri aynı sıcaklıkta siyah cisim tarafından yayılandan daha düşüktür ve;

$$\dot{Q}_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (1.12)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ε yüzeyin *yayma katsayısıdır*. $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığında olan yayma katsayısı o yüzeyin $\varepsilon = 1$ olan siyah cisme ne kadar yakınsadığının bir göstergesidir.

Diğer bir önemli radyasyon özelliği de yüzeye gelen radyasyon enerjisinin yüzey tarafından ne kadar emildiğinin göstergesi olan α *emme katsayısıdır*. Yayma katsayısına benzer $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığında olan emme katsayısı üzerine gelen tüm radyasyon enerjisini yutan siyah cisim için $\alpha = 1$ değerindedir. (Çengel 2003)

Genel olarak yüzeyin ε ve α değerleri sıcaklık ve dalga boyuna bağlıdır. *Kirchhoff kanununa* göre çevresi ile termodinamik denge halindeki bir yüzeyin belli sıcaklıkta ve belli dalga boyunda yaydığı ve yuttuğu ışınım enerjileri birbirine eşittir.

$$\varepsilon A_s T^4 = \alpha A_s T^4 \quad (1.13)$$

Dolayısıyla;

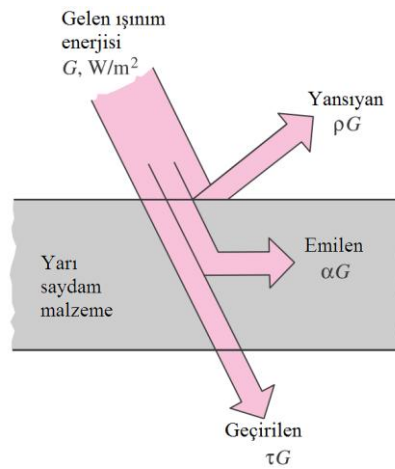
$$\varepsilon(T) = \alpha(T) \quad (1.14)$$

şeklinde sadeleştirilebilir. (Çengel 2003)

Çevremizdeki her cisim daimi olarak etrafına ışınlam yayarlar (E) ve diğer cisimlerden ışınlam alırlar (G). Cisim üzerine gelen bu ışınlam enerjisinin bir kısmı cisim tarafından yutulur, bir kısmı geri yansıtılır ve eğer geriye kalıyorsa bir kısmı da karşıya geçirilir. (Şekil 6) Cismin bu özelliklerine *emme* (α), *yansıtma* (ρ), *geçirme* (τ) *katsayıları* denir ve;

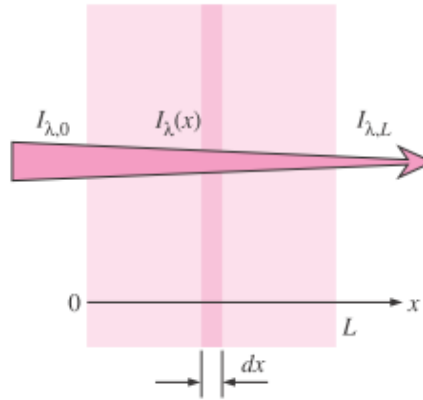
$$\alpha(T, \lambda) + \tau(T, \lambda) + \rho(T, \lambda) = 1 \quad (1.15)$$

şeklinde eşitliğe sahiptirler.



Şekil 6. Yarı saydam malzeme üzerindeki ışınlam enerjisi

Yarı saydam ortamlardan geçen termal radyasyonda ortam tarafından bir kısmının emilmesi neticesinde azalma olur. (Şekil 7) Bu azalma ise o ortamın özelliğine göre değişkenlik gösterir. Ortamdan geçen radyasyonun azalma miktarı kendi yoğunluğu ile ve ortamda kat ettiği yol ile doğru orantılıdır.



Şekil 7. Emici ortamdaki geçen radyasyonun azalması

Bu durum *Beer kanunu* olarak bilinmektedir ve;

$$dI_{\lambda}(x) = -\kappa_{\lambda}I_{\lambda}(x)dx \quad (1.16)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Orantının sabiti olan κ_{λ} ortamın *spektral emme katsayısıdır* ve birimi $1/m'$ dir. Eşitlik (1.16) gerekli aralıkta integre edildikten sonra $x = L'$ de ortamdaki radyasyonun $x = 0'$ daki ortama giren radyasyona oranı şeklini alır ki bunu da yansımının olmadığı kabulüyle spektral geçirgenlik olarak tanımlayabiliriz.

$$\tau_{\lambda} = \frac{I_{\lambda,L}}{I_{\lambda,0}} = e^{-\kappa_{\lambda}L} \quad (1.17)$$

Ortam tarafından herhangi bir radyasyon emilmesi olmadığında $\tau_{\lambda} = 1$ olur ki bu da ortamdaki geçen radyasyonun yoğunluğunda herhangi bir değişikliğin olmadığı anlamına gelir.

Yansıtma özelliği olmayan ortamdaki geçen radyasyon ya emilir ya da karşıya geçer yani $\alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$ olur. Bu durumda spektral emme katsayısı;

$$\alpha_{\lambda} = 1 - \tau_{\lambda} = 1 - e^{-\kappa_{\lambda}L} \quad (1.18)$$

olur ve Kirchoff kanununa göre;

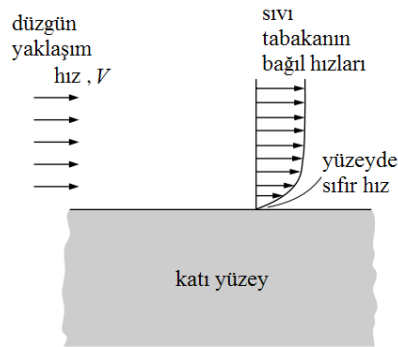
$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} = 1 - e^{-\kappa_{\lambda}L} \quad (1.19)$$

şeklini alır. (Çengel 2003)

1.2. Akışkanlar Mekaniği

Mekanik, kuvvet altındaki sabit konumda veya hareketli gövdeleri inceleyen en eski bilim dalıdır. Sabit konumdaki cisimleri inceleyen kola statik, hareketli cisimleri inceleyen branşa dinamik denmektedir. Alt kategori *akışkanlar mekaniği*, durgun haldeki akışkanları (akışkanlar statikliği) veya hareketli akışkanları (akışkanlar dinamiği) ve akışkanın sınır tabakada katı ile veya başka bir akışkanla etkileşimini inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır.

Herhangi bir yüzey üzerindeki akışta yüzeye temas eden noktada akışkan hızı sıfırdır. Akışkanın viskozitesi sebebiyle yüzeyde hızı sıfır olan sıvı hemen üstündeki akış profilini de yavaşlatmaktadır, yavaşlayan akış profili de bir üstündeki profili yavaşlatmaktadır. Bu sebeple sürtünme kuvvetleri etkisiyle yüzey üzerinde sıfırdan maksimum akış hızının olduğu noktaya doğru artarak giden hız profilleri oluşur ki bu bölgeye *sınır tabaka* denilmektedir. (Şekil 8) Sınır tabakadaki akışkanın sıcaklık profilleri de aynı hız profillerine benzer şekilde oluşmaktadır.



Şekil 8. Sınır tabakadaki hız profilleri

Sınır tabakadaki akış alanı hakkında öngörüle bulunulmak için kütle korunumu ve momentumun korunumu denklemleri kullanılmaktadır. (Lienhard IV ve Lienhard V 2003)

1.2.1. Süreklilik denklemi

Sürtünmesiz sürekli akışlarda moleküllerin izlediği yol düzgün akış çizgisi halindedir (Lienhard IV ve Lienhard V 2003) ve bu düzgün akış çizgilerindeki kartezyen koordinat sisteminde en genel *süreklilik denklemi*;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1.18)$$

şeklindedir ve sürekli ($d\rho/dt = 0$) sıkıştırılmaz ($\rho = sbt$) akışlar için;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.19)$$

olarak kullanılır.

Tek boyutlu sürekli bir akış için sisteme giren kütle ile sistemden çıkan kütle birbirine eşittir ve aşağıdaki formda da gösterilmektedir.

$$\dot{m}_c = \rho_1 U_1 A_1 = \rho_2 U_2 A_2 = \dot{m}_g \quad (1.20)$$

1.2.2. Momentum denklemi

Sınır tabakadaki sonlu küçük kontrol hacmini dikkate aldığımızda, *Newton' un 2. Hareket Kanunu* gereği kontrol hacmine etkiyen tüm kuvvetlerin toplamı kontrol hacminin momentumundaki net değişim oranına eşit olmalıdır. Sınır tabakada iki tip kuvvet kontrol hacmini etkilemektedir; hacimle orantılı olan *gövde kuvvetleri*, alanla orantılı olan *yüzey kuvvetleri*. Ağırlık, santrifüj, manyetik ve/veya elektrik alanlar etkileri toplam gövde kuvvetlerine girmektedir. Yüzey kuvvetleri de akışkan statik basıncı ve viskozite etkisiyle oluşmaktadır. (Incropera ve DeWitt 1990)

Genel durum olarak sınır tabaka; sıkıştırılmaz ($\rho = \text{sbt}$), sabit özelliklere sahip (k, μ vs...), göz ardı edilebilen gövde kuvvetleri, kimyasal reaksiyonsuz ve enerji üretiminin olmaması ($\dot{q} = 0$) durumu olarak kabul edilebilir.

Bunların yanı sıra kartezyen koordinat sisteminde hız sınır tabakası için,

$$u \gg v \quad , \quad \frac{\partial u}{\partial y} \gg \frac{\partial u}{\partial x} \quad , \quad \frac{\partial v}{\partial x} \quad , \quad \frac{\partial v}{\partial y}$$

ve termal sınır tabaka için,

$$\frac{\partial T}{\partial y} \gg \frac{\partial T}{\partial x}$$

yaklaşımları yapılabilir. (Incropera ve DeWitt 1990)

Sınır tabaka yaklaşımları ve kabulleriyle kartezyen koordinat sisteminde momentum denklemi;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1.21)$$

şeklini alır.

1.2.3. Enerji denklemi

Sıkıştırılmaz akışlar için farklı kabuller ve yaklaşımlarla enerji denklemi;

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + \dot{q} \quad (1.22)$$

şeklinindedir. Burada yapılan kabuller ve yaklaşımlar;

- Akışkan sıkıştırılmazdır.
- Akıştaki basınç değişimleri termodinamik özellikleri değiştirecek kadar büyük değildir.
- Sıcaklık değişimleri ısı iletim katsayısı (k) ve yoğunluğu (ρ) değiştirmemektedir.
- Termal enerji değişimlerine kıyasla potansiyel ve kinetik enerji değişimleri göz ardı edilebilir seviyededir.
- Viskoz gerilimler akışkanı önemli derecede ısıtacak kadar enerji yaymamaktadırlar.

Sürekli iki boyutlu akış alanında enerji kaynağı olmadan kartezyen koordinat sistemi için enerji denklemi;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1.23)$$

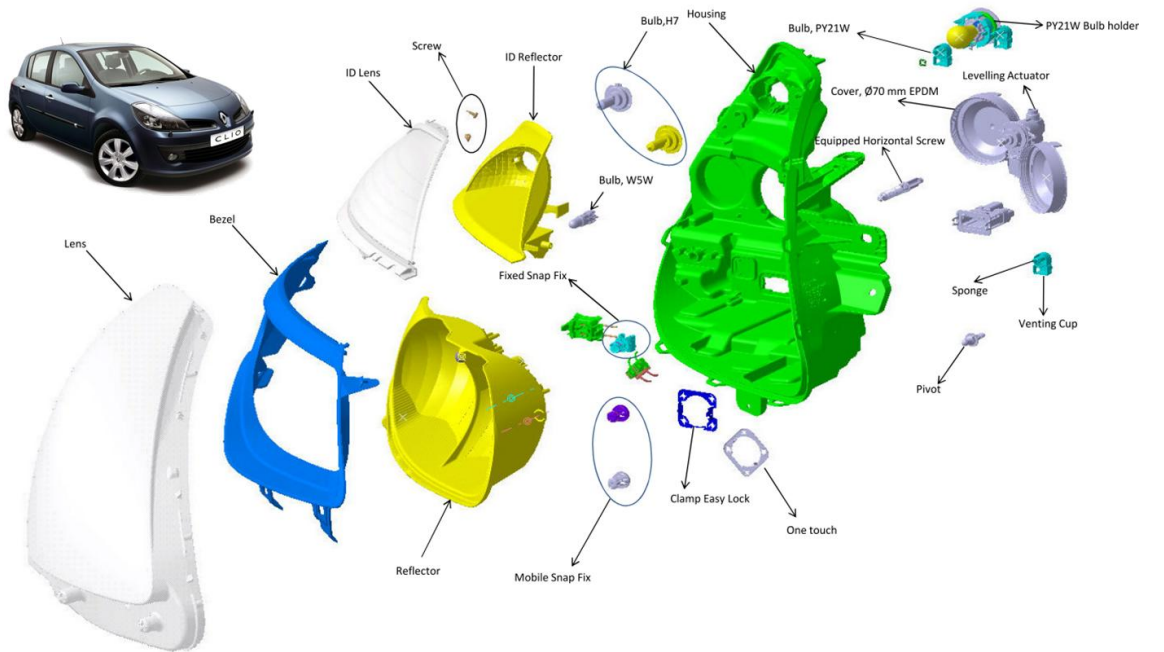
halini alır. Ayrıca sınır tabakada $\partial^2 T / \partial x^2 \ll \partial^2 T / \partial y^2$ kabulüyle enerji denklemi;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1.24)$$

2. OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA ÜRÜNLERİ

2.1. Genel Bilgi

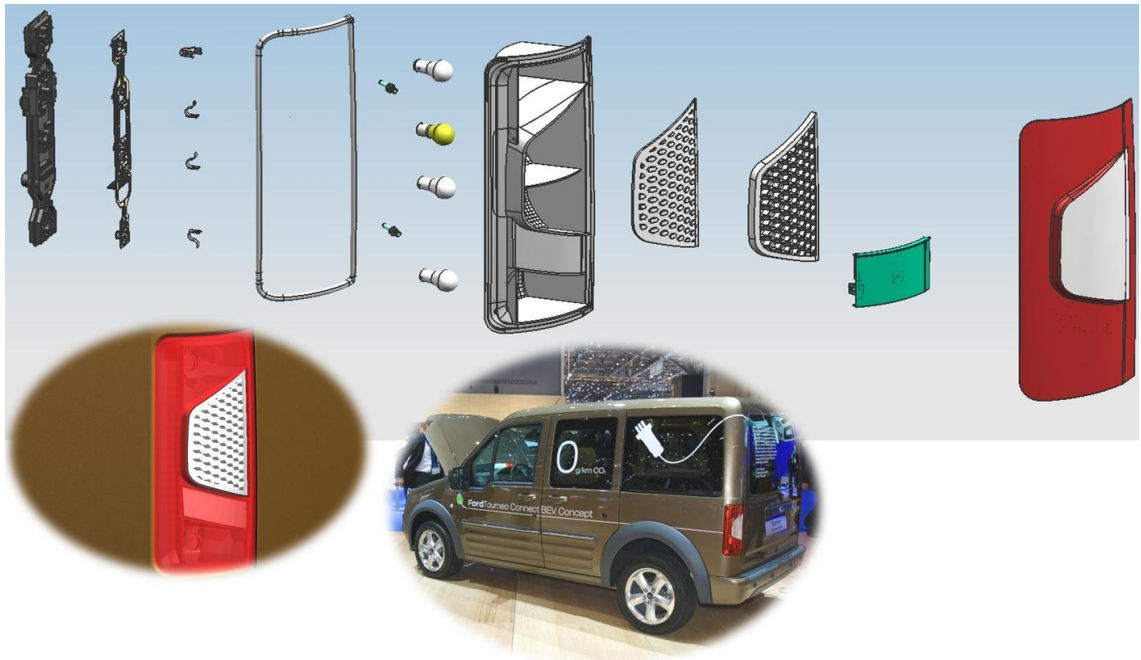
Otomotiv dış aydınlatma ürünleri aracın önünde, arkasında ve yanında bulunmaktadır. Araç önündeki aydınlatma ürünleri, karanlık ortamda sürücünün önünü görmesini sağlayan ön farlar, diğer sürücülere aracın döneceği yönü belirtmek için kullanılan sinyalizasyon grubu ve bazı araçlarda sisli havalarda sürücünün daha iyi görmesini sağlayan sis lambasından oluşmaktadır. Aracın arka kısmında ise, karanlık ortamda aracın arkadan gelen sürücüler tarafından rahatlıkla görülebilmesini sağlayan pozisyon lambaları, aracın yavaşlaması halinde arkadan gelen sürücülere bilgi veren fren lambası ve yine aracın döneceği tarafı belirten sinyalizasyon ünitesi bulunmaktadır. Bunlara ilaveten sisli havalarda aracın arkadaki diğer sürücüler tarafından daha iyi görülmesini sağlayan sis lambaları, aracın geri manevrasında sürücünün araç arkasını görmesini sağlayan geri vites lambası ve diğer araçlardan gelen ışığı direkt geri yansıtan retro-reflektör bulunmaktadır. Aracın yan bölümde de ön ve arkadaki lambalara nazaran daha küçük boyutta olan sinyal veya pozisyon lambası olabilmektedir.



Şekil 9. Örnek otomobil ön farı alt parçaları

Araç ön farı yardımcı küçük parçaların haricinde, ışık kaynağı görevi yapan ve fonksiyonuna göre farklı tipte kullanılan ampuller, bu ampullerden çıkan ışığı istenilen şekilde yansıtan reflektörler, lambanın komple dış gövdesi ve gövdenin önünü kapatan lensten mevcuttur. (Şekil 9)

Araç arka aydınlatma grubu da yardımcı küçük parçaların haricinde, ana parçalar olarak ışık kaynağı görevi yapan ve fonksiyonuna göre farklı tipte kullanılan ampuller, bu ampullerden çıkan ışığı istenilen şekilde yansıtan reflektör görevi gören gövde ve gövdenin önünü kapatan lensten oluşmaktadır. (Şekil 10)



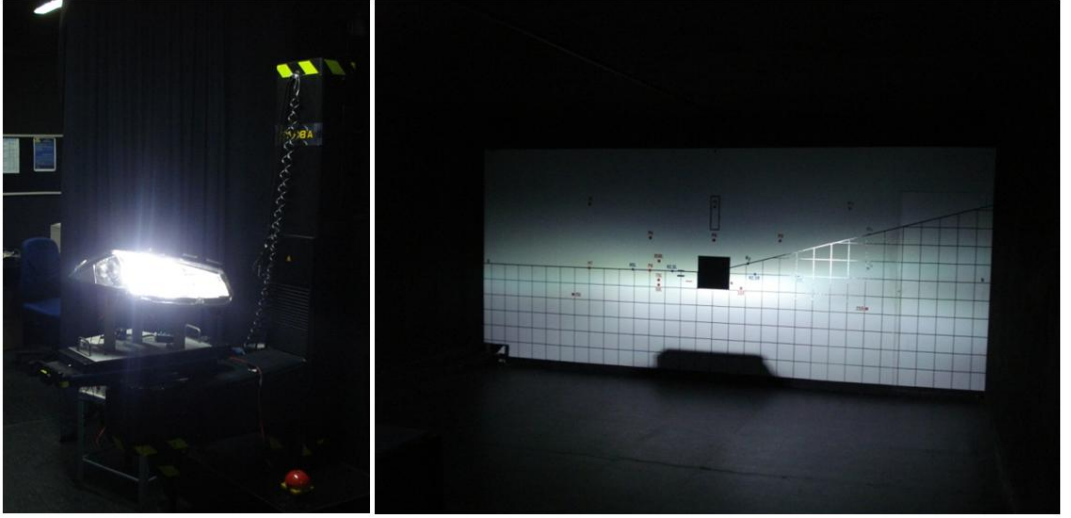
Şekil 10. Örnek otomobil arka lambası alt parçaları

2.2. Optik Tasarım

Her otomotiv aydınlatma lambası bir takım regülasyonlara tabidir ve bu regülasyonlar Avrupa ve bazı diğer ülkelerde geçerli olan ECE regülasyonu, Kuzey Amerika' da kabul gören SAE ve FMVSS regülasyonları ve benzerleri gibi farklı bölgelere göre farklı kabuller içeren değişikliklere sahiptirler. Regülasyonlarda lambanın araç üstündeki konumu ve lambanın asli görevi olan aydınlatma işlevi gibi tüm konular bazı kısıtlamalar ve kurallar altına alınmıştır. Ürün aracın satılacağı pazarda kabul gören regülasyonlara tamamen uygun olarak tasarlanmalıdır. Bu regülasyonlarca belirlenen sınırlar çerçevesinde lamba belirli optik kurallara uymak ve

optik performansa sahip olmak zorundadır. Lamba tasarlanırken ürünün optik tasarımı profesyonel bilgisayar yazılımlarından faydalanılarak gerçekleştirilir ve bilgisayar tasarımı haricinde gerekli görülürse prototipler ile kontrol edilir.

Ürün tasarımı bitip seri üretime hazır olduğu zaman gerçek kalıplardan çıkan lamba akredite kuruluşlarda testlere tabi tutularak hedeflenen regülasyona uygunluğu tescillenir. (Şekil 11)



Şekil 11. Gerçek optik ölçümü

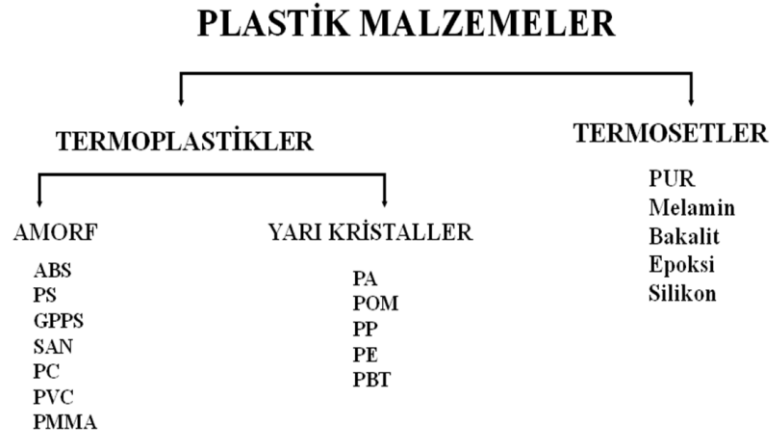
Araç ön farında optik kurallar yaklaşık son 15 yıla kadar lamba lensi üzerindeki ışık kırıcılar ile sağlanırken teknolojinin gelişmesinin etkisi olarak artık günümüzde lamba gövdesi üzerinde kolayca uygulanabilen optik yüzeylerle sağlanmaktadır. Bu optik yüzeyler ışığı en iyi yansıtması için mükemmel parlak şekilde üretilir ve alüminyum kaplanırlar. (Şekil 12)



Şekil 12. Eski tip lens üzeri optik ile yeni tip reflektör üzeri optik yüzey

2.3. Kullanılan Plastik Malzemeler

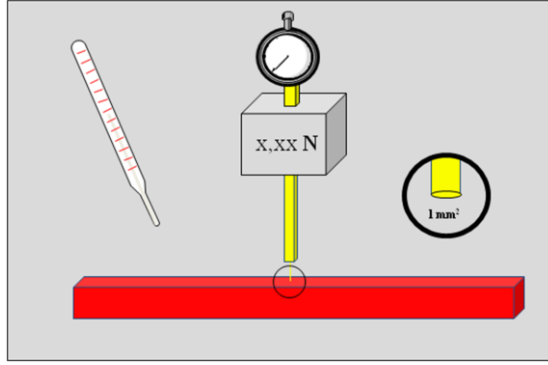
Otomotiv aydınlatma sektöründe kullanılan plastik malzemeler termoset ve termoplastikler olarak ikiye ayrılırlar. (Şekil 13) Termosetler çok yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir ve araç ön far reflektörü gibi yüksek ısının olduğu yerlerde kullanılmaktadırlar. Termoplastikler ise ön far lensi ve gövdesi ile özellikle düşük enerjili ampullerin kullanıldığı araç arka aydınlatma lambaları gibi daha az sıcaklığın olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Araç arka aydınlatma grubunda en yaygın kullanım olarak amorf termoplastiklerden ABS, PC-ABS ve opak PC lamba gövdesi için, PMMA ve yarı şeffaf PC de lens malzemesi için tercih edilmektedir. Teknolojiye paralel olarak plastik malzemeler de devamlı gelişim ve yenilik içerisindedirler. Son yıllarda termoset gibi çok yüksek sıcaklıklara dayanabilen termoplastik malzemeler de piyasa çıkmıştır.



Şekil 13. Otomotivde kullanılan plastik malzemeler

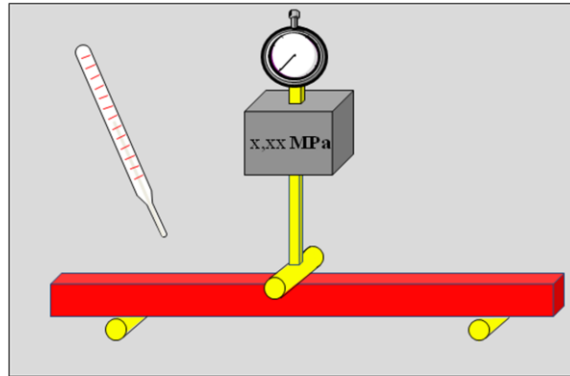
Amorf malzemeler geniş bir sıcaklık aralığı boyunca yumuşama özelliği gösterdiği için bu malzemelerin sıcaklıklara dayanımını belirleyen ve yumuşama noktasını tanımlamayan dünyada standart haline gelmiş farklı ölçüm teknikleri vardır. Bunlar Vicat ve HDT sıcaklıklarıdır.

Vicat yumuşama sıcaklığı: Isıtma sıvısı içerisindeki plastik levha şeklindeki numuneye 1 mm² alana sahip düz kesitli iğne belirli bir yük uygular. Sıvı sabit bir oranla ısıtmaya başlar ve test iğnesi plastiğe 1mm girdiği sıcaklık Vicat değeri olarak kaydedilir. (Şekil 14) Uygulanan kuvvet ve sıvının ısıtılma hızına göre farklı Vicat değerleri tanımlanmaktadır.



Şekil 14. Vicat yumuşama sıcaklığı tayini

HDT (heat deflection temperature) sıcaklığı: Isıtma sıvısı içerisindeki plastik test çubuğu 3 noktalı eğme modülüne bağlanır ve üzerine belirli bir yük uygulanır. Sıvı sabit bir oranla ısıtılmaya başlar ve test çubuğunun belli bir oranda sehim yaptığı sıcaklık HDT değeri olarak kaydedilir. (Şekil 15) Uygulanan basınç ve sıvının ısıtılma hızına göre farklı HDT değerleri tanımlanmaktadır.



Şekil 15. HDT yumuşama sıcaklığı tayini

CFD ile yapılan termal analiz veya gerçek ölçümler sonucunda elde edilen lamba üzerindeki sıcaklık değerleri lambanın neresinde olduğu dikkate alınarak bu standart haline gelmiş malzeme özelliklerine göre yorumlanırlar.

2.4. Ürün Testleri

Tasarımı bitmiş ürün seri üretim öncesi bir takım testlerden geçerek istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Ürünün tasarımı aşamasında tasarım geçerlilik planı (Design Validation Plan – DVP) şeklinde bitmiş ürüne uygulanacak testler belirlenir. Aydınlatma ürünü için ana sanayilerin (Original Equipment Manufacturer – OEM) kendi belirlediği testler tasarım geçerlilik planında yer alır. Bu

plan yüksek voltaj, ters kutup, mekanik şok, çakıl bombardımanı, buzlu su şoku, yağmurlama, kimyasal dayanıklılık ve yüksek sıcaklıkta çalışma testi gibi aracın farklı yol, ortam, iklim ve yörelerde birçok zorlu gerçek sürüş koşullarına benzer testler içermektedir ve aracın garanti süresini baz alarak ürünün sağlamlığının tespitini amaçlamaktadır. Ürünün seri üretimine ancak bu testleri başarılı şekilde geçtikten sonra başlanabilir.

Ürüne hangi testlerin yapılacağı ve o testlerin hangi şartlarda yapılacağı ana sanayiler arasında farklılık gösterebilir. Örneğin bir ana sanayi yüksek sıcaklıkta yanma testini 60 °C olarak isterken başka bir ana sanayi 50 °C isteyebilir.

Tasarım geçerlilik planında sıcaklıkla ilgili en önemli test farklı ortam sıcaklıklarında ampul yakma testidir. Bu testte ürün test firmı (Şekil 16) içerisinde test şartnamesinde belirtilen ortam sıcaklığı grafiği ve yanma senaryosuna bağlı olacak şekilde ampullerin yakılmasıyla gerçekleştirilir. (Şekil 17)



Şekil 16. Örnek test fırını

5.7 Aging in mechanically circulated air, with load

The specimen must be mounted in a test rack with the prescribed torque in as-installed position. No direct air flow to the specimen is permissible (air flow speed > 0.5 m/s < 2.0 m/s).

Light operating voltage
Light type

13.5 V
acc. to drawing

Lights

- 1 Taillight
- 2 Back-up light
- 3 Rear fog light
- 4 Turn signal light
- 5 Stop light (multi-chamber rear light)
- 6 Indication and side marker light
- 7 License plate light
- 8 Stop light,
High-mounted stop light
(stop and go)

Load

- continuously switched on
5 min ON, 5 min OFF
continuously switched on
intermittent, with flasher
20 s ON, 5 s OFF (stop and go)
continuously switched on
continuously switched on
20 s ON, 5 s OFF

1 Taillight



2 Back-up light



3 Turn signal light



5 Stop light



6 Indication and side marker light



7 License plate light

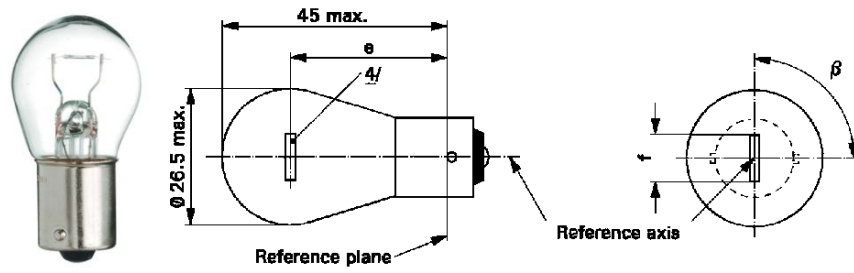


8 High-mounted stop light



Şekil 17. Örnek ampul yakma test senaryosu

çıkmiştir. Işık yayması için çok fazla ısıtılan filaman yaydığı ışık miktarından çok daha fazla şekilde kızıl ötesi radyasyon saçmaktadır ve bu da tamamen ısı enerjisine dönüşmektedir. Ampulün asli görevi ışık yaymak olduğuna düşünülürse ortaya çıkan bu ısı enerjisi tamamen kayıp enerjidir. Başka bir dezavantaj olarak yüksek sıcaklıktaki filamanın buharlaşması dolayısıyla filamanın incelmeye ve ampul camı üzerine tortu oluşturması gibi problemleri de mevcuttur. Renk sıcaklıkları 2200 – 3000 °K şeklinde olup otomotiv aydınlatmasındaki örnekleri P21W, W21W, W16W, R5W, W5W, R10W gibi sıralanabilirler. (Şekil 19)



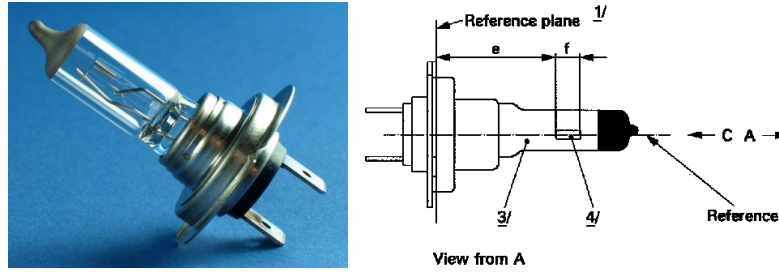
Şekil 19. Örnek tungsten ampul (P21W)

Halojen ampuller

50 yıl önce ticari anlamda tanıtımı yapılmış olan halojen ampulde de tungsten filaman mevcuttur fakat daha küçük hacimde kuvars cam yapıları meydana gelmiştir. Normal ampule göre en önemli farkı içerisinde genellikle brom veya iyot olan soy gaz içerikli yüksek basınçta halojen gaz karışımı olmasıdır. İçerideki bu gaz halojen döngüsünü oluşturmaktadır. Tungstenin filamandan buharlaşıp halojen gazla birleşmesi sonucunda bu döngü başlamaktadır. Ampul içerisindeki akışkan hareketleri gaz bileşimini ampulün cam duvarına doğru hareketlendirmekte ve burada soğuduktan sonra tekrar filamana yakın bir yere taşımaktadır. Filamanın sıcaklığı tungsten ve halojen gazın ayrışmasına ve tungstenin sarmal filamanın soğuk bölümünde birikmesini sağlamaktadır. Bu yenilenen halojen döngüsü filamanın ömrünü ciddi şekilde uzatmaktadır ve aynı zamanda buharlaşan tungstenin ampul içerisinde yoğunlaşmasını engellemesiyle ampulün kararmasının da önüne geçmektedir. Ayrıca halojen döngüsü filamanın daha fazla ısıtılabilmesine izin vermektedir ki bu da ampulden birim enerji başına daha fazla ışık alınması anlamına gelmektedir. Fakat yine de ampul etrafına çok fazla miktarda ısı yaymaktadır ve bu tamamen kayıp enerjidir. Halojen ampulde filaman

üzerine gelen enerjinin yaklaşık %10' unu ışık enerjisi olurken geri kalan enerjinin çok büyük bir kısmı termal radyasyon ile ısı enerjisine dönüşmektedir. Kuvars camın filamana yakın olması ve daha yüksek filaman sıcaklıklarında çalışmasına bağlı olarak halojen ampuller normal akkor ampullere göre çok daha fazla ısınmaktadırlar. (<http://home.howstuffworks.com/question151.htm>, 2009)

Düşük sıcaklıklar halojen döngüsünü engellemektedir ve bu da ampulün kararmasıyla ömrünün kısılması anlamına gelmektedir. Çok yüksek sıcaklıklar da iletkenlerin oksitlenmesine sebep olur dolayısıyla erken ampul problemlerine yol açmaktadırlar. Bu sebeplerden dolayı halojen ampuller belirli bir sıcaklık aralığında çalıştırılırlar. Renk sıcaklıkları 2900 – 3400 °K şeklinde olup otomotiv aydınlatmasındaki örnekleri H1, H3, H4, H7, H8, H9, H11, H15 gibi sıralanabilirler. (Şekil 20)



Şekil 20. Örnek halojen ampul (H7)

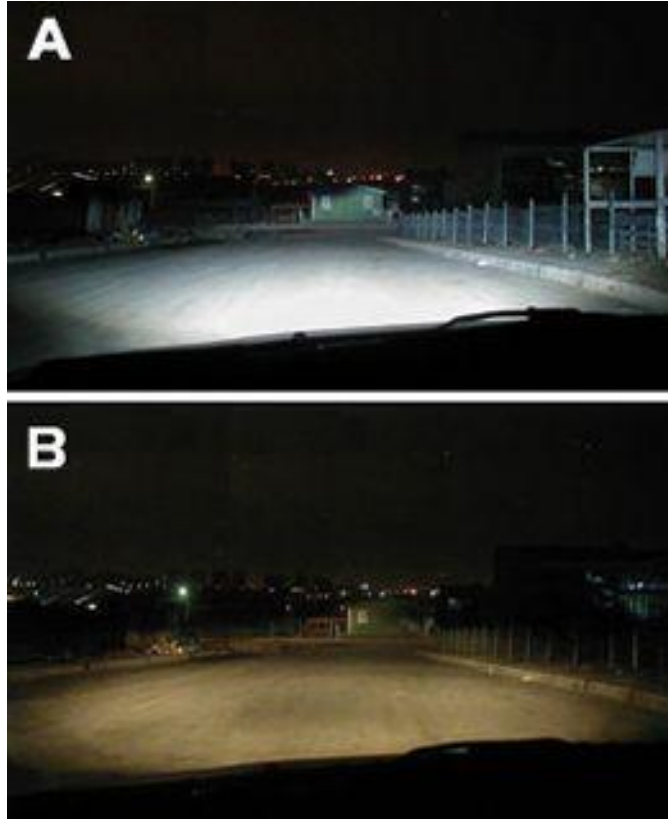
Ksenon ampuller

1990' larla birlikte otomotiv dış aydınlatmada yaygın hale gelmeye başlayan ksenon ark lambaları yüksek parlaklık ve renk sıcaklığı sağlayan noktasal ışık kaynaklarıdır. Yayıdığı ışığın dalga boyu morötesinden görünür kızılötesine kadar süreklilik arz eden bir spektrumdur. Ampulün içine özel bazı metalik gazlar doldurulmuştur. İçinde bulunan iki elektrotun arasında sıçrayan ark ile ışık elde edilir. (Şekil 21)



Şekil 21. Örnek ksenon ampul ve ark görüntüsü

Ksenon kompakt ark lambaları birkaç tabaka ksenon gazıyla doludur. En geç 10 saniye içerisinde %80 verime ulaşabilmektedir. Oluşan ışığın spektrumu görünür bölgede sürekli ve ultraviyole bölgesine doğru uzanmaktadır, yani oluşan ışık görünür bölgeyi ve ultraviyole bölgesinin bir kısmını kapsamaktadır. Yakın kızıl ötesi bölgesinin 800 - 1000 nm dalga boyu arasında kalan kısmında ksenon lambalar güçlü çizgiler göstermekte ve spektrumun mavi bölgesine doğru bu çizgiler zayıflamaktadır. İlk çalışma gerilimi yaklaşık 23.000 voltur ve gerçek performansına ulaşabilmesi için 10 saniye kadar ısınması gerekmektedir. Isındıktan sonra 85 volt gerilimle çalışır. Yüksek ilk çalışma geriliminden dolayı entegre edilmiş ateşleyicisi ile ksenon ampulün ısınma gerilimini ve elektriksel gücünü sağlayan balast ile çalıştırılmaktadırlar. Halojen ampullerden 5 kat fazla ömre sahip olan ksenon ampulü, halojen ampullerden 3 kat fazla ışık verebilmesine rağmen (Şekil 22) yüksek maliyetinden dolayı günümüzde daha çok üst sınıf araçlarda yaygın halde kullanılmaktadır. Otomotiv dış aydınlatmada renk sıcaklıkları 4150 – 4300 °K arasında olanlar kullanılmaktadır.

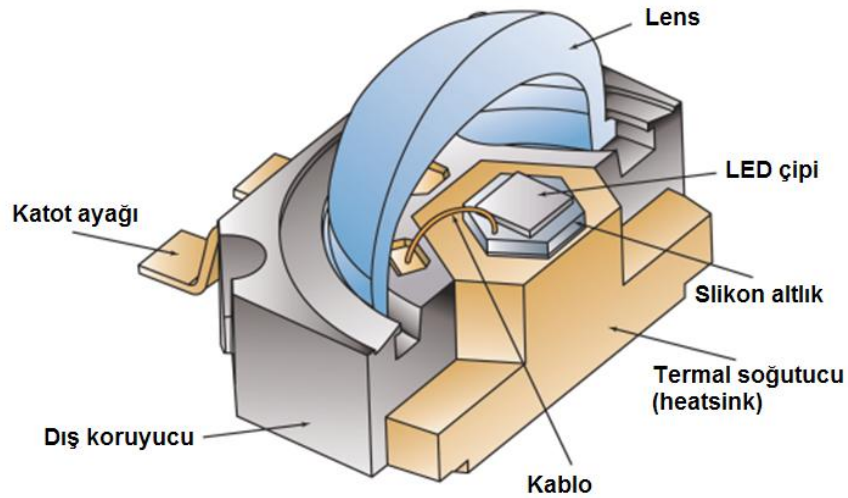


Şekil 22. Ksenon ampul (A) ile halojen ampul (B) arasındaki fark

2.5.2. LED

LED (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot), yarı-iletken, diyot temelli, ışık yayan bir elektronik devre elemanıdır. 1920'lerde bir radyo teknisyeni tarafından Rusya'da icat edilen LED daha sonra 1962 yılında Amerika'da pratik olarak uygulanabilen elektronik bir bileşen haline getirilmiştir. (http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode, 2009)

Üzerinden akım geçtiğinde foton açığa çıkararak ışık vermekte olan LED' ler başlangıçta yalnızca zayıf kuvvetli kırmızı ışık verebiliyorken günümüzde görünür ışık, morötesi, kızılötesi gibi çeşitli dalga boylarında, yüksek parlaklıkta ışık verebilir hale gelmişlerdir. Teknolojiye paralel olarak yüksek seviyede ışık veren LED' ler son zamanlarda otomotiv sektöründe kullanılmaya başlamıştır. Normallerine nazaran çok daha yüksek değerlerde ışık verebilen güçlü LED' lerin (power LED) (Şekil 23) piyasaya çıkmasıyla otomotiv aydınlatma ürünlerinde LED kullanılması daha yaygın hale gelmiş ve otomotiv aydınlatmada LED kullanımı yeni trend olarak görülmeye başlanmıştır.



Şekil 23. Power LED

Hala LED teknolojisi çok hızlı bir şekilde ilerlemeye devam etmekte olup büyük üreticiler otomotiv sektörünün ihtiyaçlarını karşılamak için devamlı olarak LED teknolojisinde yenilikler sergilemektedirler. LED filamanlı ampullere nazaran çok daha yüksek oranda üzerine gelen enerjiyi ışık enerjisine dönüştürmektedir. Yeni nesil LED toplam enerjinin %25' ini ışık enerjisine dönüştürüp geri kalan %75' lik kısmı üzerindeki soğutucu üzerinden elektronik karta iletir. Akkor ampullere nazaran daha

düşük enerjide dolayısıyla daha düşük sıcaklıklarda çalışmasına rağmen ışık yayma performansı sıcaklıktan çok çabuk etkilendiği için LED sistemlerinde iyi bir termal tasarım gerçekleştirilmek zorundadır. Bunun ötesinde uzun ömrü, sağlamlığı, küçük boyutu ve düşük enerji tüketimi dolayısıyla araçtaki CO₂ emisyonuna azaltıcı yönde etkisi gelecekte otomotiv aydınlatma sektöründe LED'lerin çok daha yaygın olacağı anlamına gelmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Ampulden çıkan ışığın istenildiği şekilde yansıtılması için ampul çevresi pürüzsüz yüzeyli ve alüminyum kaplanarak mükemmel parlak hale getirilmiş reflektör ile çevrilidir. Tasarımcı reflektör ile ampulün ışığını istediği şekilde yönlendirerek lambanın uyması gerektiği regülasyonlarca istenilen aydınlatma şartlarını sağlamaya çalışmaktadır. Regülasyonlarda her farklı aydınlatma ünitesi için farklı değerlerde aydınlatma özelliği istenmektedir. Bazı lamba tasarımlarında farklı üniteler için uygun reflektör ebatları ve tasarımı sağlanabildiği takdirde reflektörde alüminyum kaplama olmadan da istenilen ışık değerleri yakalanabilmektedir. Bu şekil bir üniteye alüminyum kaplama maliyetinden kurtulmuş olunur fakat her ne kadar regülasyonlarca istenilen ışık değerleri yakalanabilse de reflektörde alüminyum kaplama olmamasından dolayı ısı problemi oluşabilir. Keza alüminyum kaplı yüzey mükemmel derecede ışığı yansıtmasının yanı sıra üzerine gelen kızıl ötesi gibi termal radyasyon aralığındaki dalga boylarını da çok iyi şekilde yansıtmaktadır. Dolayısıyla alüminyum kaplamanın ürün üzerindeki sıcaklığa etkisi iyi tanımlanmalı ve ürün tasarımı aşamasında dikkatten kaçmamalıdır.

Yapılan bu çalışmada basit bir otomotiv dış aydınlatma lambasında gövde üzerindeki alüminyum kaplamanın ve alüminyum kaplama olmadığında gövde renginin lambadaki sıcaklık dağılımına etkisi CFD yazılımı ile irdelenmiştir. CFD olarak ticari ismi ANSYS CFX V12 olan yazılım kullanılmıştır.

Üzerinde araştırma yapılan ürün dairesel geometriye sahip *ÇAP 70* isimli lambadır. Lamba tek gövdeli yapıya sahip tek üniteden oluşmaktadır. Lambada 12V gerilimli P21W ampul kullanılmaktadır.

Otomotiv dış aydınlatma lambalarında ürün üzerinde oluşan sıcaklık dağılımına alüminyum kaplama etkisinin araştırılması için ilk olarak *ÇAP 70* lambasının reflektör bölümü alüminyum kaplamalı olacak şekilde bir prototip hazırlanmıştır. Alüminyum kaplama olmadığı durumlarda ampulden yayılan ışınım etkisini iyi gözlemlenebilmesi için ışınım enerjisini en iyi yutabilecek olan kaplamasız siyah reflektörlü ikinci prototip

oluşturulmuştur. Kaplamasız ürünlerde reflektör renginin sıcaklık dağılımına etkisini ortaya çıkarabilmek için de kaplamasız gri renk reflektöre sahip lamba prototipi yapılmıştır. Sonuç olarak;

- Alüminyum kaplamalı gri renk PC gövde ve şeffaf PC lens
- Alüminyum kaplama olmayan gri renk PC gövde ve şeffaf PC lens
- Alüminyum kaplama olmayan siyah renk PC-ABS gövde ve şeffaf PC lens

şeklinde üç farklı prototip hazırlanmış olup, bu lambalar üzerinde termal inceleme gerçekleştirilmiştir.(Şekil 24)



Şekil 24. Tezde incelenen 3 farklı ÇAP 70 lambası

3.2. Yöntem

3.2.1. CFD (Computational Fluid Dynamics)

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin hızlı artışı teknik simülasyon programlarını daha yaygın hale getirmiştir. Hesaplama kapasitesindeki büyük artış kompleks denklemleri çözebilme yeteneğini artırmıştır. Ayrıca model hazırlama yeteneklerinin de artması karışık geometrilerin kolayca hazırlanabilmesi anlamına gelmiştir. Günümüzde mekanik, elektrik veya termal problemleri çözebilen birçok yazılıma ulaşmak mümkün hale gelmiştir.

Bu programların büyük çoğunluğu çözümlemede sonlu elemanlar yöntemi veya sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemlerin aslı Eudoxos (408 – 355 İÖ)

ve Archimedes' e (287 – 212 İÖ) kadar gitmektedir. (Nolte 2005) Karmaşık geometrili problemlerin çözümü için daha basit geometrilere çözüm yapmışlar ve bu çözümü komple sisteme uyarlayarak sonlu eleman yönteminin temelini şekillendirmişlerdir. 20. yüzyılın ikinci yarısı bu yöntemler için asıl büyük kırılması noktası olmuştur.

Günümüzde modern bilgisayar sistemleri ve simülasyon programları birkaç milyon elementli problemleri çok az sürede çözebilir hale gelmiştir. Modelin hazırlanması, o geometrinin hesaplanabilir modele dönüştürülmesi dakikalar içine sığdırılabilmektedir.

Her üç tip ısı transfer mekanizmasını (İletim, taşınım, ışınım) ve akışkan hareketlerini barındıran sıcaklık ve akış problemleri CFD (hesaplanabilir akışkanlar mekaniği) simülasyon programlarıyla çözülebilmektedir. Otomotiv sektöründe CFD yazılım birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır;

- Motorda sıcaklık ve akış analizi
- Kabin içi havalandırma sistemi
- Motor soğutma
- Enjeksiyon sistemleri
- Elektronik parçalardaki sıcaklık oluşumu

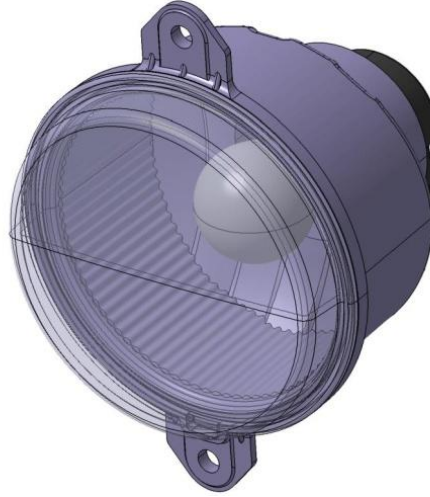
Yukarıdaki örnekler bu programların kullanıldığı alanlardan sadece bir kısmıdır. Otomotiv dış aydınlatma ürünlerinde de CFD programı ürünlerde oluşan maksimum sıcaklık değerlerinin tespiti için kullanılmaktadır.

3.2.2. Termal simülasyon

Ürünlerde yapılacak olan termal analiz 25 °C sabit sıcaklıkta durgun hava ortamında ampulün devamlı yanması neticesinde lambanın ısı dengeye girmiş hali olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca her ürün için aynı şartlarda gerçek sıcaklık değerleri ölçüm yapılarak termal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

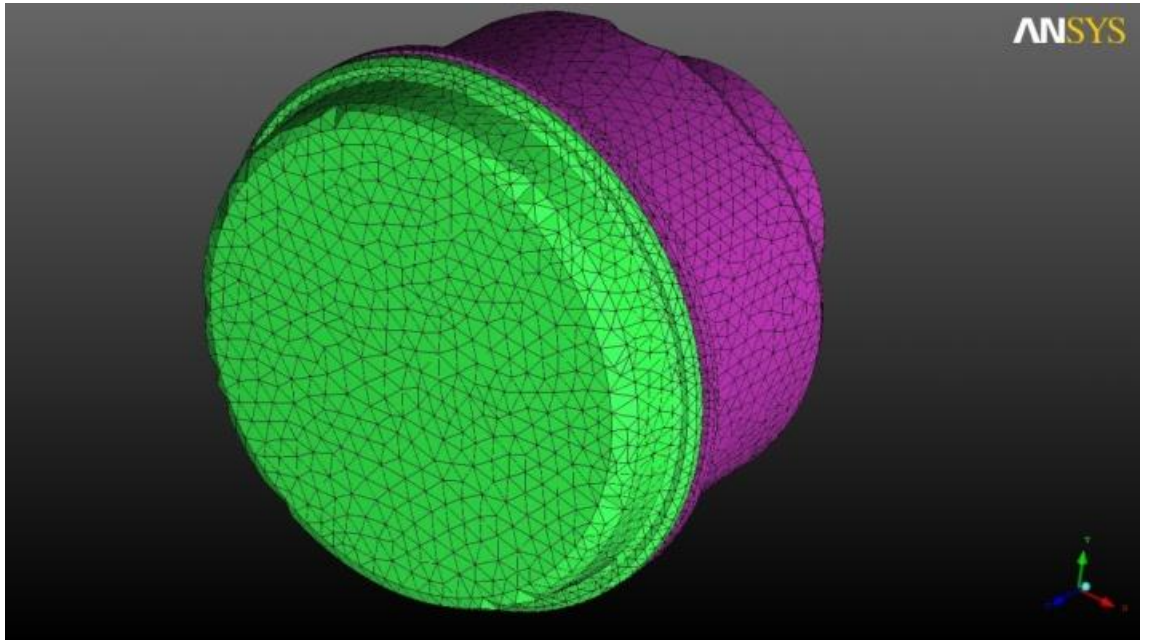
Mesh hazırlanması

Ürünün bilgisayar ortamında hazırlanan 3 boyutlu katı modeli (Şekil 25) termal analiz öncesi ICEM CFD yazılımı ile sonlu elemanlara (meshing) bölünmüştür.



Şekil 25. Termal analizi öncesi hazırlanan 3 boyutlu katı model

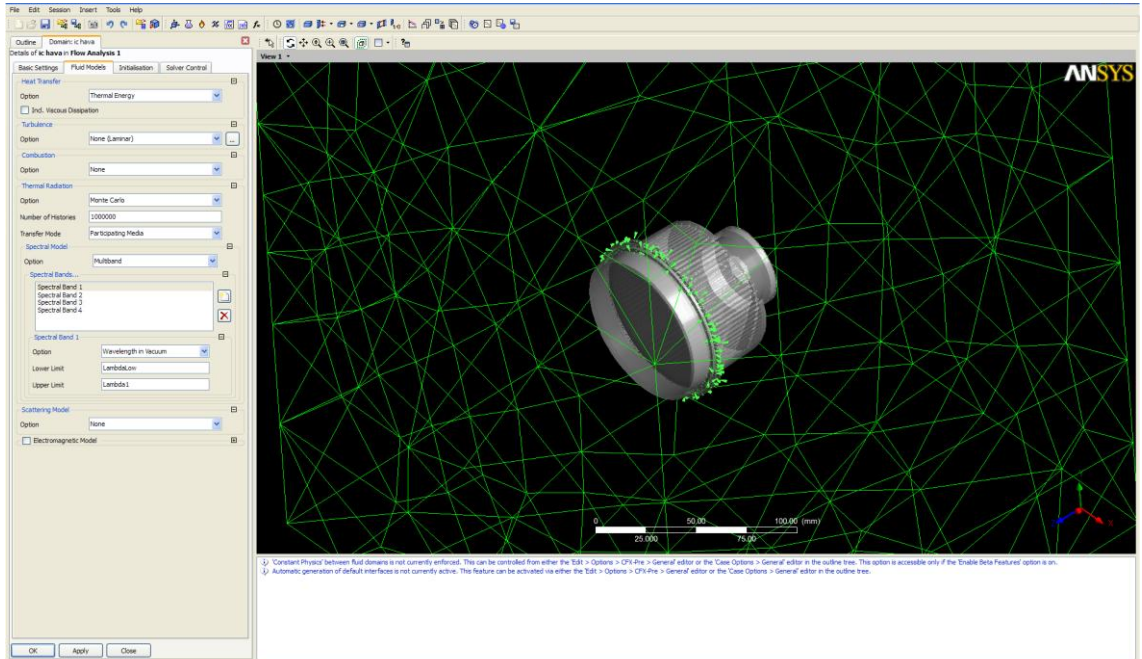
Mesh ağı örülürken dış hava, lamba içi hava, lens, gövde, ampul camı, duyu, ampul içi gaz ve ampul filamanı olacak şekilde 8 ayrı domain oluşturulmuş ve bu domainler arası toplam 25 tane ara yüzey tanımlanmıştır. Farklı denemelerin neticesinde çözümlemede yakınsamayı iyi şekilde sağlayan ve çözüm süresini kısa tutan optimum mesh aralığı tespit edilmiş ve tez çalışmasında kullanılmıştır. Bu aralıktaki yapıda, 77.654 tetra ve 51.330 tri eleman olmak üzere toplam 535.840 elemandan oluşan mesh ağı 81.211 nokta içermektedir. (Şekil 26)



Şekil 26. Termal analizi öncesi sonlu elemanlara ayrılmış 3 boyutlu katı model

Sınır Şartları

Analiz için sistemin sınır şartları ANSYS CFX – Pre modülünde verilmiştir. (Şekil 27) Gaz ve yarı saydam domainler için radyasyon modellemesinde Monte Carlo yöntemi kullanılmış olup bu modellemede bütün domainler için 1.000.000 geçmiş kullanılmıştır. İncelenen sistemde akışkan hareketleri düşük hızlarda gerçekleştiği için laminer olarak tanımlanmıştır.



Şekil 27. ANSYS CFX-Pre ara yüzeyi

Dış ortam olarak 25 °C sıcaklıkta, 1 atm basınçta durgun hava ideal gaz şeklinde tanımlanmıştır.

Lamba içerisindeki akışkan da referans şartları olarak 25 °C sıcaklıkta, 1 atm basınçta ideal gaz şeklinde durgun hava tanımlanmış olup akış modellemesi laminer seçilmiştir. Ayrıca lamba içerisindeki hava akışının iyi çözümlenebilmesi için referans basıncı 1 atm ayarlanmıştır.

Ampul içi akışkan olarak 0,5 bar basınçta kripton gazı ideal gaz olarak tanımlanmış olup gaz akışının iyi çözümlenebilmesi için referans basıncı 0,5 bar ayarlanmıştır. (Datasheet P21W, OSRAM) Kripton gazının özellikleri olarak;

- Mol kütlesi $M = 83.8 \text{ kg/kmol}$,

- Özgül ısısı $c_p = 248 \text{ J/kg.K}$,
- Dinamik viskozitesi $\mu = 2.51 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$,
- Isı iletim katsayısı $k = 9.43 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$,

kullanılmıştır.

Lamba dış lensinin ham maddesi olarak şeffaf PC özellikleri;

- Yoğunluğu $\rho = 1.2 \text{ gr/cm}^3$,
- Özgül ısısı $c_p = 1.2 \text{ J/kg.K}$,
- Isı iletim katsayısı $k = 0.2 \text{ W/mK}$,

şeklinde programa girilmiştir.

Ampul camının özellikleri olarak ısı işlem görmüş cam (soda lime glass) programa tanıtılmıştır;

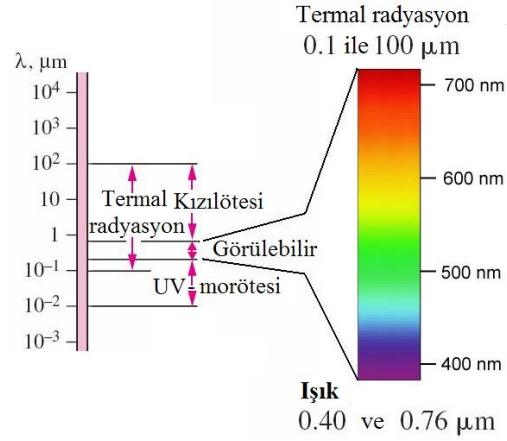
- Yoğunluğu 2.22 gr/cm^3 ,
- Özgül ısısı $c_p = 109 \text{ J/kg.K}$,
- Isı iletim katsayısı $k = 1.3 \text{ W/mK}$.

Lambadaki ışınım ile ısı transferi modellenirken ampul camı ve lens gibi yarı saydam malzemelerin spektral dalga boylarına göre nasıl bir geçirgenlik özelliği gösterdiğine dikkat edilmesi gerekmektedir. Örneğin basit bir cam görülebilir dalga boylarında şeffaf özelliği gösterirken kızıl ötesi dalga boyunda opak özelliği gösterebilmektedir. (Şekil 28)



Şekil 28. Gözlük camının ve plastik poşetin görülebilir ve kızılötesi dalga boylarındaki geçirgenlik özellikleri

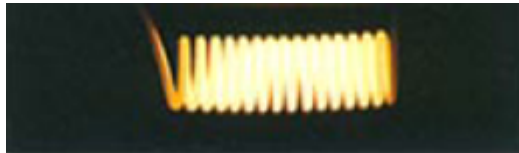
Dolayısıyla bizim nümerik modellemede sadece görülebilir dalga boylarını değil ayrıca termal radyasyonun büyük bir kısmını oluşturan kızıl ötesi ve UV dalga boylarını da dikkate almamız gerekmektedir. (Şekil 29) Bu sebepten dolayı Monte Carlo radyasyon modelinde spektral bant aralıkları termal radyasyon aralığı olan 0.1 – 100 μm arası belirlenmiştir.



Şekil 29. Elektromanyetik dalga spektrumu

Bu aralıkta ampul camının ve şeffaf PC lensin spektral dalga boylarına göre nasıl bir geçirgenlik gösterdiği termal analizde dikkate alınmıştır. (Transmittance P21W clear, OSRAM) (Datasheet DiakonTM, Lucite International) Malzemelerin her dalga boyu için gösterdiği geçirgenlik değeri denklem 1.17' de kullanılarak o dalga boyundaki spektral emme katsayısı bulunmuştur. Elde edilen bu değer Monte Carlo radyasyon modelinde kullanılmak üzere malzeme özelliği olarak programa aktarılmıştır.

Ampul filaman malzemesi olarak tungsten özellikleri kullanılmıştır. Gerçekte sarmal yapıda olan filaman (Şekil 30) analiz için daha basit yapıda silindirik modellenmiştir. 12V P21W ampulün maksimum gücü 26.5 W (13.5 V gerilimde) enerji kaynağı şeklinde sınır şartında belirtilmiştir. (Datasheet P21W, OSRAM)



Şekil 30. Ampul filamanı

Gerçek ampul duyu metal olup ampul tutucudaki iletken pimlere çoğu kez çizgisel temas etmektedir. Bu şartların analiz ortamında modellenmesinin zor olması ve ampul filamanındaki ısı enerjisinin çok az miktarının filaman ayakları doğrultusunda duy ile iletilmesinden dolayı termal analiz modelinde ampul duyu çok basitleştirilmiş ve gerçekteki çizgisel temastan dolayı ısı transferinin zorluğunu karşılayacak şekilde analizde plastik malzeme olarak tanıtılmıştır.

Lamba gövdesinin ham maddesi opak gri renkli olanlarda PC, opak siyah renkli olan da ise PC-ABS' dir. Gövdenin iç yüzeyi ampulden çıkan ışığı yansıtan reflektör görevindedir ve yüzey pürüzlülüğü çok hassas olarak üretilmiştir. Yani alüminyum kaplama ile parlatılmış reflektör yüzeyi üzerine gelen ışıkları neredeyse ayna gibi yansıtmaktadır. Reflektör ışığı yansıtmasının yanı sıra ampulden çıkan termal radyasyondan da çok ciddi oranda etkilenmektedir. Dolayısıyla reflektör yüzeyinin radyasyon özelliği iyi belirlenmelidir. Analizde opak yüzeyler için belirleyici radyasyon özelliği olarak toplam yayma katsayısı (*emissivity*) değeri kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ürünler arasındaki en etkili parametre değişikliği ürünlerin reflektör yüzeyleri için toplam yayma katsayısında olmuştur.

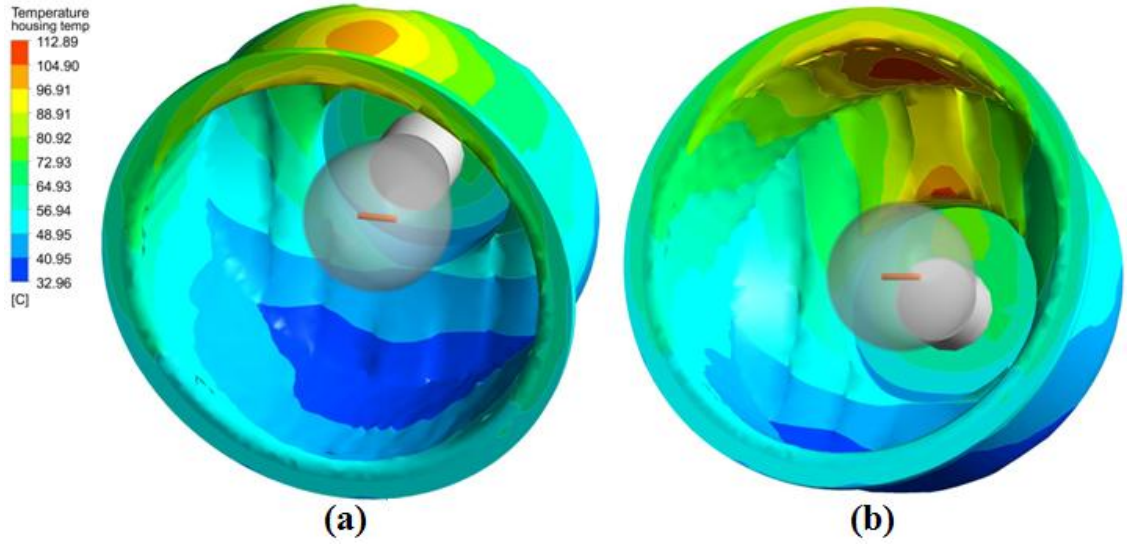
Reflektörde alüminyum kaplamalı yüzey için toplam yayma katsayısı $\varepsilon = 0.04$ ' tür. (<http://www.infrared-thermography.com/material.htm>, 2009)

Alüminyum kaplama olmayan açık gri PC reflektör için toplam yayma katsayısının ortalama değeri $\varepsilon = 0.84$ ' tür. (<http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>, 2009)

Son olarak, alüminyum kaplama olmayan ve siyah renk PC-ABS reflektör için toplam yayma katsayısının ortalama değeri $\varepsilon = 0.95$ şeklindedir. (<http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>, 2009)

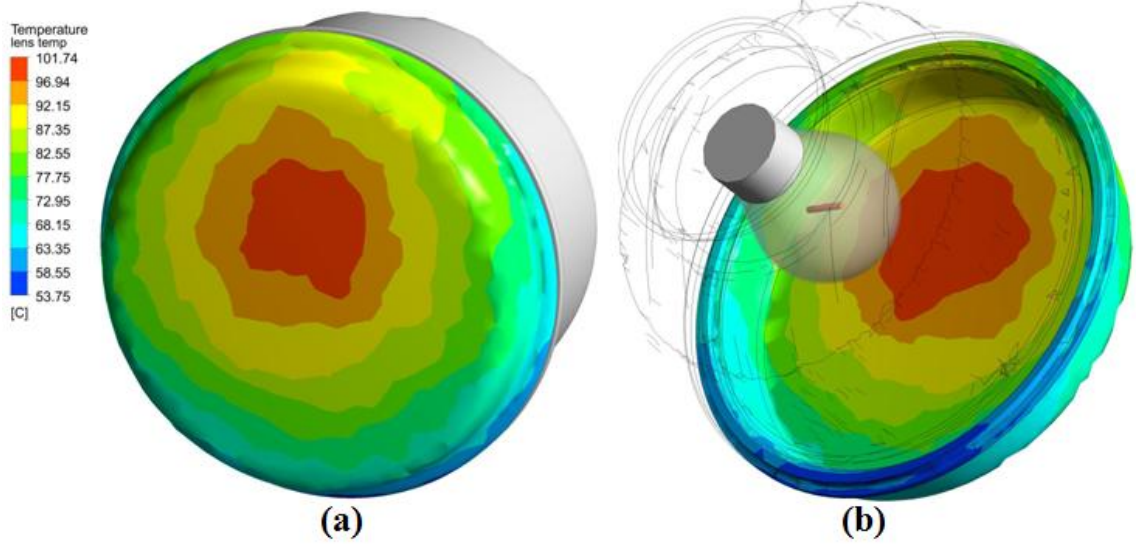
Dolayısıyla incelenen üç farklı lamba için reflektör yüzeylerinin toplam yayma katsayıları arasındaki fark ürünlerde oluşan sıcaklık dağılımlarının arasındaki farkın en etkili sebebi olarak gösterilebilir.

transfer mekanizmasının taşınım ile ısı transferi olduğunu göstermektedir. Üzerinden geçen elektrik akımıyla ısınan filaman ilk olarak ampul camını ısıtmış ve etrafındaki lamba içi hava da ampul camı sayesinde ısınarak yükselmiştir. Yükselen sıcak hava gövdenin iç yüzeylerine temas ederek o bölgelerin ısınmasını sağlamıştır. Gövde iç yüzey sıcaklık dağılımına bakıldığı zaman yükselen sıcak havanın etkisi çok net görülmektedir. (Şekil 32) Lambada oluşan maksimum sıcaklık değeri 112.89 °C gövde iç yüzeyinin tam ampul üzerine gelen bölgesinde görülmektedir. Gövde dışında da maksimum sıcaklık yine aynı bölgenin üstünde olup 104.90 °C ile 96.91 °C değerleri arasında oluşmaktadır.



Şekil 32. Alüminyum kaplı lamba gövde sıcaklık dağılımı

Gövde içi üst yüzeyinden doğal konveksiyon olarak lense doğru giden sıcak hava lensin de ısınmasına sebep olmuştur. Fakat bunun yanında filamandan çıkan yüksek ışıyım enerjisi alüminyum kaplama sayesinde gövde tarafından çok az emilmiş ve büyük bir kısmı lense doğru yansıtılmıştır. Gövdeden lense doğru yansıyan ışıyım enerjisi lenste oluşan sıcaklık dağılımını ciddi oranda etkileyerek maksimum sıcaklık aralığını lens ortası üst kısmına doğru olan bölgede oluşturmuştur. (Şekil 33) Analiz sonucu maksimum lens sıcaklığı 101.74 °C ile 96.94 °C arasında çıkmıştır. Ayrıca ışıyım enerjisinin etkinliğinin bir göstergesi olarak lens iç yüzeyinde oluşan sıcaklık ile dış yüzey sıcaklık dağılımı benzer şekilde meydana gelmiştir.

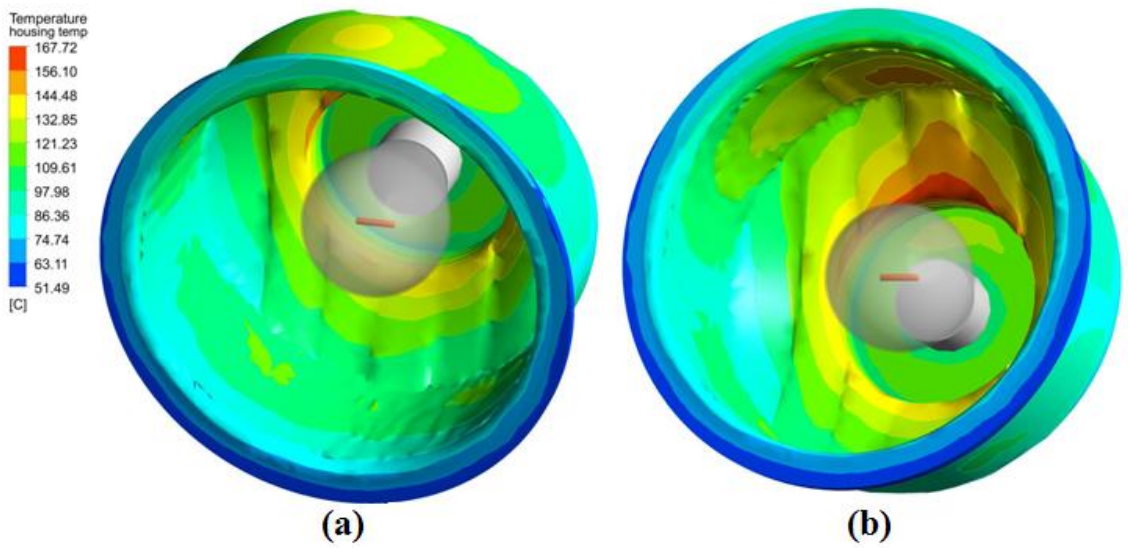


Şekil 33. Alüminyum kaplı lamba lens sıcaklık dağılımı

4.1.2. Alüminyum kaplamasız gri renk ($\varepsilon = 0.84$) PC gövde ve şeffaf PC lens

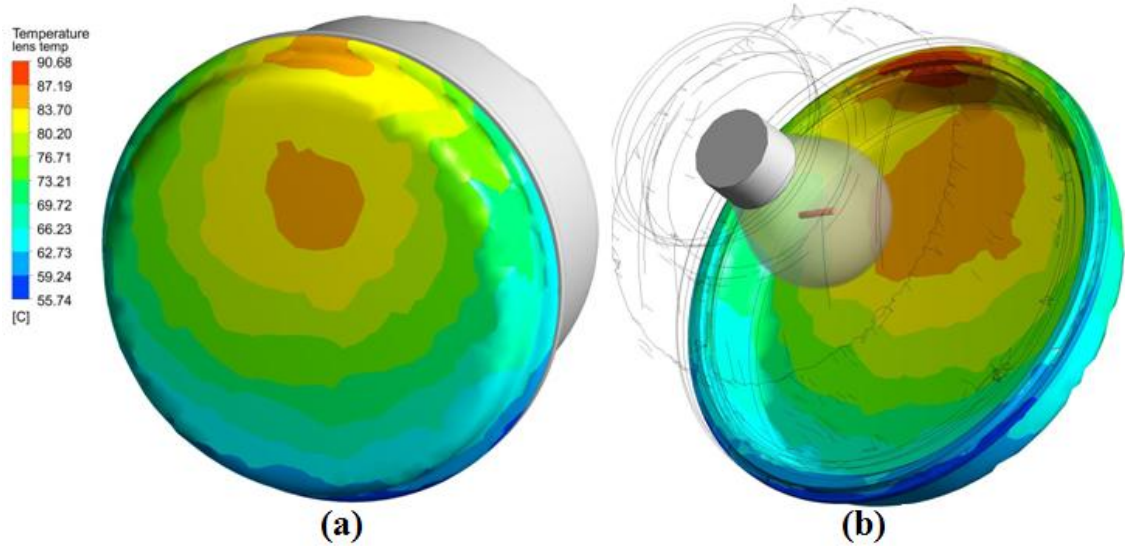
Alüminyum kaplamasız gri renk ($\varepsilon = 0.84$) PC gövde ve şeffaf PC lensli lambanın termal analizinde alüminyum kaplamalı lambada olduğu gibi sistem ısııl açıdan denge girdikten sonraki sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Gövde üzerinde oluşan sıcaklık dağılımına bakıldığında alüminyum kaplamalı lambada olduğu gibi yine sıcak hava hareketinin etkisi olarak üst yüzeylerin sıcak alt yüzeylerin ise üst bölgelere göre daha soğuk olduğu görülmektedir. (Şekil 34)



Şekil 34. Alüminyum kaplamasız gri lamba gövde sıcaklık dağılımı

Fakat alüminyum kaplamalı lambadan farklı olarak gövdede oluşan sıcaklık değerleri ciddi oranda artmış olup sıcaklık dağılımında da ışınım etkisi baskın hale gelmiştir. Alüminyum kaplama olmamasından dolayı filamandan çıkan yüksek ışınım enerjisinin büyük bir kısmı gövde tarafından emilmiş olup gövdenin maksimum 167.72 °C olacak şekilde aşırı ısınmasını sağlamıştır. Sıcaklık dağılımına bakıldığında gövde üzerinde ışınım ile ısı transferi taşınım ile ısı transferine göre daha fazla etkin olduğu kolayca anlaşılabilir. Taşınım ile ısı transferinin baskın olduğu alüminyum kaplamalı lamba gövdesine kıyasla gövde içinin en alt yüzeylerinde ciddi oranda sıcaklık artışı olmuştur. Işınım enerjisinin etkisinin mesafenin karesiyle ters orantılı olduğu düşünülürse ampule yakın olan bölgelerin ampulden uzak olan bölgelere nazaran daha fazla ışınım enerjisinden etkilendiği rahatlıkla görülebilmektedir. Bunun etkisi olarak ampule en yakın bölge olan ampul deliği civarında da sıcaklık değerleri yüksek seviyelere ulaşmakla beraber gövdede en yüksek sıcaklık ampul deliği üst kenarında 167.72 °C olarak meydana gelmiştir. Gövde dış yüzeyinde ise taşınım ile ısı transferi mekanizmasının etkinliğinin iç yüzeye göre biraz daha arttığı sıcaklık dağılımındaki üniform yapıdan anlaşılmaktadır. Gövde dışı üst yüzeyi maksimum 144.48 °C olmakla beraber genel olarak 132.85 °C ile 121.23 °C arası görülmektedir.



Şekil 35. Alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklık dağılımı

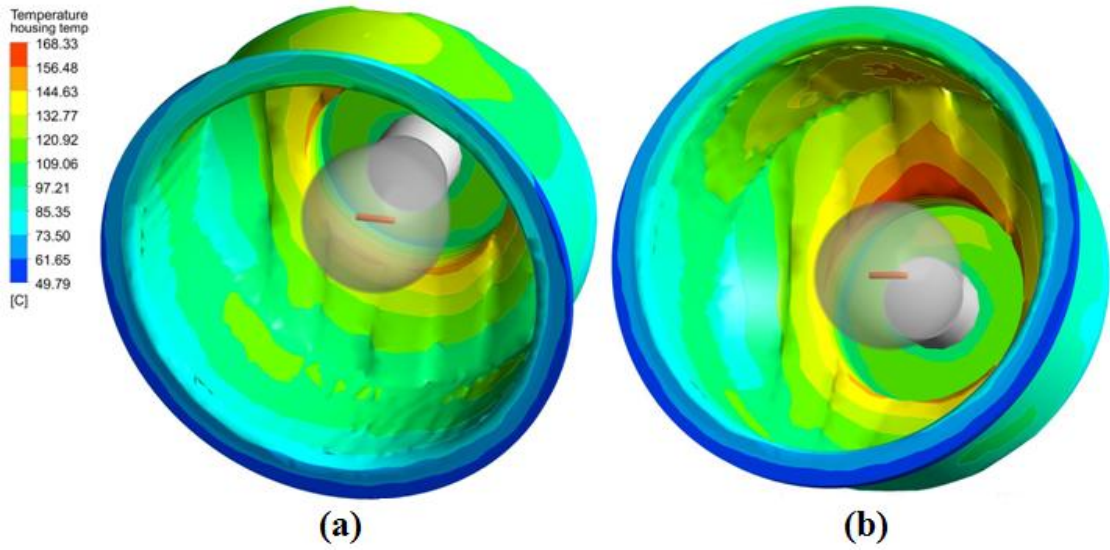
Gövde içi üst yüzeyinden lense doğru giden sıcak hava lensin ısınmasına sebep olmuştur ayrıca filamandan çıkan ışınım enerjisinin büyük bir kısmı gövde tarafından emildiği için lense çok az bir kısmı yansıtılmıştır. Bunların neticesinde lenste oluşan

sıcaklıkta taşınım ile ısı transferi ışınımla ısı transferine kıyasla ciddi oranda etkin hale gelmiştir ki bu da sıcaklık dağılımından açık olarak görülebilmektedir. (Şekil 35) Lenste sıcaklık üst bölgelere doğru yani gövde üst yüzeyinden lense doğru gelen sıcak havanın ilk temas ettiği yüzeylere doğru artış göstermektedir. Maksimum lens sıcaklığı 90.68 °C sıcak havanın lense temas ettiği ilk yüzey olan lens içi üst kenarında görülmektedir. Lens dışında oluşan maksimum sıcaklık 87.19 °C ile 83.70 °C arasında ve lens ortası üst kısma doğru olan bölge ile lensin en üst yüzeyinde oluşmuştur. Lenste ışınımla transfer olan enerji etkisinin daha az olmasından dolayı lens maksimum sıcaklığı alüminyum kaplamalı lambaya nazaran daha düşük çıkmıştır ve lens iç yüzeyinde oluşan sıcaklık ile dış yüzey sıcaklık dağılımında küçük de olsa farklılıklar meydana gelmiştir.

4.1.3. Alüminyum kaplamasız siyah renk ($\epsilon = 0.95$) PC-ABS gövde ve şeffaf PC lens

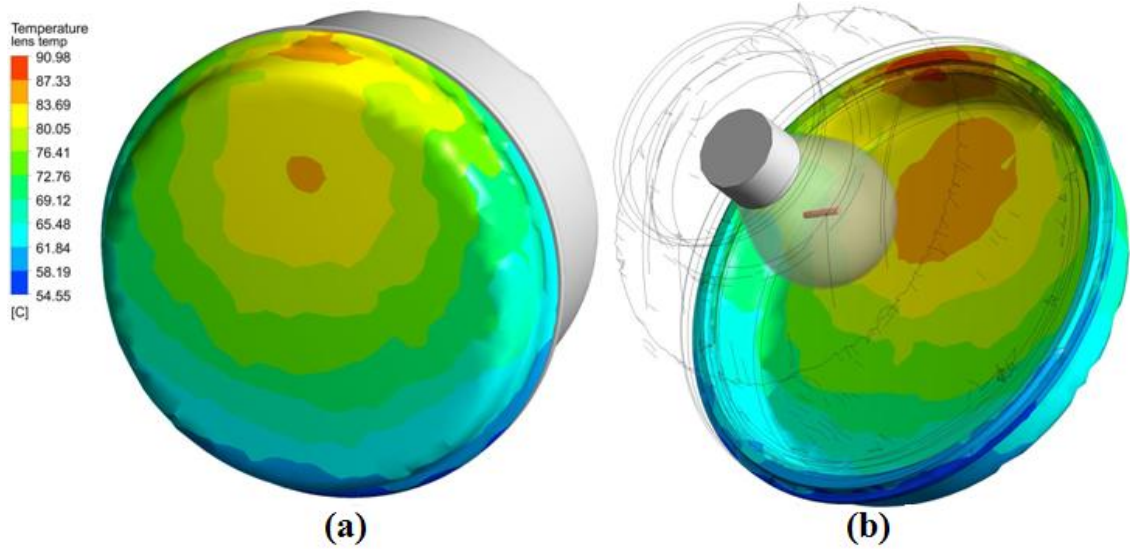
Alüminyum kaplamasız siyah renk ($\epsilon = 0.95$) PC-ABS gövde ve şeffaf PC lensli lambanın termal analizinde diğer lambalara benzer olarak sistem ısıl açıdan denge girdikten sonraki sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Gövde üzerinde oluşan sıcaklık dağılımına bakıldığında diğer lambalarda olduğu gibi yine sıcak hava hareketinin etkisi olarak üst yüzeylerin sıcak alt yüzeylerin ise üst bölgelere nazaran daha soğuk olduğu görülmektedir. (Şekil 36)



Şekil 36. Alüminyum kaplamasız siyah lamba gövde sıcaklık dağılımı

Fakat kaplamasız gri lambaya benzer şekilde alüminyum kaplamalı lambaya nazaran gövdede oluşan sıcaklık değerleri ciddi oranda artmış olup sıcaklık dağılımında da ışınlama ile ısı transferi etkisi artmıştır. Yine kaplamasız gri lamba gibi alüminyum kaplama olmamasından dolayı filamandan çıkan yüksek ışınlama enerjisinin büyük bir kısmı gövde tarafından emilmiştir ve bu da gövdenin maksimum 168.33 °C olacak şekilde aşırı ısınmasını sağlamıştır. Sıcaklık dağılımına bakıldığında gövde üzerinde ışınlama ile ısı transferi taşınım ile ısı transferine göre daha fazla etkin olduğu kolayca anlaşılabilir. Taşınım ile ısı transferinin baskın olduğu alüminyum kaplamalı lamba gövdesine kıyasla gövde içinin en alt yüzeylerinde ciddi oranda sıcaklık artışı olmuştur. Işınlama enerjisinin etkisinin mesafenin karesiyle ters orantılı olduğundan dolayı ampule en yakın bölge olan ampul deliği civarında sıcaklık değerleri yüksek seviyelere ulaşmakla beraber gövdede en yüksek sıcaklık ampul deliği üst kenarında 168.33 °C olarak meydana gelmiştir. Kaplamasız gri gövde ile çok benzer sıcaklık dağılımına ve değerlerine sahip olmasına rağmen rengin etkisi olarak siyah gövde filamandan gelen ışınlama enerjisini biraz daha fazla emmektedir. Bu da kaplamasız siyah gövdede ampul deliği alt yüzeylerinin kaplamasız gri gövdedekine göre az da olsa bir miktar daha fazla ısınmasından anlaşılabilir. Gövde dış yüzeyinde ise kaplamasız gri gövde de olduğu gibi taşınım ile ısı transferi mekanizmasının etkinliğinin iç yüzeye göre biraz daha arttığı sıcaklık dağılımındaki üniform yapıdan anlaşılmaktadır. Gövde dışı üst yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklık değerleri 132.77 °C ile 120.92 °C arası görülmektedir.



Şekil 37. Alüminyum kaplamasız siyah lamba lens sıcaklık dağılımı

Kaplamasız gri lambada olduğu gibi alüminyum kaplamalı lambaya nazaran lenste oluşan sıcaklıkta taşınım ile ısı transferi ışınım ile ısı transferine kıyasla ciddi oranda etkin haldedir bu da sıcaklık dağılımında açık olarak görülebilmektedir. (Şekil 37) Gri lambaya göre de siyah gövdenin filamandan gelen ışınım enerjisini daha az yansıtması neticesinde az da olsa lensteki yüksek sıcaklık alanlarında küçülme olmuştur. Lenste sıcaklık yine üst bölgelere doğru yani gövde üst yüzeyinden lense doğru gelen sıcak havanın ilk temas ettiği yüzeylere doğru artış göstermektedir. Maksimum lens sıcaklığı 90.98 °C sıcak havanın lense temas ettiği ilk yüzey olan lens içi üst kenarında görülmektedir. Lens dışında oluşan maksimum sıcaklık 87.33 °C lens ortası üst kısma doğru olan bölge ile lensin en üst yüzeyinde olmakla beraber lens ön yüzey maksimum sıcaklığı genel olarak 83.69 °C ile 80.05 °C arasında görülmektedir. Yine kaplamasız gri lambaya benzer lenste ışınım ile transfer olan enerji etkisinin daha az olmasından dolayı lens maksimum sıcaklığı alüminyum kaplamalı lambaya nazaran daha düşük çıkmıştır ve lens iç yüzeyinde oluşan sıcaklık ile dış yüzey sıcaklık dağılımında küçük de olsa farklılıklar meydana gelmiştir.

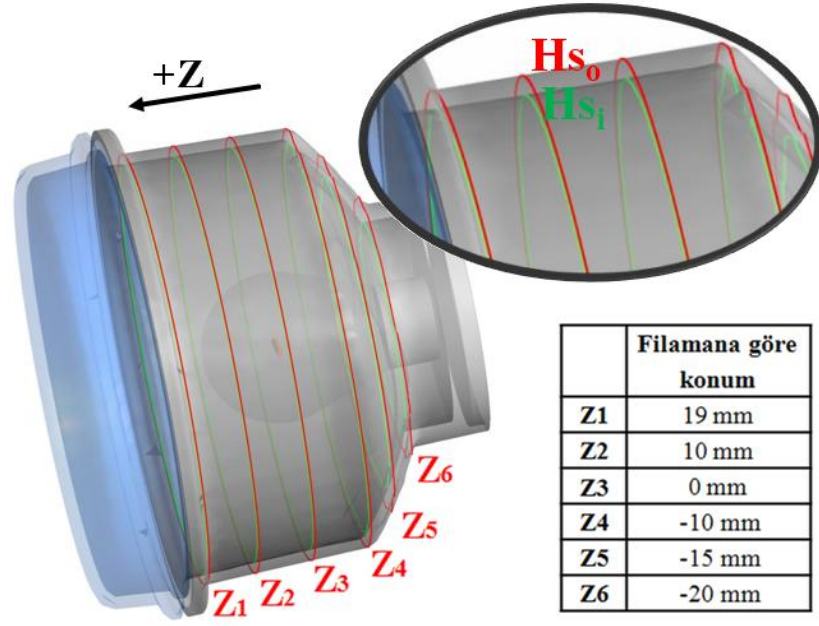
4.2. Analiz Sonuçlarını Detaylı Kıyaslama

Ürün katı modelinde gövde, lens ve lamba iç havası farklı kesitlere bölünmüş olup bu kesitlerden elde edilen veriler grafiklere dökülmüştür. Bu grafik sonuçlarına göre incelenen alüminyum kaplı gövde, alüminyum kaplamasız gri gövde ve alüminyum kaplamasız siyah gövde olacak şekilde her üç tip ürünün analiz sonuçları kıyaslanmıştır.

4.2.1. Grafiklerde kullanılan kesitler

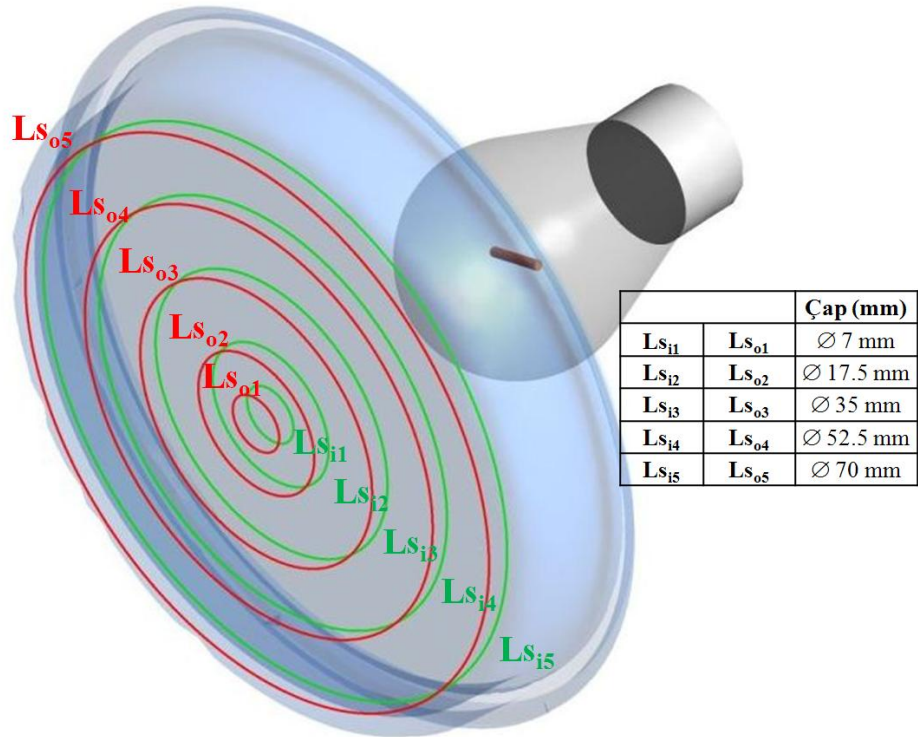
Analiz edilen ürün data ortamında, ön tarafı (lens tarafı) +Z, yatay konumu X ve dikey konumu Y olacak şekilde konumlandırılmış ve ampul filamanı koordinat merkezi olarak (X=0, Y=0, Z=0) ayarlanmıştır.

Lamba gövdesi ve lamba iç havası Z koordinatında altı farklı kesit üzerinden incelenmiş olup Z₁' den Z₆' ya kadar tüm konumlarda iç yüzey ve dış yüzey olacak şekilde kesitler alınmıştır. Hs₀ dış yüzey kesiti, Hs_i iç yüzey kesiti olarak isimlendirilmiştir ve Z konumuna göre kesit çizgileri numaralandırılmıştır. (Şekil 38)



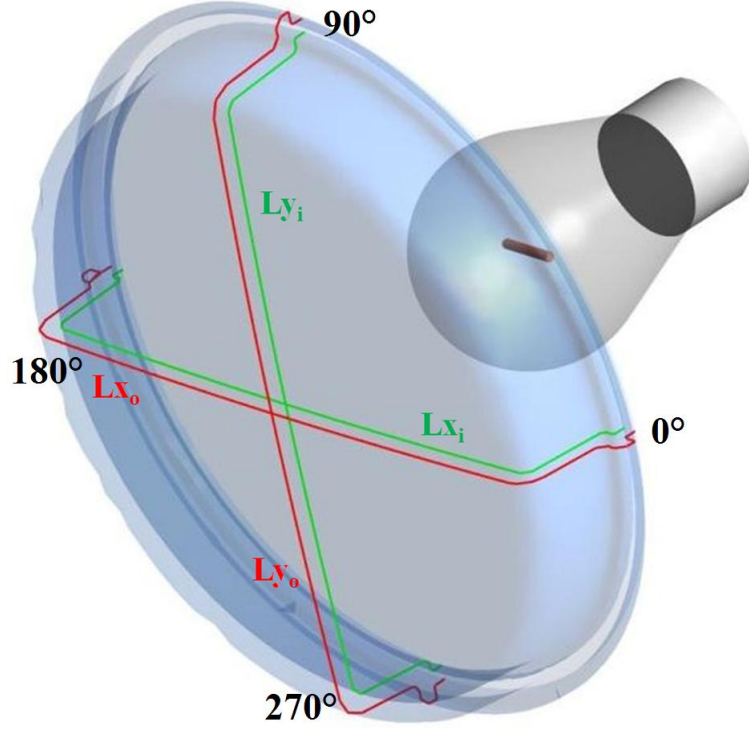
Şekil 38. Lamba gövdesinin Z eksenine boyunca kesitleri

Lamba lensinin iç yüzeyi ve dış yüzeyi farklı çaplarda dairesel kesitlere bölünmüştür. LS_o dış yüzey kesiti, LS_i iç yüzey kesiti olacak şekilde isimlendirilmiş olup minimum çaptan maksimum çapa doğru kesit çizgileri numaralandırılmıştır. (Şekil 39)



Şekil 39. Lamba lensi iç yüzey ve dış yüzey dairesel kesitleri

Lensin iç yüzeyinin ve dış yüzeyinin ayrıca X ve Y eksenlerinde de kesitleri alınmıştır. Lx_o ve Ly_o dış yüzey kesiti, Lx_i ve Ly_i iç yüzey kesiti olacak şekilde isimlendirilmiştir ve koordinat merkezi lens orta noktasına yerleştirilmiştir. (Şekil 40)

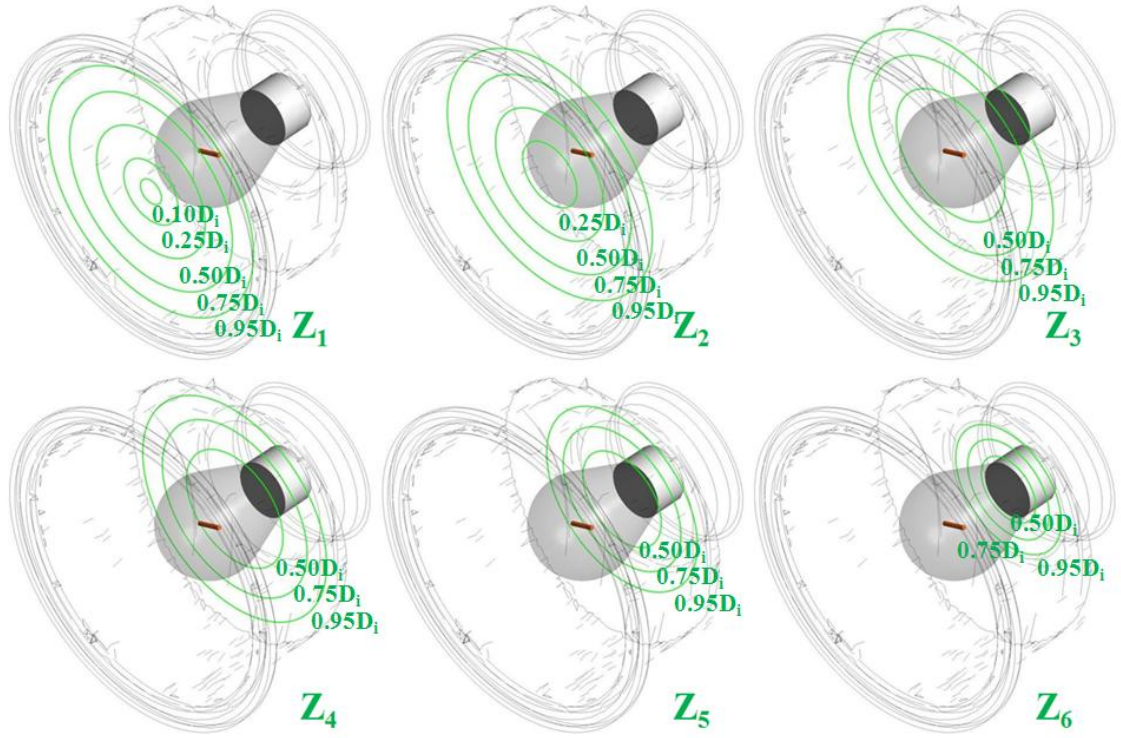


Şekil 40. Lamba lensi iç yüzey ve dış yüzey X ve Y kesitleri

Lambanın iç havası Z_1 ' den Z_6 ' ya kadar tüm kesitlerde ve farklı çaplarda dairesel çizgilere bölünmüştür. O kesitte D_i iç havanın gövde iç yüzeyine yakın olan en büyük çapı olarak belirlenmiş olup, daha sonra dairesel çizgilerin çapları $0.95D_i$, $0.75D_i$, $0.50D_i$, $0.25D_i$ ve $0.10D_i$ şeklinde (Tablo 4.1) ayarlanmıştır. (Şekil 41)

Tablo 4.1: Lamba iç hava dairesel kesit çapları

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
D_i	72 mm	72 mm	72 mm	64 mm	52 mm	37 mm
$0.95D_i$	68 mm	68 mm	68 mm	61 mm	50 mm	35 mm
$0.75D_i$	54 mm	54 mm	54 mm	48 mm	39 mm	27 mm
$0.50D_i$	36 mm	36 mm	36 mm	32 mm	26 mm	18 mm
$0.25D_i$	18 mm	18 mm	-	-	-	-
$0.10D_i$	7 mm	-	-	-	-	-



Şekil 41. Lamba iç hava dairesel kesitleri

4.2.2. Sıcaklık grafikleri ve kesit hız profilleri

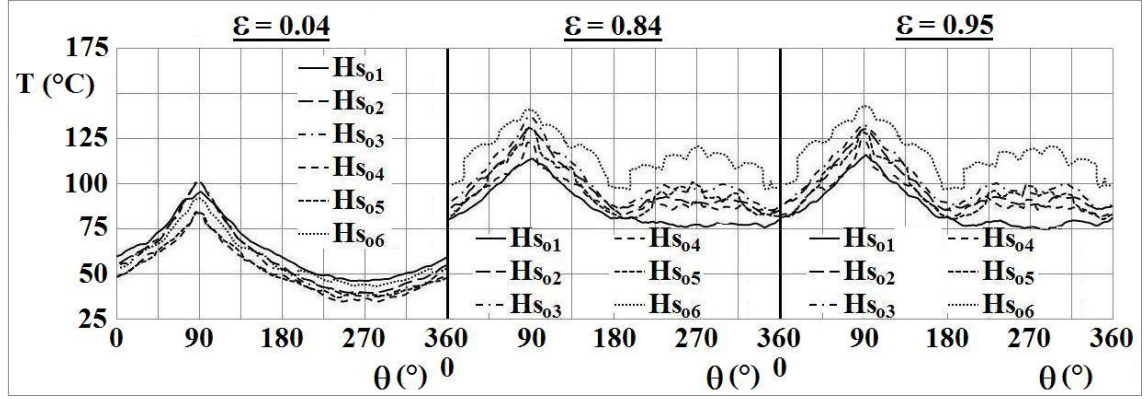
Alüminyum kaplı gövde ($\varepsilon = 0.04$), alüminyum kaplamasız gri gövde ($\varepsilon = 0.84$) ve alüminyum kaplamasız siyah gövde ($\varepsilon = 0.95$) olacak şekilde her üç tip lambanın analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerleri farklı kesitler halinde gövde iç - dış yüzeyi, lens iç - dış yüzeyi ve iç hava olarak grafik haline getirilmiştir.

Gövde

Gövde dış yüzeyi H_{s_0} kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 42' de görülmektedir.

Alüminyum kaplı gövdede ($\varepsilon = 0.04$) sıcaklık dağılımı daha dengeli oluşmaktadır. Ampul filamanından gelen yüksek enerjili fotonları iyi bir şekilde yansıtabildiği için gövdede oluşan sıcaklık dağılımında ışınlama ısı transferi etkisi az olmuştur. Bunun yerine sıcak ampul camından ısınan havanın yükselmesiyle sıcak hava ile gövde iç yüzeyi arasında doğal taşınım ile ısı transferi oluşmaktadır ve bu ısı transferinin gövdede oluşan sıcaklık profili üzerindeki etkisi büyük olmuştur. Gövde maksimum sıcaklık değerleri 90° civarındadır ve 270° de oluşan minimum gövde sıcaklığıyla

maksimum gövde sıcaklığı arasında kayda değer fark olması gövdede oluşan sıcaklık profili üzerindeki taşınım ile ısı transferinin etkisini göstermektedir. Ayrıca gövde dış yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklık değeri $H_{s_{03}}$ kesitinin 90° civarında oluşmuştur ki bu da tam ampul filamanın üst bölgesidir.



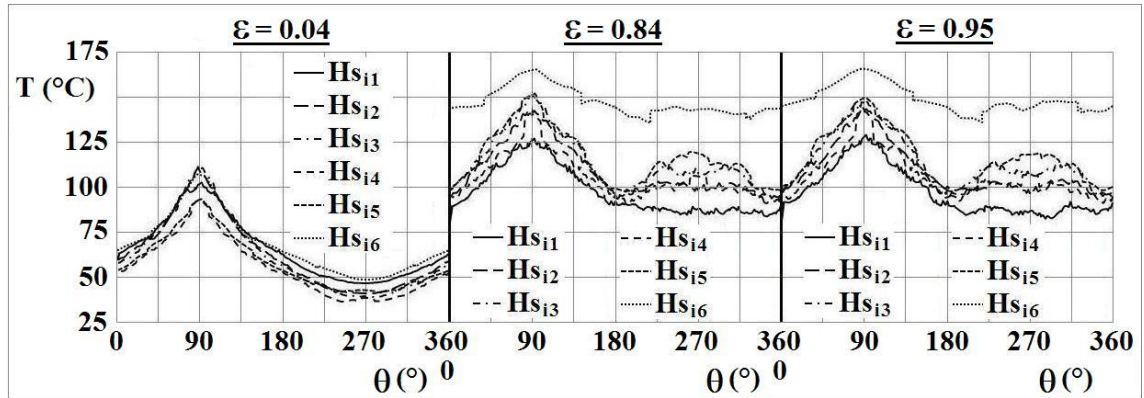
Şekil 42. Gövde dış yüzeyi sıcaklık dağılımı kıyaslaması

Alüminyum kaplamasız gri ($\varepsilon = 0.84$) ve siyah ($\varepsilon = 0.95$) renkli gövdelerde oluşan sıcaklık profilleri alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) olan ile büyük farklılık göstermekle beraber birbirleri arasında çok benzer yapıdadırlar. Alüminyum kaplamanın olmamasıyla ampul filamanından gelen yüksek enerjili fotonların birçoğu gövde iç yüzeyi tarafından emilmiştir ve dolayısıyla alüminyum kaplamalı olan gövdeye göre çok daha yüksek sıcaklıklar oluşmuştur. Bunun yanı sıra gövdede oluşan sıcaklık profilinde doğal taşınım ile ısı transferinin ötesinde ışınlama ile ısı transferi ön plana çıkmıştır. Yine sıcak havanın etkisiyle alüminyum kaplamasız gövdelerde de oluşan sıcaklıkların maksimum değerleri 90° civarı oluşmuştur fakat aynı kesitte maksimum sıcaklık değeriyle minimum sıcaklık değeri arasındaki fark alüminyum kaplamalı gövdeye göre daha az meydana gelmiştir. Bu da gövdede oluşan sıcaklık profilinde ışınlama ile ısı transferinin etkisini göstermektedir. Ayrıca kaplamasız gövdeler dışında oluşan maksimum sıcaklık kaplamalı gövdedeki gibi $H_{s_{03}}$ kesitinde oluşmamıştır. Kaplamasız gövde dış yüzeyi maksimum sıcaklıkları gövdenin ampule en yakın olduğu mesafede yani $H_{s_{06}}$ kesitinde oluşmuştur. Bunun sebebi olarak gövde iç yüzeyinde $H_{s_{i6}}$ kesitinin ampule yakın mesafede olmasından dolayı fazla ısınması gösterilebilir.

Gövdenin lense en yakın olan yani ampule en uzak olan kesiti $H_{s_{01}}$ kesitine dikkat ettiğimizde, kaplamalı gövdenin dış yüzeyinde oluşan sıcaklık 90° civarı hariç diğer

açılarda geri kalan kesitlere ($H_{s_{02}}, \dots H_{s_{06}}$) göre daha fazla derecede oluşmuştur. Bunun sebebi olarak da ampul camından ısınarak yükselen sıcak havanın gövde üst yüzeyine çarptıktan sonra lense doğru hareketlenmesi gösterilebilir. Keza kaplamalı gövdede baskın olan taşınım ile ısı transferi olduğu için sıcak havanın yönleri de gövdedeki sıcaklık dağılımında etkili olmaktadır. Kaplamasız gövdelerde ise $H_{s_{01}}$ kesiti ampul filamanına en uzak bölge olduğu için ve ışınım ile ısı transferi o gövdelerde oluşan ısı dağılımında büyük pay sahibi olduğu için $H_{s_{01}}$ kesitindeki dağılım diğer kesitlere ($H_{s_{02}}, \dots H_{s_{06}}$) göre daha düşük sıcaklarda seyretmiştir. Zira ışınım ile ısı transferi uzaklığın karesiyle ters orantılıdır yani ısı kaynağından ne kadar uzaklaşırsa mesafenin karesine orantılı olacak şekilde etkisini yitirir veya tam tersi ısı kaynağına ne kadar yaklaşırsa mesafenin karesine orantılı olacak şekilde etkisi artırır.

Gövde iç yüzey sıcaklık dağılımları dış yüzey sıcaklık dağılımlarına çok benzerdirler. Gövde iç yüzeyi H_{s_i} kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 43' de görülmektedir.



Şekil 43. Gövde iç yüzeyi sıcaklık dağılımı kıyaslaması

Kaplamalı gövdede her ne kadar ışınım ile ısı transferi etkisi taşınım ile olana kıyasla az da olsa iç yüzey sıcaklık dağılımında ampule yakın mesafe olan $H_{s_{i6}}$ kesitinde ışınım ile ısı transferinin etkisi biraz daha net ayırt edilebilmektedir. Zira $H_{s_{i6}}$ gövde iç yüzey kesitinde 90° civarı hariç diğer açılarda geri kalan kesitlere ($H_{s_{i1}}, \dots H_{s_{i5}}$) göre daha fazla sıcaklık oluşmuştur. Bunun sebebi $H_{s_{i6}}$ kesitinin ampule en yakın kesit olmasıdır.

Kaplamasız gövdelerde iç yüzey maksimum sıcaklıkları gövdenin ampule en yakın mesafesi olan $H_{s_{i6}}$ kesitinde oluşmuştur. Sıcak havanın etkisiyle 90° civarında

maksimum değerine ve 270° civarı minimum değerine ulaşmasına rağmen ışınlama ısı transferinin etkisi büyük olduğu için maksimum ve minimum değerler arasındaki fark diğer tüm kesitlere göre daha azdır. Aynı Z_6 kesitinde olan $H_{s_{06}}$ gövde dış yüzey kesitlerinde oluşan maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasındaki fark $H_{s_{i6}}$ iç yüzey kesitindeki farka göre daha fazladır. Bunun sebebi olarak da gövde dış yüzeyinin ortam havasıyla soğuması gösterilebilir. Buna istinaden kaplamasız lambalarda gövde dış yüzeyinde gövde iç yüzeyine göre taşınım ile ısı transferi etkisi daha fazladır şeklinde düşünülebilir.

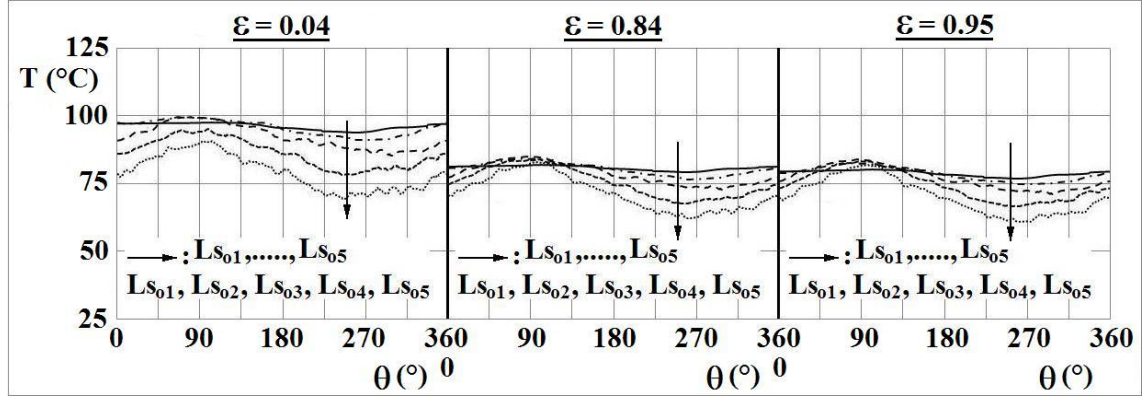
Ampul filamanı silindirik modellenmiş olup yatay konumdadır yani Z kesitleri dikkate alındığında silindirin geniş alanı 90° ve 270° hizasında, silindirin uç kısımları 180° ve 360° doğrultusundadır. Filamandan yayılan radyasyon enerjisi filamanın geometrisi gereği silindirin geniş alanının olduğu çevreye doğru daha fazla gerçekleşirken silindirin uç kısımlarından nispeten daha az ışınlama olmaktadır. Kaplamasız gövdelerde ışınlama ısı transferi gövde sıcaklık profilinde en etkin ısı transferi mekanizması olduğu için filaman konumunun gövde sıcaklık dağılımına etkisi kolayca görülebilmektedir. Gövde iç yüzeyinde ve dış yüzeyinde $H_{s_{i1}}$ ve $H_{s_{o1}}$ kesitleri hariç diğer tüm kesitlerde minimum sıcaklık oluşumu 180° ve 360° civarında meydana gelmiştir ki bunlar da filamanın uç kısmının doğrultularıdır. $H_{s_{i1}}$ ve $H_{s_{o1}}$ kesitleri filamandan yeteri kadar uzak oldukları için filaman yönünün etkisi tam olarak bu kesitlerde oluşmamıştır. Alüminyum kaplamalı gövde de ise filaman yönü her ne kadar etkili olsa da taşınım ile ısı transferinin baskınlığından dolayı gövde sıcaklık dağılımındaki etkisi pek fazla seçilememektedir.

Lens

Lens dış yüzeyi L_{s_0} dairesel kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 44' de görülmektedir.

Alüminyum kaplamasız gri ($\varepsilon = 0.84$) ve siyah ($\varepsilon = 0.95$) renkli lambanın lensinde oluşan sıcaklık profilleri alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) lambanın lensinde olan ile büyük farklılık göstermekle beraber birbirleri arasında çok benzer yapıdadırlar. Kaplamalı ve kaplamasız ürünlerin lens sıcaklıklarında ilk dikkat çeken fark kaplamasız ürünlerde lens sıcaklık değerleri daha düşük seviyelerdedir. Kaplamasız lambaların lens

sıcaklıkları arasındaki belirgin fark olarak siyah lamba lensinin dış yüzey sıcaklık dağılımı kaplamasız gri lamba lensinin dış yüzeyinde oluşan değerlere göre biraz daha düşük görülmektedir. Bu da filamandan çıkan fotonların siyah reflektörden gri olana nazaran daha az yansımaya bağlanabilir.

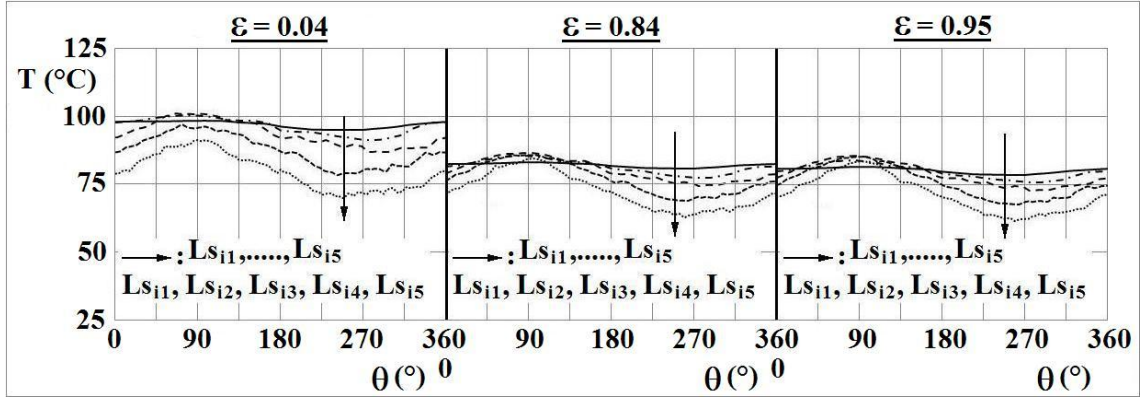


Şekil 44. Lens dış yüzeyi dairesel kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması

Kaplamalı reflektör ($\varepsilon = 0.04$) filamandan çıkan yüksek enerjili fotonları mükemmel derecede yansıtarak gövdenin daha az ısınmasını sağlamakla beraber reflektörden yansıyan fotonlar bu sefer de lens üzerine yönlenebilirler. Lamba lensi yarı saydam yapıda olup emici özelliğe sahiptir. Analizde lensin yansıtma özelliği göz ardı edilmiştir yani üzerine gelen fotonların bir kısmını emerken geri kalan kısmını karşıya geçirmektedir. Lens tarafından emilen fotonlar lenste sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Bu sebeple kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) ürünün lensinde kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$ & 0.95) olanlara göre daha fazla ışınlama ile ısı transferine maruz kaldığı için daha yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır.

Lens dışı Ls_{01} ve lens içi Ls_{i1} dairesel kesitlerinin çapları küçük ve lensin ortasında olduğu için kesit boyunca açısal yönde çok fazla sıcaklık değişimi gerçekleşmemektedir.

Lens iç yüzeyi Ls_i dairesel kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 45' de görülmektedir.



Şekil 45. Lens iç yüzeyi dairesel kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması

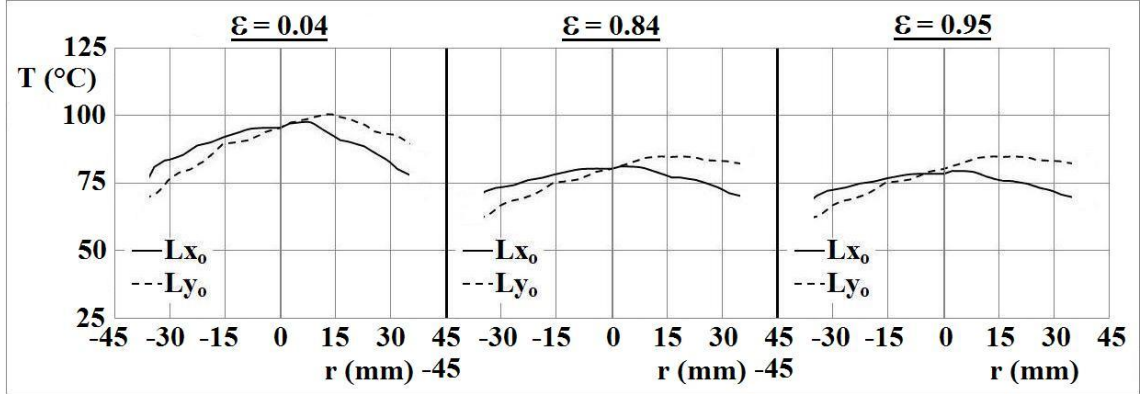
Kaplamalı ve kaplamasız ürünlerde LS_{01} ve LS_{i1} ' den LS_{05} ve LS_{i5} ' e doğru kesit çapları büyümektedir ve büyük çaplardaki kesitlerde açıya bağlı olarak oluşan maksimum ve minimum sıcaklık farkı daha fazla olmaktadır. Bunun sebebi olarak çapın büyük olması dolayısıyla kesit çevresel uzunluğunun daha fazla olmasıyla beraber büyük çaplı kesitlerde taşınım ile ısı transferinin etkinliğinin daha fazla hissedilir olması gösterilebilir.

Kaplamalı ürün lensinde dış yüzey LS_{03} ve LS_{04} ile iç yüzey LS_{i3} ve LS_{i4} kesitlerinde oluşan maksimum sıcaklık değerleri hemen hemen birbirine eşittir. Bu maksimum sıcaklık değerleri de lens dış yüzeyi y eksenini yönündeki Ly_0 ve lens iç yüzeyinin y eksenini yönündeki Ly_i kesitinde 15 mm yarıçap civarında oluşmaktadır ve sıcaklık y eksenini boyunca çap arttıkça tekrar düşüşe geçmektedir. Bu da lensin o bölgesinde reflektörden gelen ışınla ısı transferinin etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Aynı etki LS_{05} ve LS_{i5} kesitlerinin sıcaklık dağılımına bakılarak da görülebilir. Dış yüzey LS_{05} ve iç yüzey LS_{i5} kesitlerinin maksimum sıcaklık değerleri 90° civarında olmasına rağmen diğer tüm kesitlerdeki maksimum sıcaklık değerlerinden daha düşük görülmektedir. Yarı saydam olan lamba lensi üzerine gelen fotonları emerek ışınla ısı transferi gerçekleşmekte ve lens yuttuğu bu fotonlarla ısınmaya başlamaktadır. Bunun neticesinde lens üzerinde ışınla ısı transferinin etkin olduğu bölgelerde iç ve dış yüzey arasındaki sıcaklık değerleri arasındaki fark daha az olmaktadır.

X eksenini boyunca Lx_0 ve Lx_i kesitlerinde dış kenarlara doğru sıcaklıklar düşmekteyken orta bölgeye doğru maksimum değerlere ulaşmaktadır. X eksenini

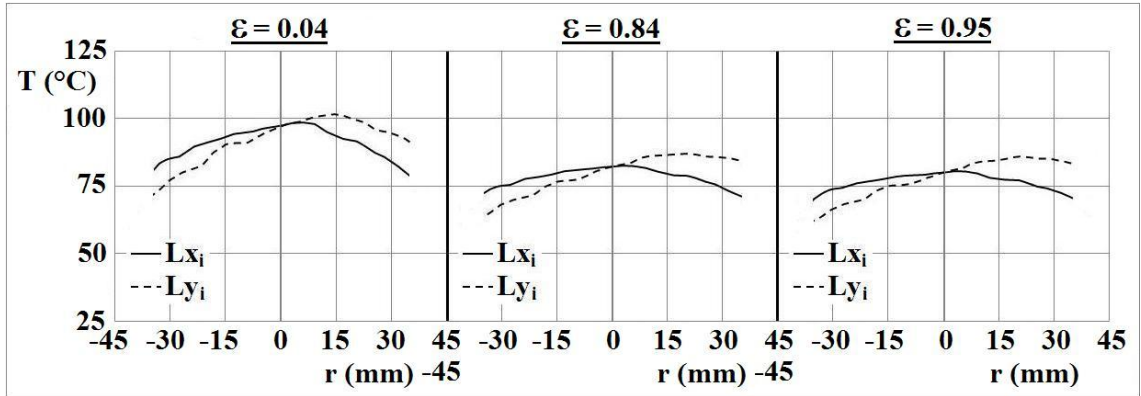
kesitindeki bu dengeli sıcaklık dağılımı lambanın geometrisinin basit dairesel yapıda olduğuna bağlanabilir.

Lens iç yüzeyi Lx_0 aksenal kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 46' da görülmektedir.



Şekil 46. Lens dış yüzeyi aksenal kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması

Lens iç yüzeyi Lx_i dairesel kesitlerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 47' de görülmektedir.



Şekil 47. Lens iç yüzeyi aksenal kesitlerde sıcaklık dağılımı kıyaslaması

Kaplamasız ($\epsilon = 0.84$ & 0.95) ürünlerin lensinde dış yüzey LS_{03} , LS_{04} ve LS_{05} ile iç yüzey LS_{i3} , LS_{i4} ve LS_{i5} kesitlerinde oluşan maksimum sıcaklık değerleri arasındaki fark kaplamalı olan ürün lensinin aynı kesitlerdeki farka göre biraz daha fazladır. Kaplamasız reflektörden yansıyan ve lense ulaşan foton miktarı daha az olduğu için kaplamasız ürünlerin lensinde ışınlama ısı transferi etkisi daha az hissedilir haldedir. Bu da lens iç yüzey ve dış yüzey kesitlerindeki maksimum sıcaklık değerleri arasındaki farkın kaplamalıya göre daha fazla olmasını açıklamaktadır. Ayrıca kaplamasız ürün

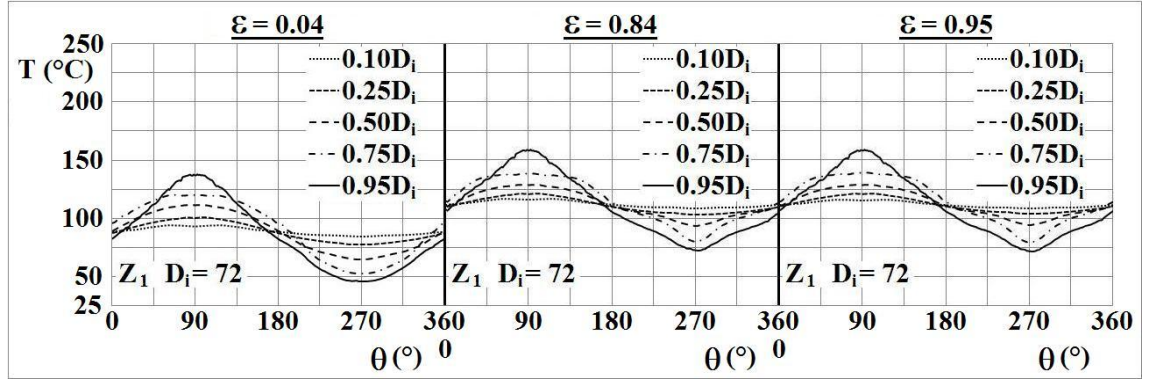
lenslerindeki maksimum sıcaklık değerleri de lens dış yüzeyi y eksenine yönündeki Ly_0 ve lens iç yüzeyinin y eksenine yönündeki Ly_i kesitinde 30 mm yarıçap civarında oluşmaktadır. Sıcaklık y eksenine boyunca çap arttıkça artış göstermekte ve 25 ile 30 mm yarıçap civarı maksimum değerine ulaşmaktadır. Bu da lensin o bölgesinde reflektörden gelen ışınla ısı transferi etkisinin azaldığını bunun yerine lamba içi sıcak hava hareketlerinin oluşturduğu taşınım ile ısı transferi etkisinin de arttığını göstermektedir. Aynı etki $LS_{0.5}$ ve $LS_{1.5}$ kesitlerinin sıcaklık dağılımına bakılarak da görülebilir. Dış yüzey $LS_{0.5}$ ve iç yüzey $LS_{1.5}$ kesitlerinin maksimum sıcaklık değerleri 90° civarındadır ve kaplamasız ürünlerde kaplamalı ürün lensinde oluşanın aksine diğer tüm kesitlerdeki maksimum sıcaklık değerlerine daha yakın görülmektedir.

Kaplamasız ürünlerde de kaplamalı ürüne benzer olarak, X eksenine boyunca Lx_0 ve Lx_i kesitlerinde dış kenarlara doğru sıcaklıklar düşmekteyken orta bölgeye doğru maksimum değerlere ulaşmaktadır. X eksenine kesitindeki bu dengeli sıcaklık dağılımı lambanın geometrisinin basit dairesel yapıda olduğuna bağlanabilir.

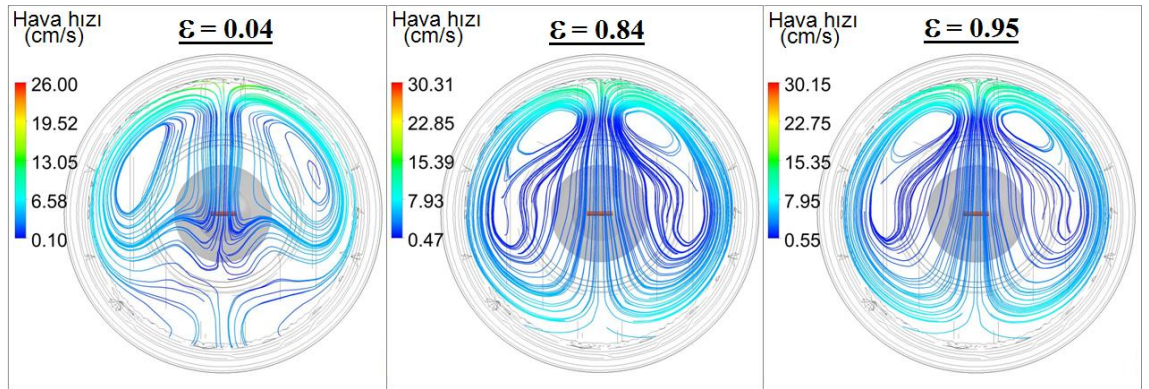
İç hava

Farklı lambalarda iç havanın Z_1' deki dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profilleri Şekil 48' de görülmektedir.

Alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) ve kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$ & 0.95) ürünlerin iç havasının Z_1' deki $0.10 D_i'$ den başlayıp $0.95 D_i'$ ye kadar küçükten büyüğe doğru çapları artan kesitlerdeki sıcaklık dağılımına bakıldığında zaman ilk göze çarpan nokta kesit çapı büyüdükçe o kesitteki sıcaklık değişiminin daha fazla olduğudur. Bunun sebebi tamamen çapa bağlı olarak kesit çevresinin artması gösterilebilir. Kaplamalı ve kaplamasız gövdeler için aynı kesit üzerinde her ne kadar sıcaklık değerleri birbirinden farklı olsa da genel itibariyle sıcaklık değişimleri birbirlerine çok benzemektedirler. Çünkü tüm ürünler için lense en yakın yani ampule en uzak olan kesitte doğal taşınım ile ısı transferi baskın haldedir. Bu baskınlıktan ötürü kesitlerdeki sıcaklık değişimi benzer ve üniform şekilde oluşmaktadır. Fakat denildiği gibi her ne kadar sıcaklık değişimleri birbirlerine çok benzese de kaplamasız lambalarda o kesitte iç hava sıcaklığı daha yüksek değerlerdedir çünkü kaplamasız lambalarda gövde iç yüzeyleri daha fazla ışınım ile ısı enerjisi emdiği için çok daha fazla sıcaktır.



(a)

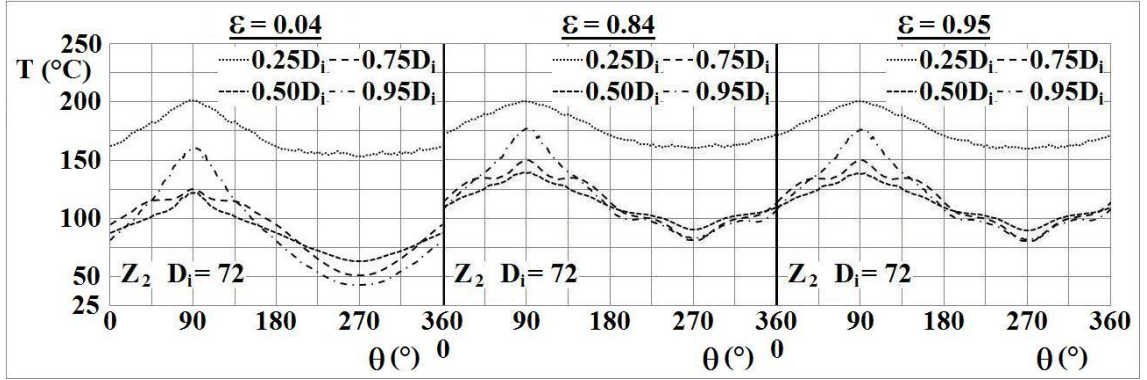


(b)

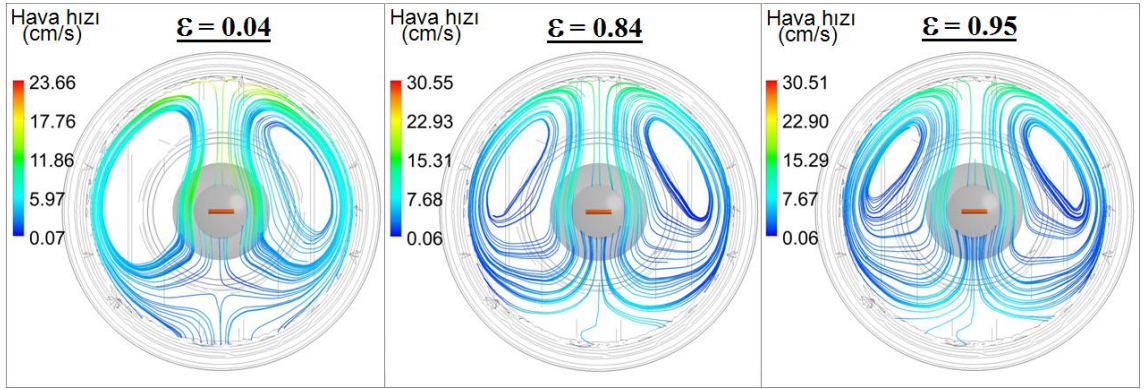
Şekil 48. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_1

Kaplamasız ürünlere yüksek yüzey sıcaklığına bağlı olarak içeride oluşan hava hızı değerleri de alüminyum kaplamalı ürüne göre daha fazladır. İçerideki ampulden dolayı ısınan hava yüksek sıcaklıktaki iç yüzeylerden dolayı daha az soğuyacak, yani daha fazla sıcak kalacağı için daha düşük yoğunluğa sahip olacak, buna bağlı olarak da daha hızlı hareket edecektir. Zira Z_1 kesiti için maksimum iç hava hızlarına bakıldığında (Şekil 48-b), alüminyum kaplamalı lambada 26 cm/s, kaplamasız gri lambada 30.31 cm/s ve siyah kaplamasız üründe de 30.15 cm/s değerleri görülmektedir. Ayrıca yataydaki bu iç hava akışına dikkatlice bakıldığında kaplamasız ürünlerin alt yüzeylerine yakın bölgelerde hava akışı alüminyum kaplamalı ürüne istinaden daha belirgin haldedir. Bu da yine alt yüzey sıcaklığının daha fazla olmasına bağlanabilir.

Z_2 'deki iç hava dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profilleri Şekil 49'da görülmektedir. $0.10 D_i$ kesiti ampul camı içerisinde kaldığı için grafik değerleri $0.25 D_i$ kesitinden başlayarak gitmektedir.



(a)



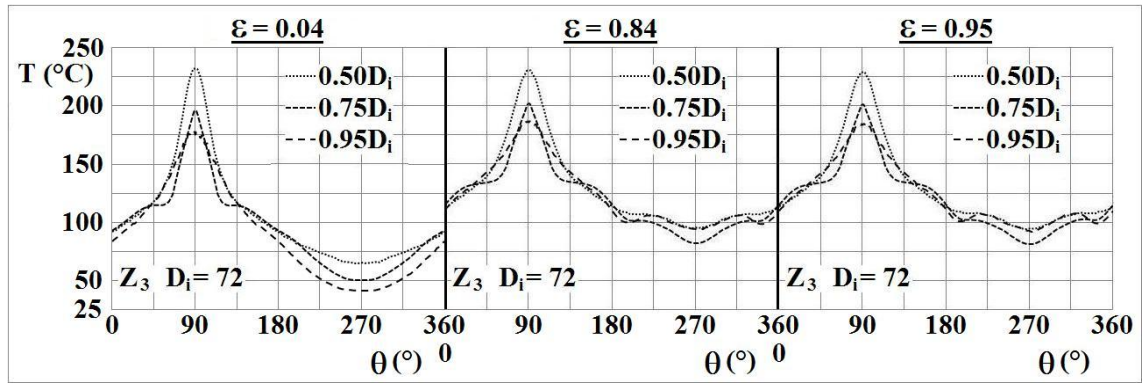
(b)

Şekil 49. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_2

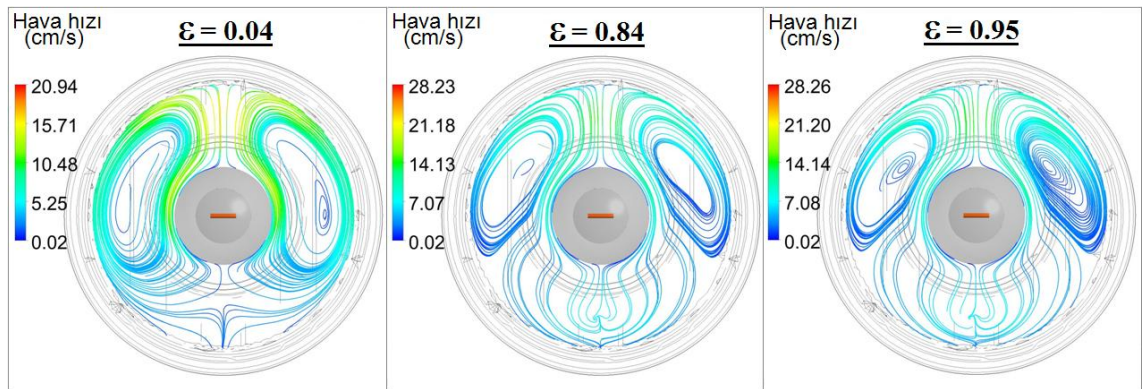
Alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) ve kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$ & 0.95) ürünlerin iç havasının Z_2 'deki $0.25 D_i$ 'den başlayıp $0.95 D_i$ 'ye kadar küçükten büyüğe doğru çapları artan kesitlerdeki sıcaklık dağılımına bakıldığında zaman, alüminyum kaplamalı üründe kaplamasız ürünlere nazaran meydana gelen sıcaklık farkının daha fazla olduğu net olarak görülebilmektedir. Bu fark Z_1 'deki kesitlerde olduğundan daha fazladır ve çap arttıkça bu değişiklik daha dikkat çekici hale gelmektedir ki bunun sebebi olarak çap arttıkça iç havanın gövde iç yüzeylerinden etkileşimi de artmaktadır denilebilir. Zira alüminyum kaplamasız gövdelerin iç yüzeyleri kaplamalı olana göre daha fazla ısıtım enerjisi yutmakta, dolayısıyla sıcak hava akış yönünden bağımsız olarak daha fazla ısınmaktadır ve kaplamasız ürünlere gövde iç yüzeyinin alt kısımlarıyla üst kısımları arasındaki sıcaklık farkı daha azdır. Yüzeydeki bu sıcaklık artışı da ilk olarak o noktadaki iç hava sıcaklığını etkilemektedir. Diğer yönden bakılırsa çap küçüldükçe ve ampule yaklaştıkça farklı lambalar arasındaki iç hava sıcaklığı ve dağılımı birbirlerine çok yakındır. Z_2 'deki $0.25 D_i$ kesiti ampule çok yakın olduğu için kaplamalı ve

kaplamasız tüm ürünlerde sıcaklık değerleri ve dağılımı hemen hemen aynıdır çünkü o kesitteki sıcaklık etkisini baskın bir şekilde ampul camı oluşturmakla beraber o noktadaki sıcak hava daha gövde iç yüzeyleriyle etkileşim haline girmemiştir.

Aynı Z_1 ' de olduğu gibi Z_2 ' de de kaplamasız ürünlerin yüksek yüzey sıcaklığına bağlı olarak içeride oluşan hava hızı değerleri alüminyum kaplamalı ürüne göre daha fazladır. Kaplamasız ürünlerdeki yüksek sıcaklıkta dolayısıyla düşük yoğunlukta olan iç havanın maksimum akış hızı gri gövde için 30.55 cm/s, siyah gövde için 30.51 cm/s şeklinde görülmektedir. (Şekil 49-b) Bu maksimum hava hızı alüminyum kaplamalı üründe 23.66 cm/s değerindedir. Yine Z_1 kesitinde dikkat çektiği gibi iç hava akışına dikkatlice bakıldığında kaplamasız ürünlerin alt yüzeylerine yakın bölgelerde hava akışı alüminyum kaplamalı ürüne istinaden daha belirgin haldedir. Bu da benzer olarak alt yüzey sıcaklığının daha fazla olmasına bağlanabilir.



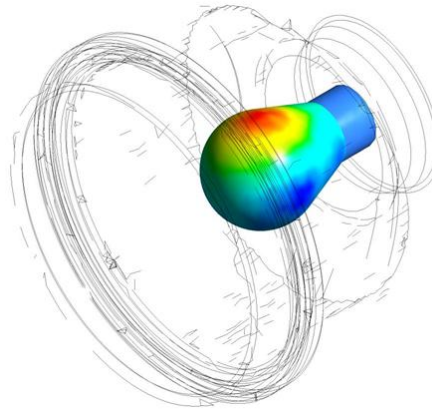
(a)



(b)

Şekil 50. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_3

Ampul filamanı doğrultusundaki Z_3 iç hava dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profilleri Şekil 50' de görülmektedir. $0.10 D_i$ ve $0.25 D_i$ kesiti ampul camı içerisinde kaldığı için grafik değerleri $0.50 D_i$ kesitinden başlayarak gitmektedir. Gövde iç hava kesitlerinin tümüne bakıldığı zaman en yüksek sıcaklık değeri bu Z_3 ' deki $0.50 D_i$ kesitinde olduğu görülmektedir ki bu kesitte ampulün üst noktasına en yakın olan kesittir. Ampul camının ısınmasının büyük bir kısmı filamandan gelen yüksek miktardaki ışınım ile olmakla beraber cam üzerindeki sıcaklık dağılımını oluşturan asıl etken ampul çevresindeki lamba iç havasıdır.



Şekil 51. Ampul camı sıcaklık dağılımı

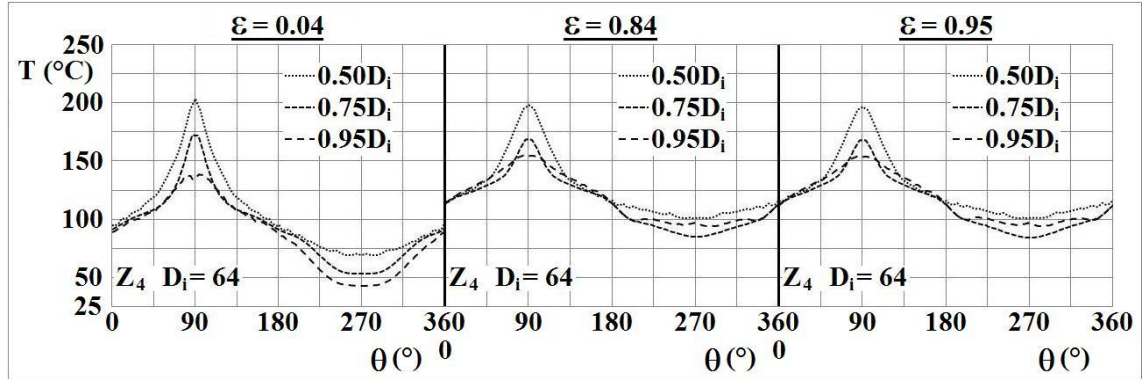
Sıcak ampul camından ısınan hava cam duvarı boyunca sürünerek yükselmektedir ve yükseldikçe de daha fazla ısınmaktadır. Yükselirken daha fazla ısınan havaya yüzeyin alt konumuna göre üst konumunda yüzeyden daha az ısı transferi gerçekleşmekte bu da dolayısıyla cam yüzeyinin üst bölgelerinin daha az soğumasına yani daha sıcak kalmasına sebep olmaktadır. (Şekil 51) Termal analiz sonucunda ortaya çıkan ampul camı maksimum sıcaklığı alüminyum kaplamalı lambada $279.39\text{ }^{\circ}\text{C}$, alüminyum kaplamasız gri lambada $269.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve alüminyum kaplamasız siyah lambada ise $268.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerlerindedir. Maksimum sıcaklık noktaları lamba içi havanın doğal konveksiyonu sebebiyle ampul camı üst bölgelerinde oluşmuştur. Ampul cam sıcaklıklarının bu seviyelerde oluşması şüphesiz lambanın kapalı ortam olmasından kaynaklanmaktadır. Tamamen açık ortamda aynı ampul tek başına yakılırsa daha soğuk hava ile daha iyi hava akışı gerçekleşeceğinden dolayı ampul camı üzerinde oluşacak olan maksimum sıcaklık değerinin daha düşük olacağı aşikardır.

Z_3 konumunda $0.50 D_i$ kesitindeki maksimum sıcaklık değeri kaplamalı ve kaplamasız her üç tip lamba için hemen hemen aynı seviyelerde olmakla beraber minimum değerleri alüminyum kaplamalı lambada kaplamasız olanlara nazaran daha düşüktür. Bunun da sebebi olarak yine kaplamasız ürünlerde daha yüksek iç yüzey sıcaklıklarından dolayı içerdeki sirkülasyon yapan havanın daha fazla ısınması dolayısıyla ampulü daha az soğutabilmesi gösterilebilir. Kaplamalı ve kaplamasız gövdelerdeki ampul üstü hava sıcaklıklarındaki benzerlik $0.75 D_i$ ve $0.95 D_i$ ' ye doğru yani kesit çapı büyüyüp ampulden uzaklaşarak gövde iç yüzeye yakınlaştıkça ortadan kalkmaktadır. Alüminyum kaplamalı lamba için bu sıcaklık değeri kaplamasız ürünlere nazaran daha düşük kalmaktadır. Çünkü artık sıcak hava yüzeye yaklaşmakta ve yüzey ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Kaplamalı gövde yüzeyi kaplamasızlara göre daha soğuk olduğu için sıcak havadan gövdeye doğru ısı transferi daha fazla gerçekleşmekte ve hava daha fazla soğumaktadır.

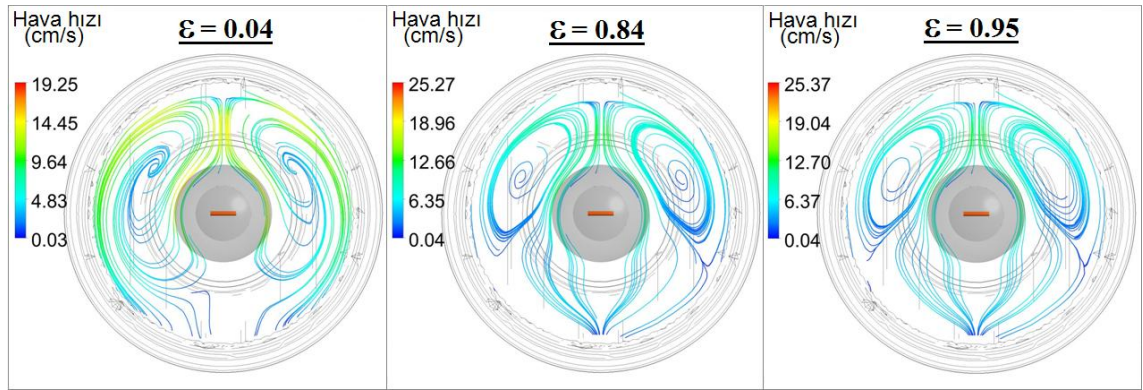
Z_3 kesitinde de gövde iç yüzey sıcaklıklarındaki farklılıktan kaynaklanan hava hızlarındaki farklılık açıkça görülebilmektedir. Kaplamasız gri gövdede maksimum hava hızı 28.23 cm/s , kaplamasız siyah gövdede 28.26 cm/s değerinde olup alüminyum kaplamalı üründe ise 20.94 cm/s ' dir. (Şekil 50-b) Aynı şekilde diğer kesitlerde olduğu gibi kaplamasız ürünlerin hava akış profilleri birbirlerine benzerken alüminyum kaplamalı üründen biraz farklılık göstermektedir.

Z_4 ' deki iç hava dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profilleri Şekil 52' de görülmektedir. $0.10 D_i$ ve $0.25 D_i$ kesiti ampul camı içerisinde kaldığı için grafik değerleri $0.50 D_i$ kesitinden başlayarak gitmektedir. Z_3 ' deki $0.50 D_i$ kesitine benzer olarak Z_4 ' deki $0.50 D_i$ kesitinde de alüminyum kaplamalı ve kaplamasız her üç tip lamba için maksimum sıcaklık değerleri birbirlerine hemen hemen eşittir çünkü bu kesit ampul camına çok yakındır. Camdan uzaklaştıkça yani $0.95 D_i$ ' ye doğru kesit çapı büyüyüp gövde yüzeyine yaklaştıkça Z_3 ' de olduğu gibi benzerlik ortadan kalkmakta, artık yüzey sıcaklıklarının etkisi ortaya çıktığı için hava sıcaklıkları kaplamalı ve kaplamasız gövde için farklılıklar göstermektedir. Ayrıca alüminyum kaplamalı gövdede 270° civarı oluşan minimum sıcaklık değerleri kaplamasız ürünlerin aynı açı civarında oluşan sıcaklık değerlerine göre daha az olup bunun açıklaması da daha önceki açıklamalara benzer şekilde filamandan ışınlam ile transfer olan enerjinin

kaplamasız gövdelerde iyi derece yutulması ve yüzeylerinin kaplamalı ürüne nazaran daha fazla ısınmasıdır.



(a)



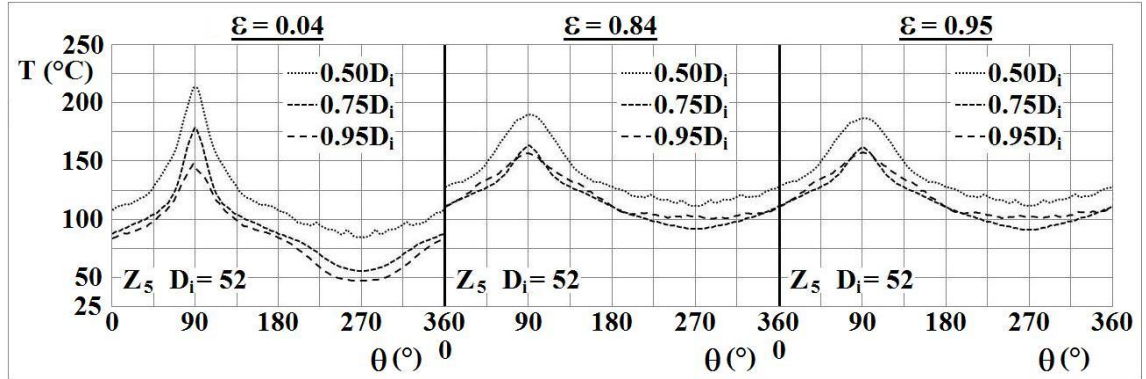
(b)

Şekil 52. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_4

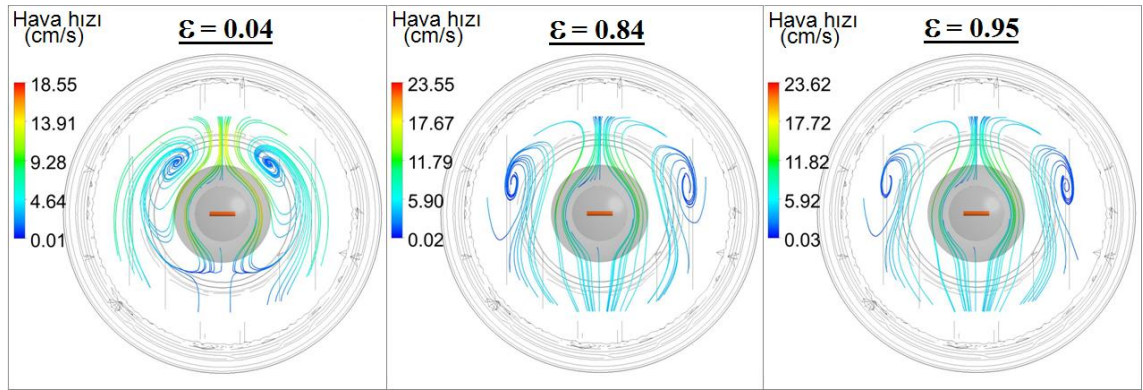
Diğer kesitlere benzer olarak Z_4 kesitinde de hava hızlarında gövde iç yüzey sıcaklıklarındaki farklılıktan kaynaklanan değişiklikler meydana gelmiştir. Kaplamasız gri gövdede maksimum hava hızı 25.27 cm/s, kaplamasız siyah gövdede 25.37 cm/s değerinde olup alüminyum kaplamalı üründe ise 19.25 cm/s' dir. (Şekil 52-b)

Z_5 ' deki iç hava dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profillerinde (Şekil 53 a-b) $0.10 D_i$ ve $0.25 D_i$ kesiti ampul camı içerisinde kaldığı için grafik değerleri $0.50 D_i$ kesitinden başlayarak gitmektedir. Alüminyum kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$) ($\varepsilon = 0.95$) lambalarda oluşan sıcaklık değerleri birbirlerine benzer yapıda olmakla beraber alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) ürün ile kaplamasızlar arasında ciddi sıcaklık farkları vardır. Beklenenin aksine alüminyum kaplamalı üründe $0.50 D_i$ ve $0.75 D_i$ kesitlerinde oluşan maksimum hava sıcaklığı alüminyum kaplamasız ürünlerdekinden

daha fazla oluşmuştur. Bunun sebebini tespit etmek için lamba içerisindeki hava akışı incelenmelidir.



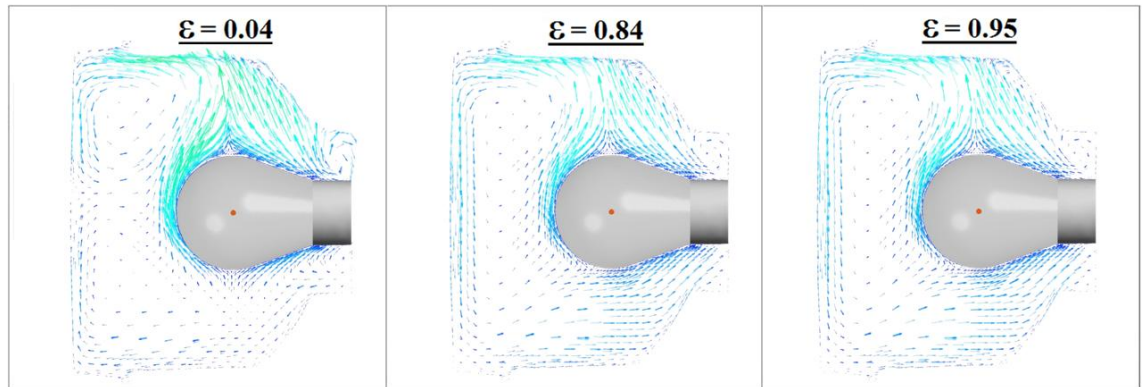
(a)



(b)

Şekil 53. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_5

Alüminyum kaplamasız ürünlerde oluşan sıcak hava hızları kaplamalı ürüne nazaran daha yüksek değerlerde oluşmaktaydı çünkü kaplamasız gövdelerin iç yüzey sıcaklıkları fazla olduğu için lamba içerisindeki hava genel dağılım olarak daha sıcak olmakta ve bu sebeple daha hızlı hareket etmekteydi.



Şekil 54. Dikey kesitte iç hava hız profilleri

Alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) lamba içerisindeki hava akışına dikey kesitte bakıldığı zaman (Şekil 54) ampul camından yükselen sıcak hava gövde üst yüzeyi ile etkileşerek lense doğru hareketlenmekte ve lens yüzeyinden aşağı doğru yönlenmektedir. Lens yüzeyinde aşağı doğru akan hava lens orta yüzeyine doğru ışınlama ile ısınan lens yüzey sıcaklığının etkisiyle tekrar yükselerek o bölgede bir döngü oluşturmaktadır.

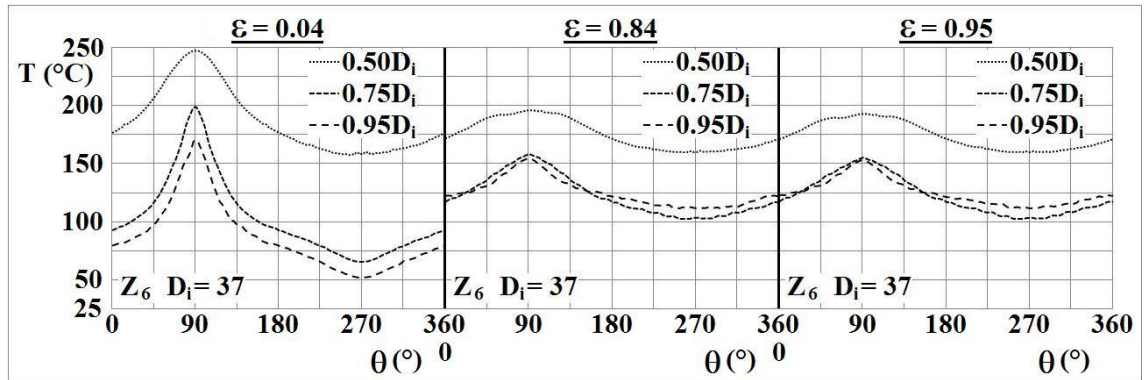
Alüminyum kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$ & 0.95) lambalar içerisindeki hava akışına dikey kesitte bakıldığında ise (Şekil 54) yine ampul camından yükselen sıcak hava gövde üst yüzeyine sürünerek lense doğru hareketlendiği ve lens yüzeyinden aşağı doğru yönlendiği görülmektedir. Fakat bu sefer hem kaplamasız ürünlerdeki iç hava hızlarının fazla olması hem de lens yüzeyinin ışınlama ile ısı transferinden kaplamalıya kıyasla çok fazla etkilenmemesi sebebiyle hava lensten aşağı doğru hareketini tamamlamakta ve tekrar ampul ve duyu tarafına yönelmektedir. Ampul tarafına giden bu hava duyu bölgesindeki hava hareketlerini artırmaktadır. Aynı etki Şekil 53-b' de ampul altındaki hız profillerinin sıklığına bakılarak da anlaşılabilir. Alüminyum kaplamasız lambalarda kaplamalıya kıyasla duyu bölgesinde daha iyi hava akışı olmaktadır. Dolayısıyla duyunun ve yakınındaki ampul camının daha iyi soğuması sağlanmaktadır ya da alüminyum kaplamalı üründe duyu bölgesi daha fazla ısınmaktadır. Bu ise alüminyum kaplamalı üründe $0.50 D_i$ ve $0.75 D_i$ kesitlerinde oluşan maksimum hava sıcaklığı alüminyum kaplamasız ürünlerdekenden daha fazla oluşunu açıklamaktadır.

Gerçek ampul duyunun analiz ortamında modellenmesinin zor olması ve ampul filamanındaki ısı enerjisinin çok az miktarının filaman ayakları doğrultusunda duyu ile iletilmesinden dolayı termal analiz modelinde ampul duyu çok basitleştirilmiş ve gerçek duydaki çizgisel teması bağı olarak ısı transferinin zorluğunu karşılayacak şekilde analizde plastik malzeme olarak tanıtılmıştır. Bu sebepten duyu üzerindeki sıcaklık değerlerinin gerçek değerlere yakınlığı lambanın diğer noktalarındaki değerlere göre daha az olması muhtemeldir.

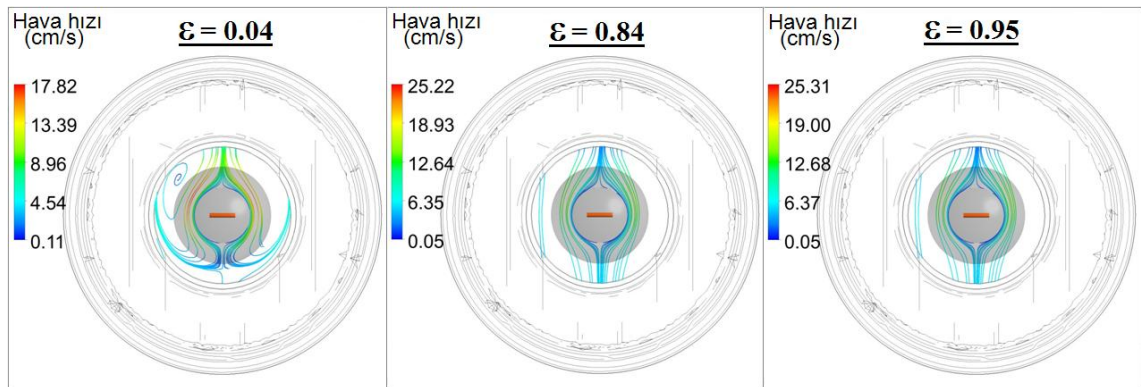
Z_5 kesitinde de diğerleri gibi hava hızlarında gövde iç yüzey sıcaklıklarındaki farklılıktan kaynaklanan değişiklikler meydana gelmiştir. Diğer bir fark da alüminyum kaplamalı ürün ile kaplamasız ürünlerin hava akış profillerinde oluşan hava döngüleri birbirlerinin ters yönünde olmasıdır. Kaplamasız gri gövdede maksimum hava hızı

23.55 cm/s, kaplamasız siyah gövdede 23.62 cm/s değerinde olup alüminyum kaplamalı üründe ise 18.55 cm/s' dir. Kaplamasız ürünlerde daha hızlı olan iç hava akışı kaplamalı ürüne nazaran ters yönde bir vorteks oluşumu yapmıştır.(Şekil 53-b)

Z_6 'daki iç hava dairesel kesitlerinde oluşan sıcaklık dağılımı ve hız profillerinde (Şekil 55 a-b) $0.10 D_i$ ve $0.25 D_i$ kesiti ampul camı içerisinde kaldığı için grafik değerleri $0.50 D_i$ kesitinden başlayarak gitmektedir. Z_5 kesitine benzer olarak alüminyum kaplamasız ($\varepsilon = 0.84$ & 0.95) lambalarda oluşan sıcaklık değerleri birbirlerine benzer yapıda olmakla beraber alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) ürün ile kaplamasızlar arasında ciddi sıcaklık farkları vardır. Kaplamalı lamba için üç farklı çaptaki kesitlerin 90° civarında oluşan maksimum sıcaklık değerleri kaplamasız ürünlere nazaran daha fazla oluşmuştur. Bunun açıklaması aynı Z_5 kesitinde olduğu gibi lamba içi hava akışlarına bağlı olarak alüminyum kaplamalı ürünün o bölgesinde ampul camı ve duyu biraz daha fazla ısınmasıdır.



(a)

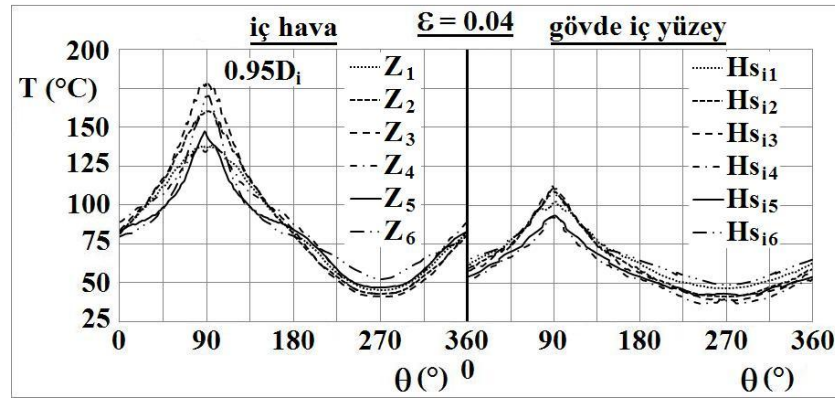


(b)

Şekil 55. İç havanın dairesel kesitlerde sıcaklık (a) ve hız (b) dağılımı – Z_6

Z_6 kesiti için kaplamasız gri gövdede maksimum hava hızı 25.22 cm/s, kaplamasız siyah gövdede 25.31 cm/s değerinde olup alüminyum kaplamalı üründe ise 17.82 cm/s' dir. (Şekil 55-b)

Gövde iç yüzeyine en yakın $0.95D_i$ iç hava sıcaklık değerleri Z_1 ' den Z_6 ' ya kadar tüm kesitlerde gövde iç yüzey sıcaklıkları ile kıyaslanarak gövdenin ısınmasında ışınlım ile ve taşınım ile ısı transferlerinin göreceli olarak ne kadar etkili oldukları görülebilir. Alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) lamba için bu kıyaslama Şekil 56' da görülmektedir.

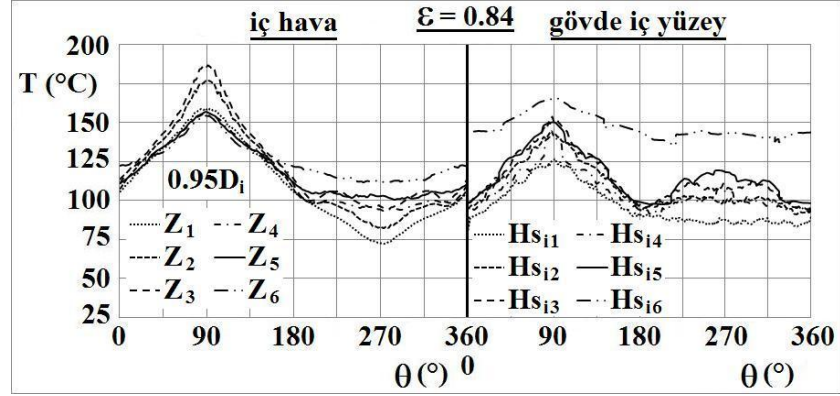


Şekil 56. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.04$

Alüminyum kaplamalı ürünün gövde yüzeyine yakın kesitlerinde iç hava sıcaklık dağılımı çok düzgün şekilde olup aynı düzgün dağılım gövde iç yüzey sıcaklıklarında da görülmektedir. Her kesit için üst nokta 90° civarı maksimum ve alt nokta 270° civarı minimum seviyelerine ulaşan hava sıcakları, lamba iç havası hareket yönünün kesitlerin sıcaklık dağılımındaki etkinliğinin bir kanıtıdır. Buradan yola çıkarak ve gövde iç yüzey sıcaklık dağılımının da iç hava sıcaklık dağılımına benzer olduğunu da dikkate alarak, lamba gövdesindeki sıcaklık profilinde taşınım ile ısı transferinin etkisinin büyük olduğu rahatlıkla söylenebilir.

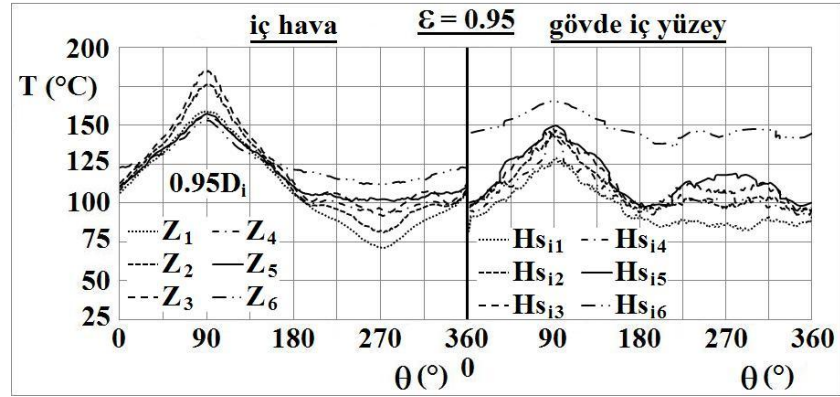
Alüminyum kaplamasız gri ($\varepsilon = 0.84$) lamba için gövde yüzey sıcaklıklarıyla yüzeye yakın iç hava sıcaklıklarının karşılaştırılması Şekil 57' de görülmektedir. Kaplamalı üründen farklı olarak 180° ile 360° arası gövde alt yüzeylerindeki sıcaklık değerleri dengeli yapıdadır yani o bölgeler arası hava hareketinin gövde ısısı üzerindeki etkisi pek fazla değildir. Alt gövde yüzeylerinin fazla ısınması o bölgedeki havanın da daha fazla ısınmasını sağlamış ve kaplamalı üründe oluşan hava sıcaklıklarındaki açığa bağlı düzgün değişim kaplamasız ürün de biraz ortadan kalkmıştır. İç hava sıcaklıklarına

bakılırsa diğer kesitlerden farklı olarak Z_1 ve Z_2 kesitlerindeki maksimum sıcaklık değerinin 90° ve minimum sıcaklık değerinin de 270° civarında oluşması dikkat çekmektedir. Bunlar ampule en uzak kesitler olduğu için ışınım enerjisinden de en az etkilenen noktalardır, dolayısıyla Z_1 ve Z_2 kesitlerindeki sıcaklık dağılımı taşınım ile ısı transferinin etkisini daha fazla hissettirmesinden dolayı daha üniform halde oluşmaktadır. Diğer kesitlerde ise ışınım ile ısı transferinin etkinliği dikkat çekmektedir.



Şekil 57. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.84$

Alüminyum kaplamasız siyah ($\varepsilon = 0.95$) lambanın gövde iç yüzey ve yakınındaki hava sıcaklıkları karşılaştırması Şekil 58’ de görülmektedir.



Şekil 58. Gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıklarının kıyaslanması – $\varepsilon = 0.95$

Kaplamasız siyah lamba ile kaplamasız gri lambanın sıcaklık dağılımları ve sıcaklık değerleri birbirlerine çok yakın olmakla beraber kaplamalı ürünlere göre bir hayli farklıdır. Kaplamalı ürün ile kaplamasız ürünler arasındaki en belirgin nokta aynı kesitte gövde iç yüzey ile iç hava sıcaklıkları arasındaki farktır. Keza alüminyum kaplamalı üründe kesit hava sıcaklıklarıyla gövde yüzey sıcaklıkları arasındaki fark fazla iken,

kaplamasız ürünlerde bu fark daha azdır. Işınım etkisinin fazla olması o noktada yüzey sıcaklığı ile yakınındaki hava sıcaklığı arasındaki farkın az olmasından anlaşılabilir. Zira yüzey sıcak hava haricinde ışınım ile de ısındığı için bu durum gerçekleşmektedir. Buradan da yola çıkarak kaplamalı lambanın sıcaklık dağılımında doğal taşınım ile ısı transferinin ve kaplamasız lambalarda da ışınım ile ısı transferinin baskın olduğu söylenebilir.

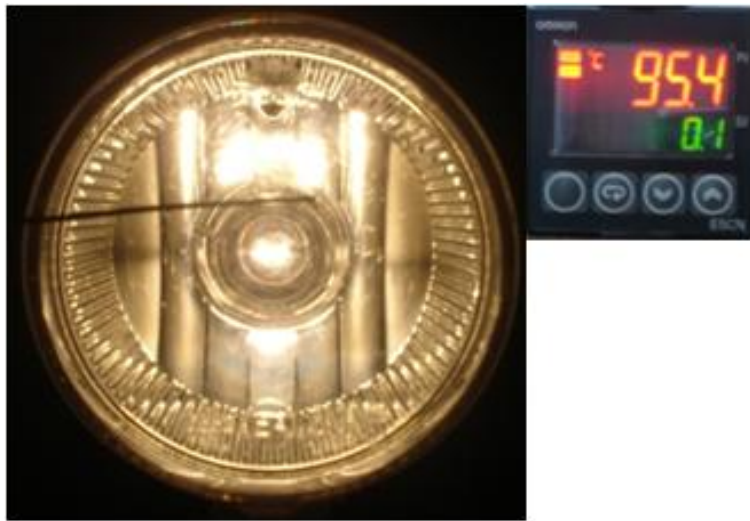
4.2.3. Gerçek sıcaklık ölçümleriyle analiz sonuçlarını kıyaslama

Termal analizde incelenen Alüminyum (Al.) kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) lamba, kaplamasız gri lamba ($\varepsilon = 0.84$) ve kaplamasız siyah lamba ($\varepsilon = 0.95$) analizde kullanılan parametrelere uygun olarak 25 ± 2 °C ortam sıcaklığında 13.5 V gerilimle güç kaynağı aracılığıyla yakılmışlardır. Lambalar ısı dengeye ulaştıktan sonra gövde ve lens dış yüzeyinde belirli noktalardan probe ile sıcaklık ölçümü yapılmış olup ayrıca lens dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımı ve değeri termal kamerayla da kontrol edilmiştir.

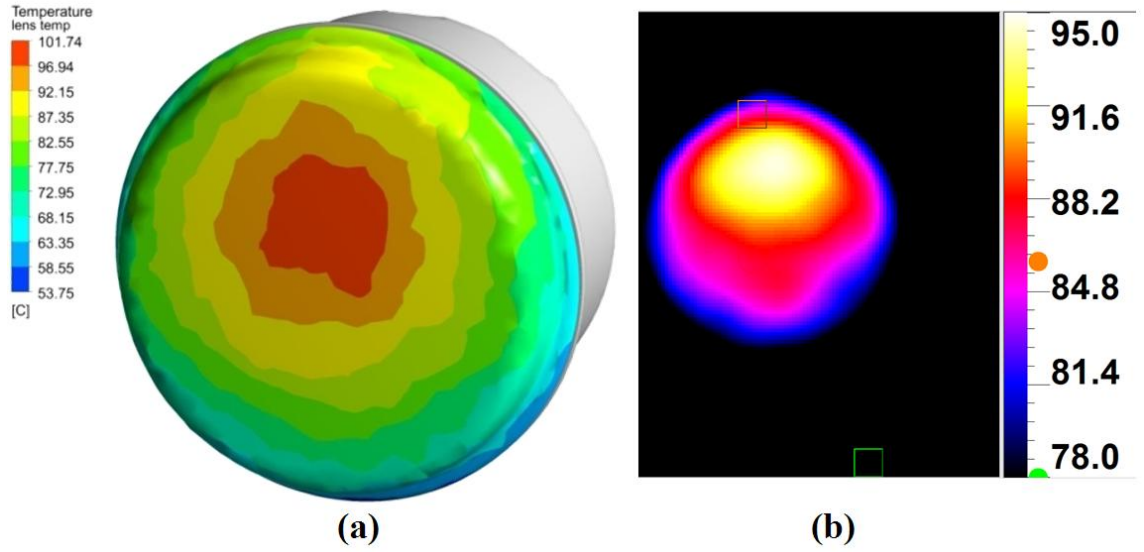
Lens sıcaklık dağılımı

Alüminyum kaplamalı ($\varepsilon = 0.04$) lamba

Alüminyum kaplamalı lambanın lens dış yüzey maksimum sıcaklığı 95.4 °C ölçülmüştür. (Şekil 59) Termal kamera ile ölçümde de 95 °C civarı maksimum sıcaklık değeri görülmektedir. (Şekil 60)

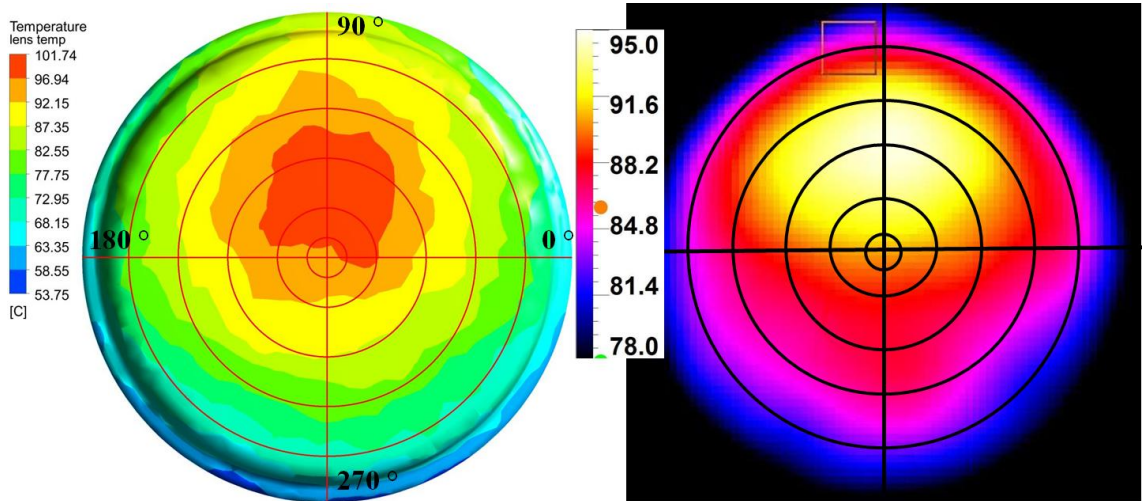


Şekil 59. Al. kaplamalı lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü



Şekil 60. Al. kaplamalı lambanın lens dış yüzeyi sıcaklık dağılımı
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü

CFD ile termal analiz sonucu lens üzerinde oluşan sıcaklık dağılımının ve değerlerinin gerçek değerlerle daha iyi kıyaslanabilmesi için lens L_{s01} ' den L_{s05} ' e kadar olan tüm dairesel kesitlerde ayrı ayrı incelenmiştir. Aynı kesitler ölçekli şekilde lensin termal kamera ile ölçüm görüntüsü üzerine yansıtılmıştır. (Şekil 61)



Şekil 61. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamalı lamba

Her dairesel kesitin 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° , 360° açılarındaki sıcaklık değerleri tek tek hem analiz sonucu hem de termal kamera görüntüsü olacak şekilde karşılaştırılmıştır. Alüminyum kaplamalı lamba için bu karşılaştırma Tablo 4.2' de görülmektedir.

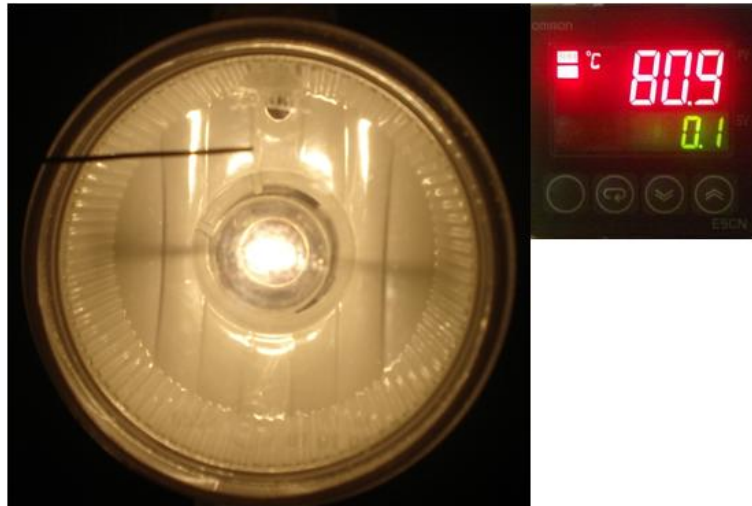
Tablo 4.2: Alüminyum kaplamalı lambanın lens sıcaklık kıyaslaması

	Sıcaklık	0 °	45 °	90 °	135 °	180 °	225 °	270 °	315 °
L _{s01}	Analiz	97.15 °C	97.43 °C	97.60 °C	97.43 °C	95.63 °C	94.33 °C	94.07 °C	95.83 °C
	Gerçek	90.90 °C	92.30 °C	92.30 °C	92.30 °C	90.90 °C	90.90 °C	90.90 °C	90.90 °C
L _{s02}	Analiz	97.53 °C	98.62 °C	99.35 °C	97.76 °C	95.02 °C	92.86 °C	91.10 °C	92.96 °C
	Gerçek	90.90 °C	92.30 °C	93.00 °C	92.30 °C	90.90 °C	90.20 °C	88.70 °C	89.50 °C
L _{s03}	Analiz	90.87 °C	96.50 °C	99.13 °C	96.25 °C	91.20 °C	89.57 °C	87.57 °C	86.92 °C
	Gerçek	80.90 °C	92.30 °C	95.00 °C	92.30 °C	80.90 °C	86.20 °C	86.90 °C	86.20 °C
L _{s04}	Analiz	85.97 °C	91.03 °C	94.22 °C	91.47 °C	85.87 °C	79.86 °C	79.58 °C	80.45 °C
	Gerçek	86.20 °C	80.90 °C	92.30 °C	80.90 °C	86.20 °C	84.80 °C	85.50 °C	84.80 °C
L _{s05}	Analiz	78.40 °C	85.11 °C	90.24 °C	82.86 °C	79.99 °C	70.88 °C	70.76 °C	72.95 °C
	Gerçek	84.10 °C	86.20 °C	88.20 °C	86.20 °C	84.10 °C	78.00 °C	78.00 °C	78.00 °C

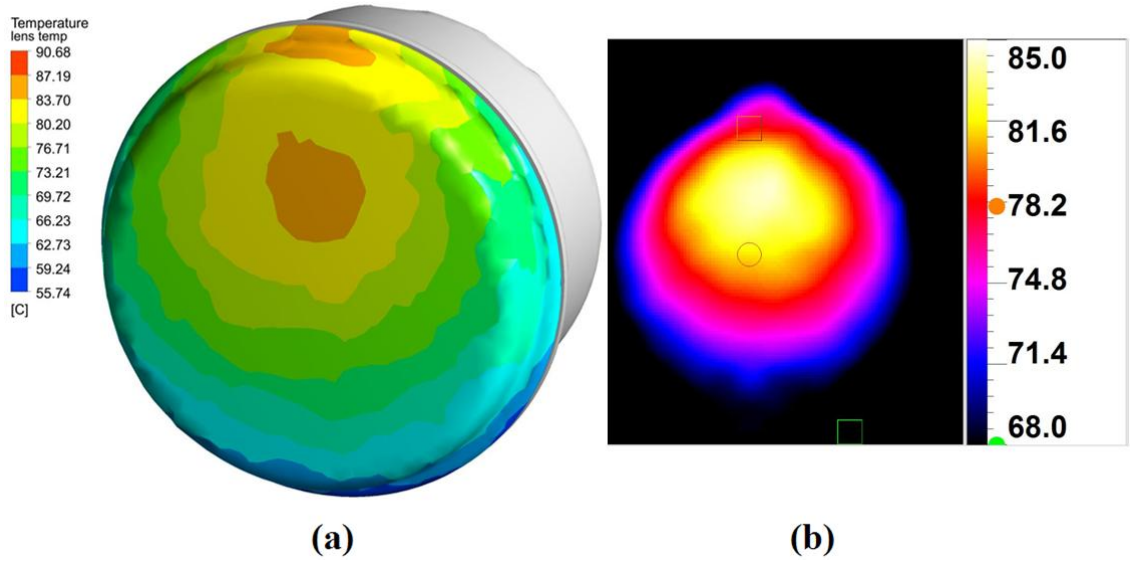
Tablo 4.2' yi incelediğimizde, analiz sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarına kıyasla sapmalarının ortalaması ± 2.34 °C' dir. Bu sapma miktarlarına göre lens sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 87.61°C baz alındığında yaklaşık \pm %3 civarı bir hata olduğunu anlaşılmaktadır ki bu da alüminyum kaplamalı lamba lens sıcaklığı için analiz sonucunun %97 civarında bir hassasiyet yakaladığını göstermektedir.

Alüminyum kaplamasız ($\epsilon = 0.84$) gri lamba

Alüminyum kaplamasız gri lambanın lens dış yüzey maksimum sıcaklığı 80.9 °C ölçülmüştür. (Şekil 62) Termal kamera ile ölçümde de 85 °C civarı maksimum sıcaklık değeri görülmektedir. (Şekil 63)

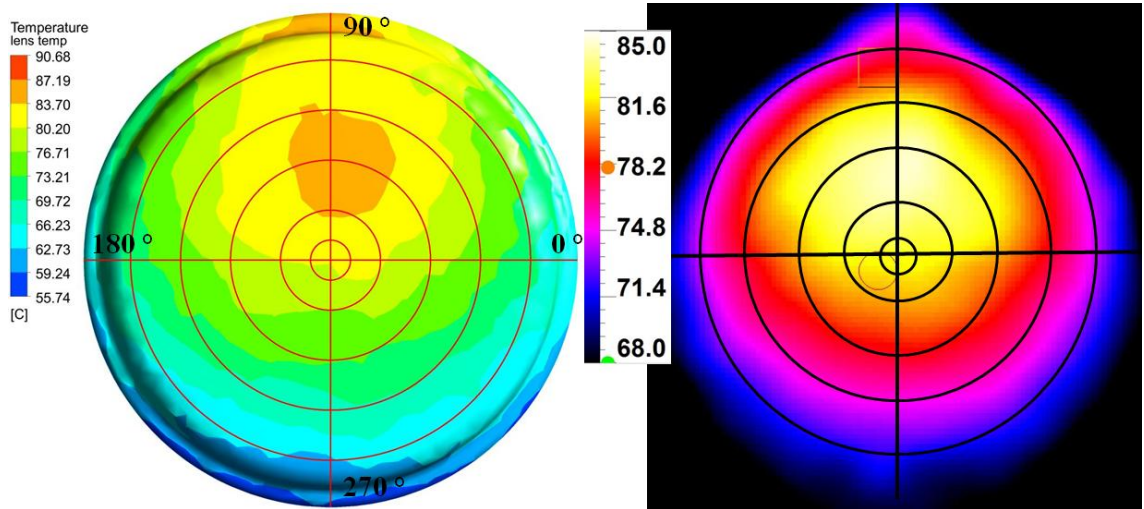


Şekil 62. Al. kaplamasız gri lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü



Şekil 63. Al. kaplamasız gri lambanın lens dış yüzeyi sıcaklık dağılımı
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü

Alüminyum kaplamalı lambada yapıldığı gibi alüminyum kaplamasız gri lamba için de CFD ile termal analiz sonucu lens üzerinde oluşan sıcaklık dağılımının ve değerlerinin gerçek değerlerle daha iyi kıyaslanabilmesi için lens LS_{01} ' den LS_{05} ' e kadar olan tüm dairesel kesitlerde ayrı ayrı incelenmiştir. Aynı kesitler ölçekli şekilde lensin termal kamera ile ölçüm görüntüsü üzerine yansıtılmıştır. (Şekil 64)



Şekil 64. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamasız gri

Yine her dairesel kesitin 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360° açılarındaki sıcaklık değerleri tek tek hem analiz sonucu hem de termal kamera

görüntüsü olacak şekilde karşılaştırılmış olup alüminyum kaplamasız gri lamba için bu karşılaştırma Tablo 4.3' de görülmektedir.

Tablo 4.3: Alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklık kıyaslaması

Sıcaklık	0 °	45 °	90 °	135 °	180 °	225 °	270 °	315 °
L _{S01}	Analiz	81.20 °C	81.46 °C	81.76 °C	81.57 °C	80.45 °C	79.55 °C	80.50 °C
	Gerçek	82.30 °C	83.00 °C	83.00 °C	83.00 °C	82.30 °C	81.60 °C	81.60 °C
L _{S02}	Analiz	80.77 °C	82.75 °C	84.23 °C	82.23 °C	80.17 °C	78.21 °C	78.41 °C
	Gerçek	81.60 °C	82.30 °C	83.70 °C	82.30 °C	81.60 °C	80.90 °C	80.90 °C
L _{S03}	Analiz	77.32 °C	82.85 °C	84.95 °C	81.56 °C	77.77 °C	75.68 °C	73.91 °C
	Gerçek	80.20 °C	82.30 °C	85.00 °C	82.30 °C	80.20 °C	78.20 °C	77.50 °C
L _{S04}	Analiz	74.87 °C	81.26 °C	83.69 °C	80.51 °C	74.56 °C	70.13 °C	68.66 °C
	Gerçek	77.50 °C	80.20 °C	81.60 °C	80.90 °C	77.50 °C	75.50 °C	74.80 °C
L _{S05}	Analiz	70.44 °C	77.03 °C	82.47 °C	75.81 °C	71.64 °C	64.08 °C	62.51 °C
	Gerçek	73.50 °C	74.80 °C	77.50 °C	74.10 °C	73.50 °C	69.40 °C	68.00 °C

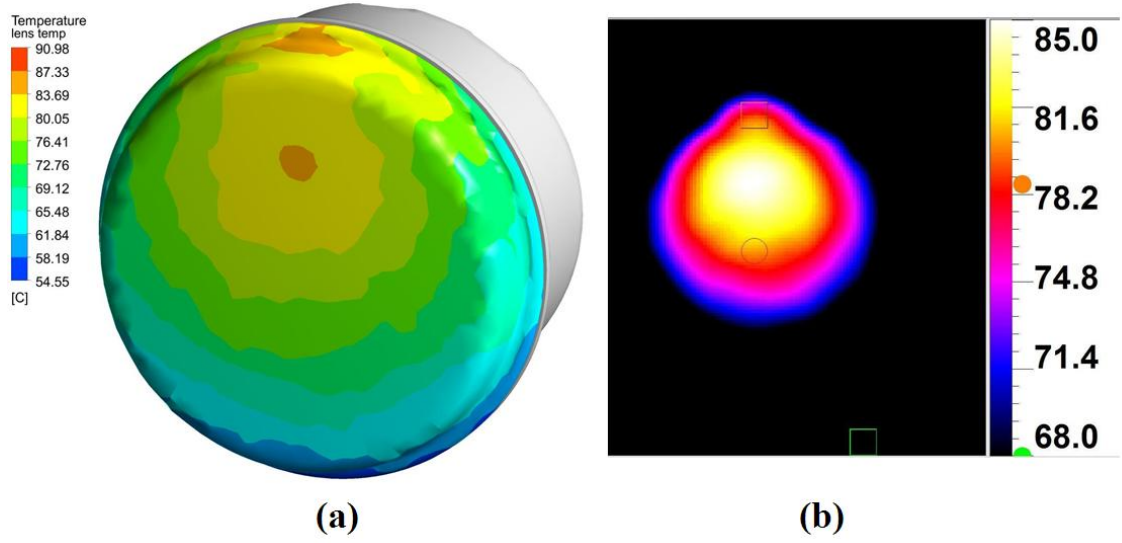
Tablo 4.3' ü incelediğimizde, analiz sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarına kıyasla sapmalarının ortalaması ± 1.21 °C' dir. Bu sapma miktarlarına göre lens sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 79.01 °C baz alındığında yaklaşık $\pm \%2$ civarı bir hata olduğunu anlaşılmaktadır ki bu da alüminyum kaplamasız gri lamba lens sıcaklığı için analiz sonucunun $\%98$ civarında bir hassasiyet yakaladığını göstermektedir.

Alüminyum kaplamasız ($\epsilon = 0.95$) siyah lamba

Alüminyum kaplamasız siyah lambanın lens dış yüzey maksimum sıcaklığı 81.5 °C ölçülmüştür. (Şekil 65) Termal kamera ile ölçümde de 85 °C civarı maksimum sıcaklık değeri görülmektedir. (Şekil 66)

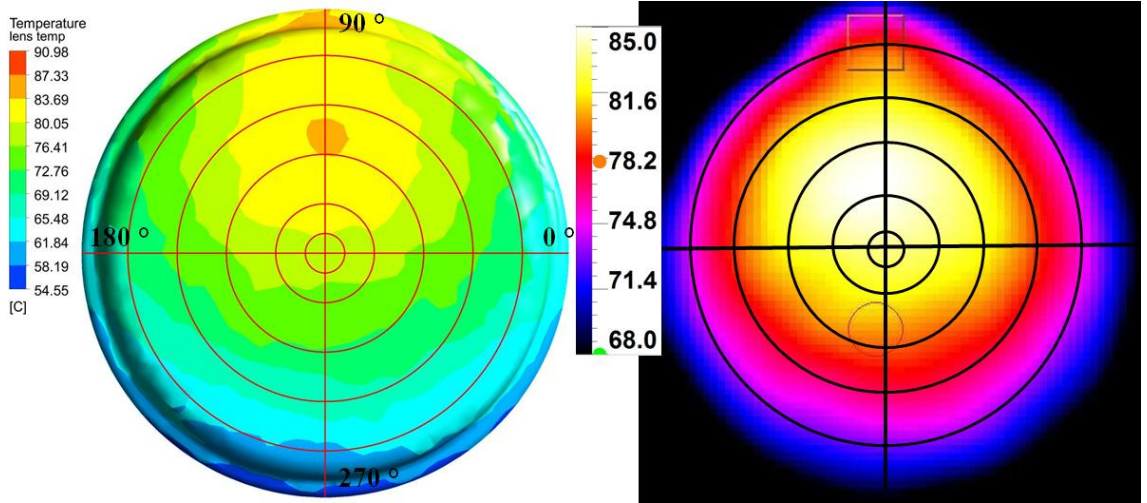


Şekil 65. Al. kaplamasız siyah lambanın lens dış yüzeyi maksimum sıcaklık ölçümü



Şekil 66. Al. kaplamasız siyah lambanın lens dış yüzey sıcaklık dağılımı
a) Termal analiz sonucu b) Termal kamera ile sıcaklık ölçümü

Diğer lambalarda olduğu gibi alüminyum kaplamasız siyah lamba için de CFD ile termal analiz sonucu lens üzerinde oluşan sıcaklık dağılımının ve değerlerinin gerçek değerlerle daha iyi kıyaslanabilmesi için lens LS_{01} ' den LS_{05} ' e kadar olan tüm dairesel kesitlerde ayrı ayrı incelenmiştir. Aynı kesitler ölçekli şekilde lensin termal kamera ile ölçüm görüntüsü üzerine yansıtılmıştır. (Şekil 67)



Şekil 67. Analiz sonuçlarını gerçek sonuçlarla kıyaslama – Al. kaplamasız siyah

Yine diğer lambalara benzer olarak her dairesel kesitin 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° , 360° açılarındaki sıcaklık değerleri tek tek hem analiz sonucu hem de termal kamera görüntüsü olacak şekilde karşılaştırılmış olup alüminyum kaplamasız siyah lamba için bu karşılaştırma Tablo 4.4' de görülmektedir.

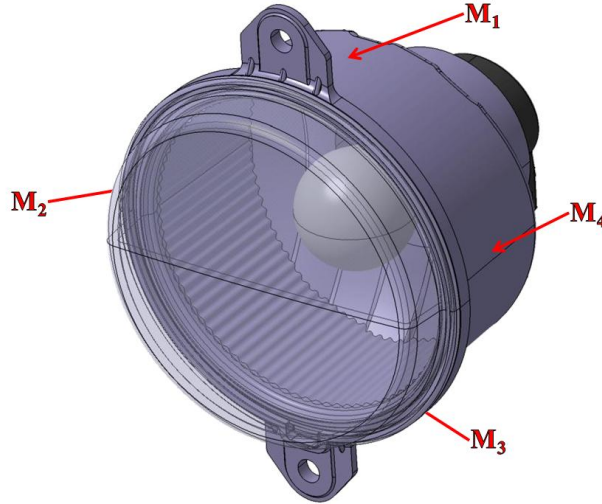
Tablo 4.4. Alüminyum kaplamasız siyah lamba lens sıcaklık kıyaslaması

	Sıcaklık	0 °	45 °	90 °	135 °	180 °	225 °	270 °	315 °
L _{S01}	Analiz	79.32 °C	79.65 °C	79.96 °C	79.74 °C	78.35 °C	77.32 °C	77.10 °C	78.34 °C
	Gerçek	82.30 °C	82.30 °C	83.00 °C	82.30 °C	81.60 °C	81.60 °C	81.60 °C	81.60 °C
L _{S02}	Analiz	78.98 °C	81.06 °C	82.40 °C	80.36 °C	78.20 °C	76.23 °C	74.91 °C	75.84 °C
	Gerçek	81.60 °C	83.00 °C	85.00 °C	84.30 °C	82.30 °C	81.60 °C	80.90 °C	81.60 °C
L _{S03}	Analiz	75.83 °C	81.37 °C	83.76 °C	80.82 °C	76.13 °C	74.02 °C	72.38 °C	72.61 °C
	Gerçek	81.60 °C	83.00 °C	85.00 °C	83.00 °C	81.60 °C	80.90 °C	80.20 °C	80.20 °C
L _{S04}	Analiz	73.18 °C	79.50 °C	83.14 °C	79.57 °C	73.46 °C	68.39 °C	67.23 °C	68.55 °C
	Gerçek	78.70 °C	80.20 °C	81.60 °C	80.20 °C	78.20 °C	76.20 °C	75.50 °C	76.20 °C
L _{S05}	Analiz	69.81 °C	75.61 °C	81.80 °C	74.60 °C	69.93 °C	62.99 °C	61.13 °C	64.16 °C
	Gerçek	74.80 °C	76.80 °C	78.70 °C	74.80 °C	73.40 °C	71.40 °C	68.00 °C	71.40 °C

Tablo 4.4' ü incelediğimizde, analiz sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarına kıyasla sapmalarının ortalaması ± 2.12 °C' dir. Bu sapma miktarlarına göre lens sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 79.71 °C baz alındığında yaklaşık $\pm \%3$ civarı bir hata olduğunu anlaşılmaktadır ki bu da alüminyum kaplamasız siyah lamba lens sıcaklığı için analiz sonucunun $\%97$ civarında bir hassasiyet yakaladığını göstermektedir.

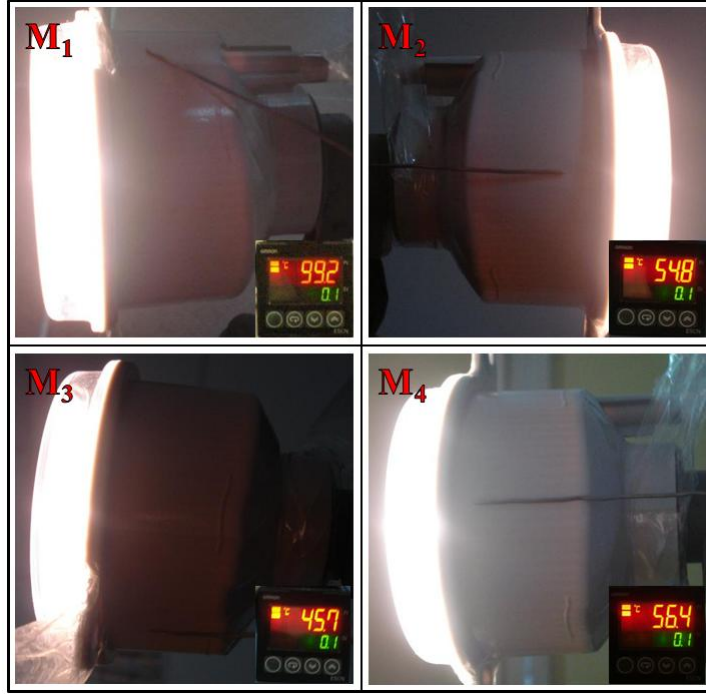
Gövde sıcaklık dağılımı

Her üç farklı gövde için M₁ üst yüzey, M₂ sağ yüzey, M₃ alt yüzey ve M₄ sol yüzey olmak üzere 4 ayrı noktadan ölçüm yapılmıştır. (Şekil 68)



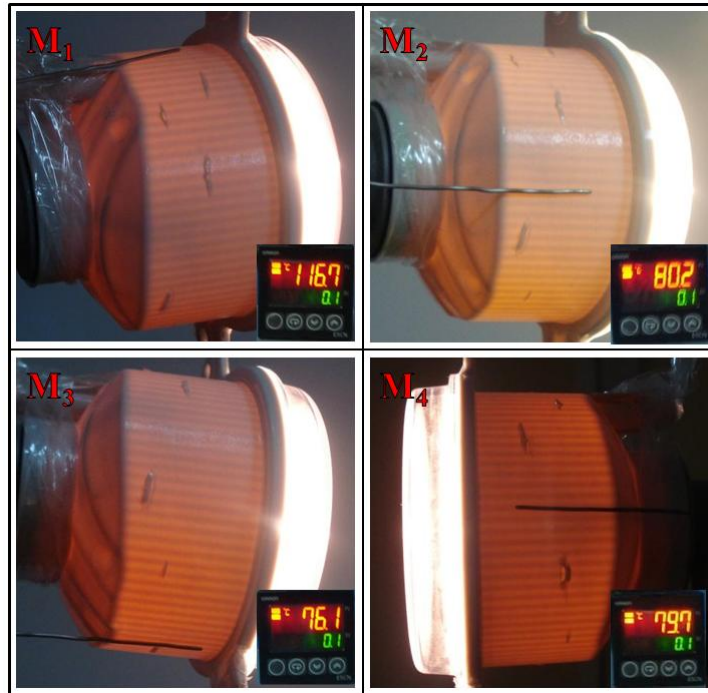
Şekil 68. Gövde üzerindeki ölçüm noktaları

Alüminyum kaplamalı gövdenin sıcaklık ölçümü Şekil 69' da görülmektedir.



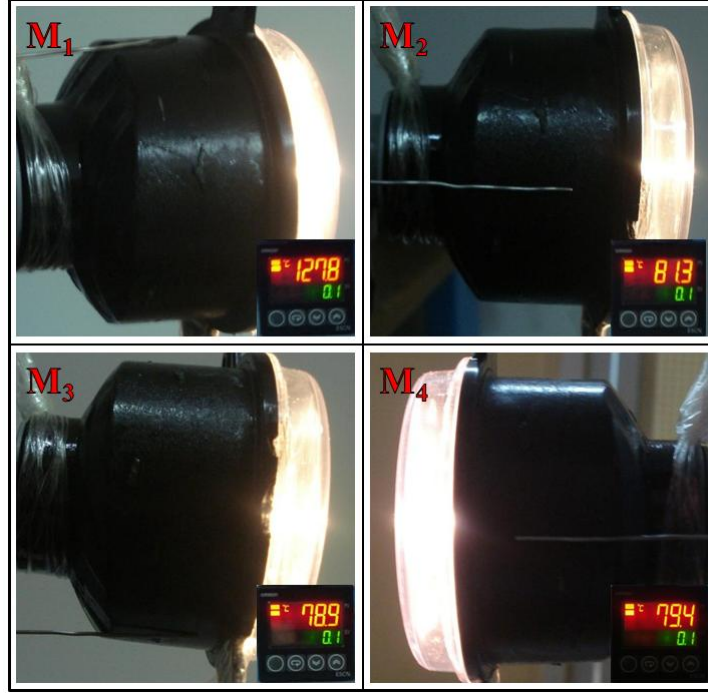
Şekil 69. Al. kaplamalı lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri

Alüminyum kaplamasız gri gövdenin de sıcaklık ölçümü Şekil 70' de görülmektedir.



Şekil 70. Al. kaplamasız gri lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri

Kaplamasız siyah gövdenin ise sıcaklık ölçümü Şekil 71’ de görülmektedir.



Şekil 71. Al. kaplamasız siyah lambanın gövde dış yüzeyi sıcaklık ölçümleri

Alüminyum kaplamalı lamba ile alüminyum kaplamasız gri ve siyah lambaların termal analiz sonuçlarında da M₁, M₂, M₃ ve M₄ noktalarındaki sıcaklıklar alınarak gerçek sıcaklık değerleriyle kıyaslanmak üzere Tablo 4.5’ de bir araya getirilmiştir.

Tablo 4.5. Gövde sıcaklık değerleri kıyaslaması

	Sıcaklık	Gövde dış yüzey sıcaklığı			
		M1	M2	M3	M4
Al. kaplamalı gövde	Analiz	99.50 °C	53.70 °C	42.50 °C	57.80 °C
	Gerçek	99.20 °C	54.80 °C	45.70 °C	56.40 °C
Al. kaplamasız gri gövde	Analiz	128.10 °C	86.50 °C	76.70 °C	85.40 °C
	Gerçek	116.70 °C	80.20 °C	76.10 °C	79.70 °C
Al. kaplamasız siyah gövde	Analiz	127.60 °C	88.10 °C	77.30 °C	87.80 °C
	Gerçek	127.80 °C	81.30 °C	78.90 °C	79.40 °C

Tablo 4.5’ e göre, alüminyum kaplamalı gövde için analiz sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarına kıyasla sapmalarının ortalaması ± 0.75 °C’ dir. Alüminyum kaplamasız gri gövde için de analiz sonuçlarının gerçek ölçüm sonuçlarına kıyasla sapmalarının ortalaması ± 3 °C’ dir. Kaplamasız siyah gövde için ise sapmalarının ortalaması ± 2.13 °C’ dir.

Bu sapma miktarlarına göre alüminyum kaplamalı gövde sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 64.03 °C baz alındığında yaklaşık \pm %1 civarı bir hata, alüminyum kaplamasız gri gövde sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 88.18 °C baz alındığında yaklaşık \pm %3.5 civarı bir hata ve alüminyum kaplamasız siyah gövde sıcaklık ölçümleri ortalama değeri 91.85 °C baz alındığında yaklaşık \pm %2.5 civarı bir hata olduğunu anlaşılmaktadır.

Bu hata değerlerine göre alüminyum kaplamalı ile alüminyum kaplamasız gri ve siyah lamba gövdeleri için analiz sonuçlarında sırasıyla %99, %96.5 ve %97.5 civarında bir hassasiyet yakalandığı ortaya çıkmaktadır. Lamba geometrisinin basitliği termal analiz sonucunda ortaya çıkan gerçek sonuçlara yakınsama oranlarını pozitif yönde etkilemektedir ve geometri karmaşıklıkla ürünün termal simülasyonunun da zorlaşacağı aşikardır.

SONUÇ

Otomotiv dış aydınlatma sektöründe, alüminyum kaplamalı ve kaplamasız reflektörlerin lambada oluşan sıcaklık dağılımına etkilerinin birbirleriyle kıyaslanması ihtiyacına karşılık olarak yapılan bu CFD çalışmasında kaplama etkisinin iyi tespit edilebilmesi için hem alüminyum kaplamalı hem de alüminyum kaplamasız ürünler termal açıdan incelenmiştir. Ayrıca reflektör renginin de lamba içerisindeki sıcaklık dağılımına etkisini görebilmek için alüminyum kaplamasız ürünler gri ve siyah renk şeklinde iki tip olarak ele alınmıştır.

Araştırma neticesinde, alüminyum kaplamalı lambada filamandan çıkan yüksek seviyedeki ışınım enerjisinin kaplamalı reflektör yüzeyinden çok iyi bir şekilde yansıtıldığı ve buna bağlı olarak gövde sıcaklık dağılımında ışınım yerine ampul camından ısınan sıcak hava hareketlerinin oluşturduğu taşınım ile ısı transferinin baskın olduğu ortaya çıkmıştır. Reflektörden yansıtılan fotonlar lense doğru yönlenmiş olup, lens sıcaklık dağılımındaki ışınım ile ısı transferinin etkinliğini artırmıştır.

Alüminyum kaplamasız gri lambada ise kaplamalı lambanın tam tersi olarak filamandan çıkan yüksek seviyedeki ışınım enerjisinin ciddi bir kısmının reflektör yüzeyince emildiği ve özellikle ampule yakın bölgelerde aşırı ısınmaların olduğu tespit edilmiş olup gövde sıcaklık dağılımındaki ışınım ile ısı transferinin baskınlığı ciddi derecede artmıştır. Dolayısıyla otomotiv dış aydınlatma lambalarının tasarımında maliyet düşürme sebebiyle alüminyum kaplamasız reflektör istendiği takdirde ampule yakın olabilecek yüzeylerden olabildiğince uzak durulması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca içerideki havanın daha fazla ısınması lambanın havalandırma sisteminin de daha iyi düşünülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Diğer konu olarak filamandan saçılan fotonların çoğu reflektör yüzeyince emildiği için lense yansıtılanların miktarı azalmış olup bu sebeple lens sıcaklık dağılımında taşınım ile ısı transferi baskın hale gelmiştir.

Alüminyum kaplamasız siyah lamba alüminyum kaplamasız gri lambaya benzer değerlere sahip olmakla beraber alüminyum kaplamalı ürüne nazaran ciddi derecede sıcaklık farklılıklarına sahiptir. Gövde sıcaklık dağılımında alüminyum kaplama

etkisinin çok ciddi oranda olduğu tespit edilmiş olup, reflektör renginin ise alüminyum kaplamaya göre çok daha az bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Termal analiz sonucunda ortaya çıkan sıcaklık değerleri gerçek ölçüm sonucu tespit edilen sıcaklık değerleriyle kıyaslanmıştır. Bunun neticesinde termal analiz hassasiyeti olarak gövdelerde %96.5 ile %99 arası ve lenslerde ise %97 ile %98 arası ortaya çıkmıştır. İncelenen lamba geometrisinin basitliği analizde yakalanan hassasiyeti iyi yönde etkilemekle beraber analizdeki hassasiyetin yüksek olması problemin çözümü için CFD yazılımı kullanılmasının uygun olduğunu ispatlamaktadır. CFD yazılımıyla uygun sınır şartları belirlendiği takdirde hassas termal analizler gerçekleştirilebilir olması ve daha ürün bilgisayar ortamında tasarım aşamasındayken bu analizler neticesinde oluşabilecek muhtemel ısı problemleri tespit edilerek önlemler alınabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- BADER, V., J. NEFT, M. KLEIMEYER. 2007. Usability of CFD for the Development of Tail and Head Lamps. EACC - 3rd European Automotive CFD Conference. Frankfurt, Germany.
- CENGEL, Y. A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd ed. McGraw-Hill. U.S.A.
- CENGEL, Y. A., R. H. TURNER. 2005. Fundamental of Thermal-Fluid Sciences, 2nd ed. McGraw-Hill. U.S.A.
- CIMOLIN, F., A. MENOTTI, M. RABITO, R. VADORI. 2008. Analisi Termomeccanica Con Tecniche Combinate Strutturali e Cfd Del Comportamento Di Un Fanale Autoveicolistico In Condizioni Di Prova e Di Utilizzo. AIAS - Associazione Italiana Per L'analisi Delle Sollecitazioni, XXXVII Convegno Nazionale, Università Di Roma "La Sapienza".
- Datasheet, CI 7506L P21W 12V 21W - lead free. Version ZCI 1884099[00]. OSRAM.
- Datasheet, Transmission Curve for DiakonTM Standard Grades. Lucite International.
- DEPONTI, A., F. DAMIANI, L. BRUGALI, L. BUCCHIERI, S. ZATTONI, J. ALAIMO. 2009. Modelling of Condensate Formation and Disposal inside an Automotive Headlamp. 4th European Automotive Simulation Conference.
- EL-KHATIB, F., J. BIELECKI. 2006. Design of Experiment Analysis of Thermal Variables that Affect Automotive Lighting CFD Temperatures. SAE Publications, 01-0490.
- FILIPUZZI, A., O. COTULA, A. PIPINO, F. ZANOLETTI, S. PARONI. 2007. Thermal Behavior of Bulb and LED Based Automotive Rear Lamps. EACC - 3rd European Automotive CFD Conference. Frankfurt, Germany.
- FISCHER, P. 2005. Radiative Heat Redistribution and Natural Convection Flow inside an Automotive Fog Lamp. ISAL Symposium, Darmstadt University of Technology.
- HILBURGER, F. K. 2004. Thermal Impact of Bulb Emissivity and Reflector Finish in Automotive Lighting. SAE Publications, 01-0660.
- HUANG, Y., X.-G. LIANG, X.-L. XIA. 2005. Monte Carlo Simulation of Radiative Transfer in Scattering, Emitting, Absorbing Slab with Gradient Index. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 92 111–120.
- HUANG, Y., S.-J. DONG, M. YANG, J. WANG. 2008. Thermal Emission Characteristics of a Graded Index Semitransparent Medium. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 109 2141– 2150.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode, Erişim Tarihi: 27.09.2009. Konu: Light emitting diode.
- <http://home.howstuffworks.com/question151.htm>, Erişim Tarihi: 12.09.2009. Konu: How does a halogen light bulb work?
- <http://www.infrared-thermography.com/material.htm>, Erişim Tarihi: 24.05.2009. Konu: Emissivity values for common materials, page 1.
- <http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>, Erişim Tarihi: 24.05.2009. Konu: Emissivity values for common materials, page 2.

- INCROPERA, F. P., D. P. DEWITT. 1990. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons. New York.
- KIKUCHI, K., Y. HAMASHIMA, Y. KOBAYASHI. 2005. Prediction of LED Junction Temperatures with CFD for Headlamp Application. ISAL Symposium, Darmstadt University of Technology.
- KRISHNA, N. A., S. C. MISHRA. 2006. Discrete Transfer Method Applied to Radiative Transfer in a Variable Refractive Index Semitransparent Medium. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 102 432–440.
- LIANG, E. W., R. D. LILLQUIST, J. P. GALLO, A. J. POSLINSKI, A. GRIMSON, B. R. STRAUSS. 1997. Predicting the Thermal Performance of An Automotive Fog Lamp Reflector. SAE Publications, 970912.
- LIENHARD, IV J. H., J. H. LIENHARD V. 2003. A Heat Transfer Textbook, 3rd ed. Massachusetts, U.S.A.
- LIU, F., J.X. WEN. 2002. The Effect of Turbulence Modelling on the CFD Simulation of Buoyant Diffusion Flames. Fire Safety Journal, 37 125–150.
- LIU, L.H., H.P. TAN, Q.Z. YU. 2003. Temperature Distributions in an Absorbing–Emitting–Scattering Semitransparent Slab with Variable Spatial Refractive Index. International Journal of Heat and Mass Transfer, 46 2917–2920.
- LIU, L.H., P. –f, HSU. 2007. Analysis of Transient Radiative Transfer in Semitransparent Graded Index Medium. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 105 357–376.
- LIU, L.H., L. J. LIU. 2007. Discontinuous Finite Element Method For Radiative Heat Transfer in Semitransparent Graded Index Medium. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 105 377–387.
- NIKOU, M.R.K., EHSANI M.R. 2008. Turbulence Models Application on CFD Simulation of Hydrodynamics, Heat and Mass Transfer in a Structured Packing. Department of Chemical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 84156-83111.
- NOLTE, S. 2005. Eine Methode zur Simulation der Temperatur- und Stromungsverteilung in Lichttechnischen Geraten. Dr-Ing Thesis, Universitat Paderborn.
- PREIHS, E. 2006. Automotive Headlamp - Analytic Solution and Measurements of Condensation inside a Headlamp. Nordic COMSOL Conference.
- REYNOLDS, D.J., G.L. MORRISON, M. BEHNIA. 2000. Combined Radiation and Natural Convection in a Trapezoidal Cavity Absorber. School of Mechanical and Manufacturing Engineering, the University of NSW, NSW Australia 2052.
- SENIN, S., E.P. WACHSMANN, C. KARCHER. 2005. Thermal Analysis in Automotive Components. ISAL Symposium, Darmstadt University of Technology.
- VIRÀG, M., J. MURIN. 2005. Thermal Field Simulation of a Tungsten Filament Lamp Referring to its Lifetime. Journal of Electrical Engineering, VOL. 56, NO. 9-10, 252–257.
- ZENIN, V.S. 2007. Numerische und Experimentelle Untersuchungen zum Wärmetransport in Einem Automobilscheinwerfer. Verlagshaus Monsenstein

und Vannerdat OHG, ISBN 978-3-939473-16-9 urn:nbn:de:gbv:ilm1-2007000150.

- 2006-03_Transmittance P21W clear (Soda Lime Glass 241). OSRAM.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Zonguldak' ta doğdu. İlkokul öğrenimini Rat Cumhuriyet İlköğretim Okulunda aldıktan sonra ortaokul ve lise eğitimini Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesinde tamamladı. Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2004 yılında mezun oldu ve askerlik görevini 2005 yılında bitirdi. Şu anda evli olup FARBA A.Ş. firmasının Ar-Ge bölümünde CAE mühendisi olarak görev yapmaktadır.

TEŐEKKÖR

Bu tezi hazırlarken beni en iyi Şekilde yönlendiren danıŐmanın Sayın DoĀ. Dr. A. Alper Özalp' e, araŐtırmalarım ve incelemelerime baŐta Ar-Ge müdürü Sayın Ersel TurŐucular olmak üzere tam destek olan FARBA A.Ő. firmasına ve tabi ki tüm bu ĀalıŐmalarım da tam bir sabır ile hiçbir zaman benden desteğini esirgemeyen sevgili eŐim Duygu Boduroğlu' na teşekkür ederim.