



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

FARKLI YAYMA KATSAYILARI İÇİN OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA LAMBASI ISIL KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

SERCAN BODUROĞLU
FARBA OTOMOTİV

MUHİDDİN CAN
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FARKLI YAYMA KATSAYILARI İÇİN OTOMOTİV DIŞ AYDINLATMA LAMBASI ISIL KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Sercan BODUROĞLU
Muhiddin CAN

ÖZET

Birçok otomotiv dış aydınlatma lambasında ışık kaynağından çıkan ışığın istenildiği gibi yansıtılması için alüminyum kaplamalı reflektörler kullanılmaktadır. Alüminyum kaplama ışığı çok iyi bir şekilde yansıtmasının yanı sıra termal radyasyon olgusunu da etkilediği için lambanın genel ısı dağılımı üzerinde kayda değer bir etkiye de sahiptir. Bu çalışma reflektör üzerindeki alüminyum kaplama etkisinin ısı transfer karakteristikleri açısından Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile tanımlanması için gerçekleştirilmiştir. Kaplama etkisinin hassas bir şekilde tanımlanması için, 2 farklı lamba incelenmiştir; sırasıyla yayma değerleri $\varepsilon_1=0.04$ ve $\varepsilon_2=0.95$ olmak üzere alüminyum kaplamalı gövde ve kaplamasız siyah gövde. Lambanın farklı kesitleri için grafiksel ve tablo halinde sıcaklık değerleri sunulmuştur ve her bir lamba için gövde ve lens üzerindeki 3 boyutlu sıcaklık dağılımları da paylaşılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, gövde yayma katsayısının büyümesiyle ($\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_2$) termal radyasyonun lens sıcaklık dağılımını daha az etkilerken gövde sıcaklık dağılımını daha çok etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca termal radyasyonun etkili olduğu durum için (ε_2), ampul filaman konumunun da gövde üzerindeki sıcaklık dağılımını etkilediği görülmüştür. İlave olarak sayısal ve deneysel sonuçlar kıyaslanmış olup sayısal sonuçların deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv dış aydınlatma lambası, Isı transferi, Alüminyum kaplama, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Termal radyasyon.

ABSTRACT

On many automotive exterior lighting lamps, mostly aluminum coated reflector is used to reflect the light from the light source as requested. Besides reflecting the light perfectly, aluminum coating has a noticeable influence on overall lamp heat distribution as it affects the thermal radiation phenomenon. This study is carried out to describe the reflector aluminum coating effect from the point of heat transfer characteristics with Computational Fluid Dynamics (CFD). To sensitively determine the coating effect, 2 different lamps are investigated; aluminum coated housing and uncoated black housing which has housing emissivity values of $\varepsilon_1=0.04$ and $\varepsilon_2=0.95$ respectively. Graphic and tabulated outputs of temperature values are presented for various sections of the lamp and overall 3D temperature distribution of housing and lens were presented for each lamp. As the outcome of the study, it is inspected that with the growth of housing emissivity ($\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_2$) thermal radiation effects the housing temperature distribution more since it is effecting lens temperature distribution less. For the case which is mainly affected by thermal radiation (ε_2), it is also seen that bulb filament location effects the temperature distribution on housing. Additionally, numerical and experimental results are compared and it is shown that the numerical results are in good agreement with the experimental ones.

Key Words: Automotive exterior lighting lamp, Heat transfer, Aluminum coating, Computational Fluid Dynamics CFD, Thermal radiation.

1. GİRİŞ

Otomotiv dış aydınlatma ürünleri diğer ticari ürünlere benzer olarak devamlı gelişim içerisinde. Otomotiv sektöründe küreselleşmeyle birlikte artan rekabet ana sanayileri teknolojik ürünlerin kullanılmasına zorlarken aynı zamanda da maliyet düşürülmesi yönünde baskı yapmaktadır. Aydınlatma lambalarında tasarımın donmasından sonraki herhangi bir değişimin yüksek maliyet anlamına gelmesinden dolayı [1], ürünlerin tasarım aşaması çok önemli hale gelmektedir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımıyla yapılan termal analiz tasarım aşamasında herhangi bir olası sıcaklık probleminin ön görülmesini sağlamaktadır dolayısıyla bu yetenekle birlikte 3 boyutlu lamba tasarımının tasarım aşamasında olası sıcaklık problemlerini engelleyecek yönde şekillendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu sebeple termal analiz otomotiv dış aydınlatma lambalarının tasarım sürecinde yüksek bir öneme sahiptir. Bu öneme istinaden otomotiv aydınlatma sistemlerinin termal analizi üzerine birçok araştırmalar yürütülmektedir.

Bader ve ark. [1] çalışmasında, otomotiv dış aydınlatma lambası tasarımında HAD yazılımının kullanılmasının avantajları sunulmuş ve ayrıca termal analiz ve simülasyon ile optimize yoğunlaşma giderme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Nolte [2] araç lambasının matematik modellemesini termal açıdan ve akışkanlar mekaniği açısından çok detaylı bir şekilde incelemiş ve gerçek ölçümler ile CFD analizi sonuçlarını kıyaslamıştır. Fischer [3] otomobil sis lambasındaki doğal taşınım ve ışınım ile olan ısı transferlerinin sıcaklık dağılımındaki etkilerini HAD yardımıyla incelemiştir. Liang ve ark. [4] otomobil sis lambası reflektörünün termal performansını HAD yazılımıyla inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Senin ve ark. [5] otomobil sis lambasının gövdesi ve lensinde oluşan sıcaklık dağılımının nümerik modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Cimolin ve ark. [6] otomobil lambasının komple termomekanik analizi için HAD ve stres analizi yardımıyla metodoloji geliştirmeyi baz alan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Filipuzzi ve ark. [7] HAD yardımıyla ampulün ve LED' in termal davranışını irdelemişlerdir. Başka bir çalışma olarak HAD analizinde sıcaklık değerleri etkileyen termal parametrelerin ne kadar etkili oldukları deneysel tasarım yöntemiyle El-Khatib ve Bielecki [8] tarafından incelenmiştir. Zenin [9] tarafından yapılan araştırmada lamba lens ve gövdesi üzerinde oluşan aşırı ısınma noktalarının (hotspot) oluşmasında doğal konveksiyon ve ışınım ile ısı transferinin etkileri araştırılıp sonuçlar gerçek ölçümlerle kıyaslanmıştır. Sokmen ve ark. [10] tam yük altında lamba ampulünden olan ısı transferiyle birlikte lambanın iç yüzeylerinde oluşan sıcaklık dağılımlarını analiz ortamında incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki verilerle de kıyaslanmıştır.

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi iletim, taşınım ve ışınım olarak her üç tip ısı transfer mekanizmasının lambada aktif haldedir. Ayrıca akkor ampul ışık kaynağı için, ampul enerjisinin büyük bir kısmı ışınım ile transfer olduğu için ışınım daha fazla öneme sahiptir [2]. Işınımın lambadaki ısı dağılımına etkisinin büyük olması ayrıca alt parçaların ışınım özelliklerini de önemli hale getirmektedir.

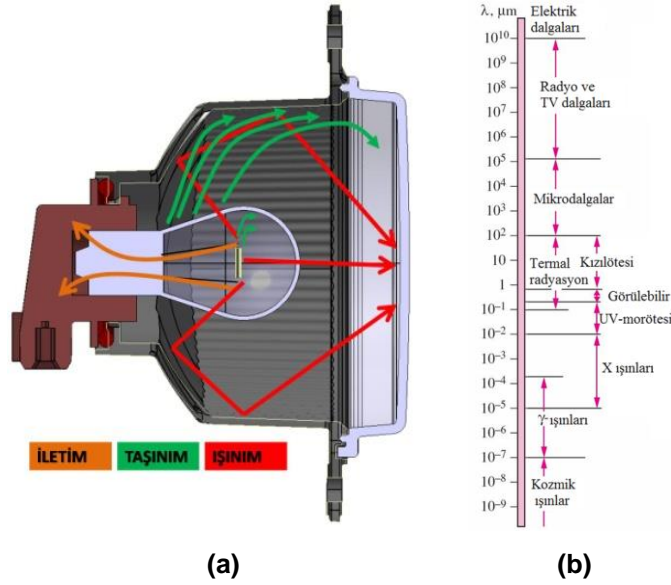
Bu çalışma alüminyum kaplamalı ve kaplama olmayan reflektörlerin lamba sıcaklık dağılımı üzerindeki ısı etkilerini kıyaslamak için yapılmıştır. Hassas bir şekilde kaplama etkisinin ortaya çıkarılması için alüminyum kaplamalı ve kaplama olmayan siyah reflektör olacak şekilde iki lamba HAD ile ısı transfer karakteristikleri açısından analiz edilmiştir. Bu iki lambanın yama katsayıları sırasıyla $\varepsilon_1=0.04$ and $\varepsilon_2=0.95$ şeklindedir. Farklı lamba kesitleri için sıcaklık değerleri grafik ve tablo şeklinde sunulmuştur. Ayrıca her lamba için reflektör ve lens üzerindeki 3 boyutlu sıcaklık dağılımları da gösterilmiştir. Son olarak da elde edilen simülasyon sonuçları deneysel verilerle kıyaslanmıştır.

2. TEORİK ALTYAPI

2.1. 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 [1], [2], [5] (Şekil 1a). Lamba için önemli olanın ısı transferi ve akışkan hareketleri olduğundan yola çıkılarak bu bağlamda tanınmış teorik literatürlerin olduğu [11]-[15] bilinmektedir.

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 ışınım ile ısı transferini oluşturmaktadır. Ayrıca sıcak filaman etrafındaki ampul iç 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 gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. a) Örnek lambadaki ısı transfer mekanizmaları
b) Elektromanyetik dalga spektrumu

Akor ampullü bir lamba için bu üç tip ısı transfer metotlarında ışınım ayrıca bir öneme sahiptir [2], [5]. Taşınım ve iletimden farklı olarak ışınım herhangi bir ara ortam gerektirmemektedir. Gerçekte, ışınım ile transfer olan ısı enerjisi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve vakumda herhangi bir sönmüleme oluşmamaktadır. Güneş enerjisi de dünyamıza ışınım ile ulaşmaktadır [12].

Isı transferi konularında cisimlerin sıcaklıklarından dolayı yaydığı termal radyasyon dikkate alınmaktadır. Termal radyasyon x – ışınları, gamma ışınları, mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi diğer formdaki elektromanyetik dalgalara (Şekil 1b) göre farklılık göstermektedir ki termal radyasyon sıcaklığa bağlı iken diğerleri sıcaklığa bağlı değildirler [12].

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. Daha yüksek sıcaklıktaki ürün daha fazla enerji içeren dalgalar dolayısıyla etrafına daha düşük 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.

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

Eşitlik (1) maksimum oranda ışınım yapan siyah cisim için geçerli olup bütün yüzeylerden yayılan ışınım enerjisi aynı sıcaklıktaki siyah cisminkinden daha azdır ve siyah cisme ne kadar yakın

olduklarının bir ölçüsü olarak yayma katsayısı ε_λ (emissivity) kullanılmaktadır.

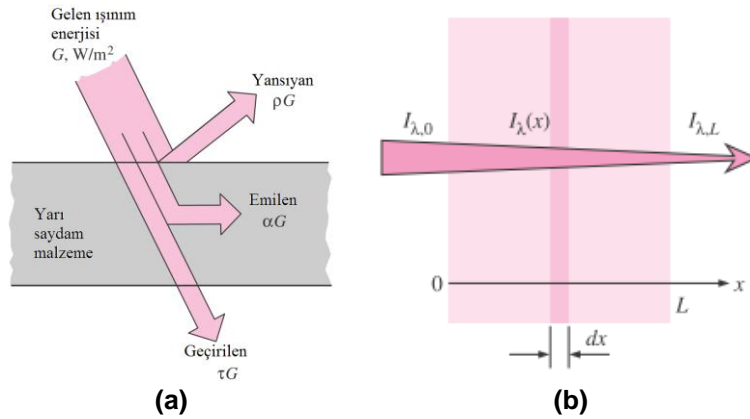
$0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığında olan yayma katsayısı olan siyah cisim için $\varepsilon = 1$ değerindedir. Diğer bir önemli radyasyon özelliği de yüzeye gelen radyasyon enerjisinin yüzey tarafından ne kadar emildiğinin göstergesi olan α_λ emme katsayısıdır ve *Kirchhoff Kanunu'* na göre termodinamik denge halinde bir yüzeyin belli sıcaklıkta ve belli dalga boyunda yaydığı ve yuttuğu ışınım enerjileri birbirine eşittir.

$$\varepsilon_\lambda(T) = \alpha_\lambda(T) \quad (2)$$

Çevremizdeki bütün cisimler daimi olarak etrafına ışınım yayarlar (E) ve diğer cisimlerden ışınım alırlar (G). Cisim üzerine gelen bu ışınım enerjisinin bir kısmı cisim tarafından yutulur, bir kısmı geri yansıtılır ve eğer geriye kalıyorsa bir kısmı da karşıya geçirilir. (Şekil 2a) Cismin bu özelliklerine emme (α), yansıtma (ρ), geçirme (τ) katsayıları denir ve;

$$\alpha(T, \lambda) + \tau(T, \lambda) + \rho(T, \lambda) = 1 \quad (3)$$

şeklinde eşitliğe sahiptirler.



**Şekil 2. a) Yarı saydam malzemedeki ışınım enerjisi
b) Emici ortamdaki radyasyonun azalması**

Ampul camı ve lamba lensi gibi yarı saydam ortamlardan geçen termal radyasyonda ortam tarafından bir kısmının emilmesi neticesinde azalma olur (Şekil 2b). Bu azalma ise o ortamın özelliğine göre değişkenlik gösterir. Ortamdan geçen radyasyonun azalma miktarı kendi yoğunluğuna ve ortamda aldığı yola doğru orantılıdır. Bu durum *Beer Kanunu* olarak bilinmektedir ve;

$$dI_\lambda(x) = -\kappa_\lambda I_\lambda(x) dx \quad (4)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Orantının sabiti olan κ_λ ortamın spektral emme katsayısıdır ve birimi $1/m'$ dir. Eşitlik (4) gerekli aralıkta integre edildikten sonra $x = L'$ de ortamdan çıkan radyasyonun $x = 0'$ daki ortama giren radyasyona oranı şeklini alır ki bunu da yansımının olmadığı kabulüyle spektral geçirgenlik olarak tanımlayabiliriz.

$$\tau_\lambda = \frac{I_{\lambda,L}}{I_{\lambda,0}} = e^{-\kappa_\lambda L} \quad (5)$$

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;

$$\alpha_\lambda = 1 - \tau_\lambda = 1 - e^{-\kappa_\lambda L} \quad (6)$$

olur ve *Kirchhoff Kanunu*'na göre;

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda = 1 - e^{-\kappa_\lambda L} \quad (7)$$

şeklini alır.

Öte yandan hem ampul içindeki soy gazın hem de far içindeki havanın doğal taşınım kaynaklı hareketinin taşıt aydınlatma sisteminin genel ısı transfer sistematiğine olan etkisinden dolayı bu rejimin de inceleme altında tutulma zorunluluğu bulunmaktadır [16], [17]. Buradan hareketle ampul ve far geometrileri içindeki 3-boyutlu akışkan hacimlerinde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülecektir. Süreklilik ve momentum denklemleri sırası ile eşitlik (8) ve eşitlik (9) ile verilmiştir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} + \rho \vec{V} \text{div} \vec{V} = -\text{grad} P + \mu \Delta \vec{V} + \vec{S}_M \quad (9)$$

Taşıt aydınlatma sisteminin genel ısı transfer incelemesinin yürütülebilmesi için süreksiz yapıdaki iletim, taşınım ve ışımaya mekanizmalarının eş zamanlı çözülmesi gerekmektedir. Aydınlatma sisteminin çevresi ile ısı dengesi şartını sağlaması gerektiğinden, farın akışkan hacimlerini ve yapısal kısımlarının tamamını kapsayacak şekilde yürütülmesi gereken ısı incelemeler eşitlik (10) ile verilen enerjinin korunumu denkleminin çözülmesi ile gerçekleştirilecektir [18].

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho h_o)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V} h_o) &= \text{div}(k \text{ grad } T) + S_h + \frac{\partial P}{\partial t} + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} \right] \\ &+ \left[\frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \left[\frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} \right] + \frac{\Psi}{\nabla} \end{aligned} \quad (10)$$

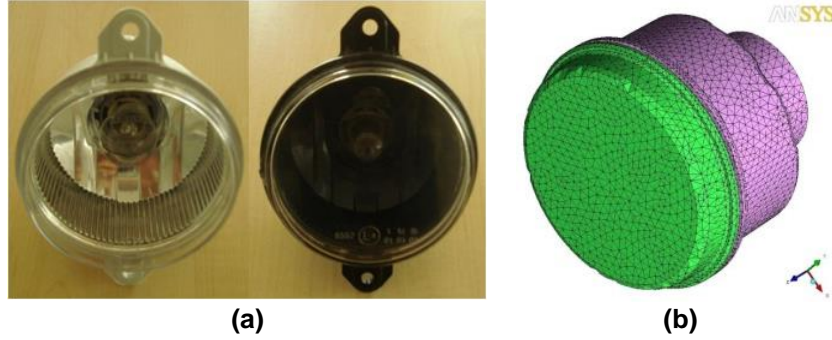
Eşitlik (10)'da soldaki ilk terim süreksiz yapıyı, ikinci terim ise taşınım ile ısı transferini göstermektedir. Eşitliğin sağındaki ilk terim iletim ile ısı transferin düzeyini tanımlarken, S_h ışımaya kaynaklı ısı transferini, Ψ ampul güç seviyesini, ∇ filaman hacmini ve h_o toplam entalpiyi göstermektedir ki açık ifadesi aşağıdaki eşitlik (11) ile tanımlanmıştır.

$$h_o = i + \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \quad (11)$$

2.2. HAD Simülasyon Girdileri

Yuvarlak geometriye otomotiv dış aydınlatma lambası analiz edilecektir. Bu lambanın alüminyum kaplamalı ve kaplamasız siyah reflektörlü olacak şekilde 2 versiyonu sayısal olarak kıyaslanacaktır

(Şekil 3a). Lamba P21 ampul, ampul duyu, reflektör ve lens içermektedir. P21 ampul maksimum 26.5W güce sahiptir [19] ve bu değer analizlerde kullanılacaktır. Ortam sıcaklık 23 °C olarak alınmıştır. Mesh ağı için ICEM yazılımı kullanırken termal simülasyon için ANSYS CFX V13.1 yazılımı kullanılmıştır. Mesh yapısında lens, reflektör, dış hava, iç hava, ampul camı, ampul iç gazı, filaman ve ampul duyu olacak şekilde 8 kısım oluşturulmuştur. Mesh yapısı (Şekil 3b) için yakınsama ve toplam analiz süresi düşünülerek optimum yapının oluşturulabilmesi hedefiyle farklı eleman sayıları kıyaslanmıştır. Bu çalışmada simülasyon sonuçlarının detaylı kıyaslanması adına 1490497 toplam mesh sayısı ile birlikte 1500000 ışın sayısı kullanılmıştır.



Şekil 3. a) İncelenen 2 farklı lamba
b) Mesh yapısı

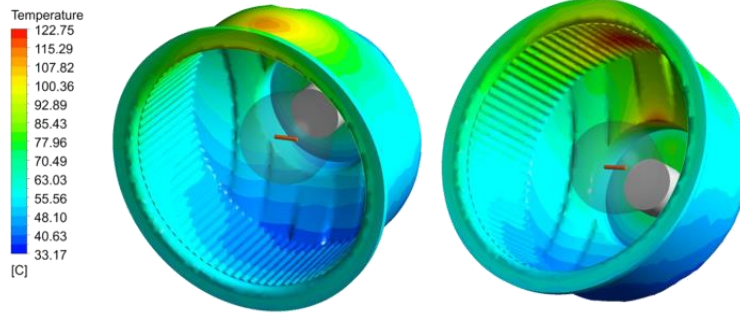
Lambanın simülasyonunda sürekli rejim analizi yapılmıştır. Simülasyon girdileri için lamba alt parçalarının detaylı termodinamik özellikleri kullanılmıştır. Ampul camı ve lens gibi yarı saydam malzemelerin geçirgenlik-dalga boyu grafikleri üretici firmalardan temin edilmiştir [20], [21]. Bu grafikteki değerler eşitlik (6)' da kullanılarak spektral yutma katsayıları hesaplanmıştır. [5], [7], [24] çalışmalarına benzer olarak ANSYS CFX' te ışınım çözümlenmesi için Monte Carlo metodu kullanılmıştır. Opak reflektör yüzeyleri için ana ışınım özelliği olarak toplam yayma katsayısı değerleri kullanılmıştır. Sırasıyla alüminyum kaplamalı ve kaplamasız siyah reflektöre tekabül eden $\epsilon_1=0.04$ ve $\epsilon_2=0.95$ olacak şekilde 2 farklı reflektör yayma katsayısı değeri kullanılmıştır [22], [23].

Simülasyonların çözümünde DELL precision M6500 bilgisayar kullanılmıştır. Sürekli rejim analizi yapılması sebebiyle simülasyonda sıcaklık değerlerinin denge haline gelinceye kadar analiz çözümüne devam edilmiştir.

3. ANALİZ SONUÇLARI

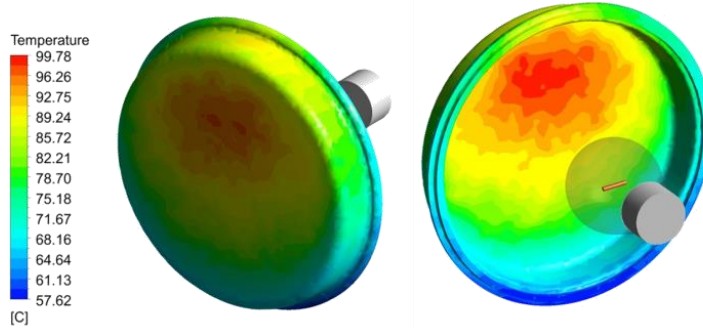
3.1. 3 Boyutlu Analiz Sonuçları

Alüminyum kaplamalı ($\epsilon_1 = 0.04$) lambanın gövde üzerinde oluşan sıcaklık dağılımına (Şekil 4) bakıldığında üst yüzeylerin sıcak alt yüzeylerin ise daha soğuk olduğu görülerek lamba içerisindeki sıcak hava akışının etkisi fark edilebilmektedir.



Şekil 4. Alüminyum kaplamalı lamba gövde sıcaklık dağılımı

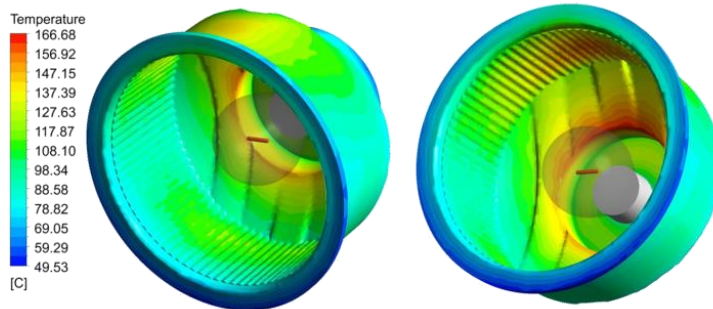
Lambada oluşan maksimum sıcaklık değeri 122.75 °C gövde iç yüzeyinin tam ampul üzerine gelen bölgesinde görülmektedir. Gövde dışında da maksimum sıcaklık yine aynı bölgenin üstünde olup 107.82 °C ile 100.36 °C değerleri arasında oluşmaktadır (Şekil 4).



Şekil 5. Alüminyum kaplamalı lamba lens sıcaklık dağılımı

Alüminyum kaplamalı lamba lensi üzerinde maksimum sıcaklık aralığı lens ortası üst kısmına doğru olan bölgede oluşturmuştur (Şekil 5). Analiz sonucu maksimum lens sıcaklığı 99.78 °C çıkmıştır.

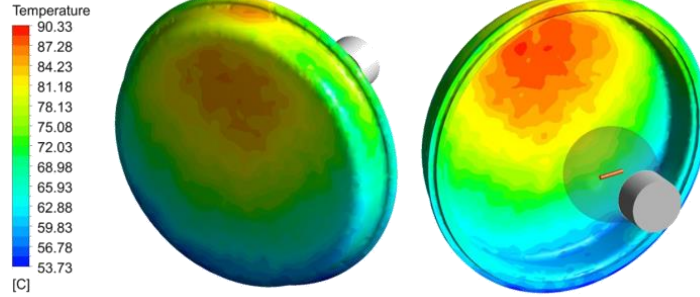
Alüminyum kaplamasız siyah renk ($\epsilon_2 = 0.95$) lambanın gövde üzerinde oluşan sıcaklık dağılımına bakıldığında kaplamalı lambada ($\epsilon_1=0.04$) olduğu gibi yine sıcak hava hareketinin etkisi olarak üst yüzeylerin sıcak alt yüzeylerin ise üst bölgelere nazaran daha soğuk olduğu görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Alüminyum kaplamasız siyah lamba gövde sıcaklık dağılımı

Fakat alüminyum kaplama olmaması reflektör yayma katsayısı artırmıştır ve bu artış da reflektör üzerinde ışınlama ısı transferinin daha etkili olduğu anlamına gelmektedir [25], [26] Bu durumda filamandan çıkan yüksek ışınlama enerjisinin büyük bir kısmı gövde tarafından emilmiştir ve bu da [25] ve [26] çalışmalarına benzer olarak gövdenin aşırı ısınmasını sağlamıştır. Sıcaklık dağılımına bakıldığında gövde üzerinde ışınlama ısı transferi taşınım ile ısı transferine göre daha fazla etkin olduğu kolayca anlaşılabilir. Taşınım ile ısı transferinin baskın olduğu alüminyum kaplamalı

lamba ($\epsilon_1=0.04$) reflektörüne kıyasla gövde için en alt yüzeylerinde ciddi oranda sıcaklık artışı olmuştur. Ayrıca ampule en yakın reflektör yüzeyleri görüş faktörü sebebiyle yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır. Işınım ile ısı transferinde katı açı mesafenin karesiyle ters orantılı [12] olduğundan dolayı ampule en yakın bölge olan ampul deliği civarında sıcaklık değerleri yüksek seviyelere ulaşmakla beraber gövdede en yüksek sıcaklık ampul deliği üst kenarında $166.68\text{ }^\circ\text{C}$ olarak meydana gelmiştir. Gövde dışı üst yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklık değerleri $147.15\text{ }^\circ\text{C}$ ile $137.39\text{ }^\circ\text{C}$ arası görülmektedir.



Şekil 7. Alüminyum kaplamasız siyah lamba lens sıcaklık dağılımı

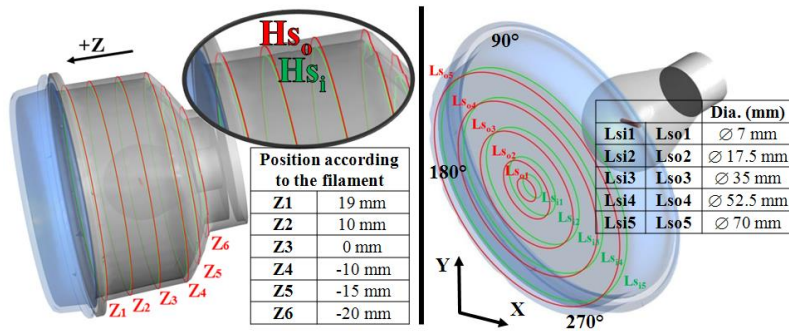
Kaplamasız lambada ($\epsilon_2 = 0.95$) reflektörün yansıtma özelliğinin azalması neticesinde alüminyum kaplamalı lambaya ($\epsilon_1=0.04$) nazaran lens üzerine gelen ışınım enerjisi de azalmıştır. Maksimum lens sıcaklığı $90.33\text{ }^\circ\text{C}$ lens içi üst kenarında görülmektedir. Lens dışında oluşan maksimum sıcaklık $87.28\text{ }^\circ\text{C}$ lens ortası üst kısma doğru olan bölge ile lensin en üst yüzeyinde olmakla beraber lens ön yüzey maksimum sıcaklığı genel olarak $84.23\text{ }^\circ\text{C}$ ile $81.18\text{ }^\circ\text{C}$ arasında görülmektedir (Şekil 7).

Lambaların 3 boyutlu sıcaklık dağılımları kıyaslandığında, [5] çalışmasına benzer olarak, lensteki ışınım etkisinin artmasıyla lens üzerindeki sıcak değerinin de arttığı görülmekle beraber maksimum sıcaklık konumunun lensin orta noktasına doğru kaydığı tespit edilmiştir.

3.2. Analiz Sonuçlarının Detaylı Kıyaslanması

Analiz edilen lamba ön tarafı (lens tarafı) +Z, yatay X ve dikey de Y olacak şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca filaman konumu sıfır noktası olarak ($X=0, Y=0, Z=0$) kabul edilmiştir.

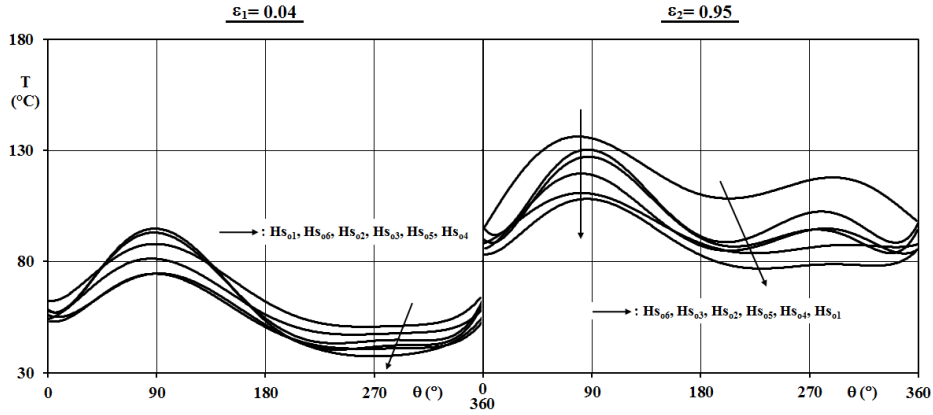
Reflektör Z yönünde altı farklı kesite bölünmüştür ve bu kesitler Z_1 ' den Z_6 ' ya kadar numaralandırılmıştır. Reflektör dış yüzey kesitleri Hs_o olarak, iç yüzey kesitleri de Hs_i olarak isimlendirilmiş olup Z konumuna göre numaralandırılmışlardır. Lens iç ve dış yüzeyleri farklı çaplarda dairesel kesitlere ayrılmıştır. Lens dış yüzey kesitleri Ls_o , iç kesitleri ise Ls_i olarak isimlendirilmiştir ve en küçükten büyük çapa doğru numaralandırılmışlardır (Şekil 8).



Şekil 8. Reflektör ve lens üzerindeki incelenen kesitler

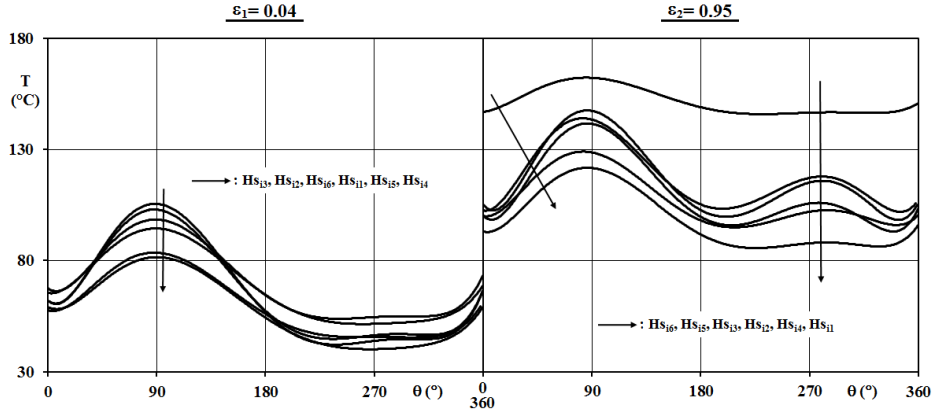
Termal analizden elde edilen sıcaklık profilleri bu kesitler boyunca grafiklere dönüştürülerek daha detaylı kıyaslama imkanı elde edilmiştir. Ayrıca sıcaklık değerleri sayısal olarak kıyaslanabilmesi için tablolar halinde de derlenmiştir.

Şekil 9' da gövde dış yüzey H_{s_0} kesitlerindeki sıcaklık profilleri görülmektedir.



Şekil 9. Reflektör dış yüzey sıcaklık dağılımlarının kıyaslanması

Reflektör iç yüzey sıcaklık dağılımı dış yüzeydekilere benzer şekildedir. Şekil 10 reflektör iç yüzey H_{s_1} kesitleri üzerindeki sıcaklık profillerini göstermektedir.



Şekil 10. Reflektör iç yüzey sıcaklık dağılımlarının kıyaslanması

Reflektör sıcaklık dağılımları kıyaslandığında $\epsilon_1=0.04$ ve $\epsilon_2=0.95$ yayma katsayısı durumları arasında kayda değer bir farkın olduğu görülmektedir (Şekil 9 – Şekil 10). $\epsilon_2=0.95$ durumunda alüminyum kaplama olmamasından dolayı, ampul filamanından yayılan yüksek enerjili fotonların büyük bir kısmı reflektör iç yüzeyi tarafından yutulmaktadır, bu sebeple $\epsilon_2=0.95$ yayma katsayılı kaplamasız lamba $\epsilon_1=0.04$ yayma katsayısına sahip alüminyum kaplamalı lambaya göre daha fazla ısınmaktadır.

Şekil 9 ve 10' da görüldüğü gibi $\epsilon_1=0.04$ durumu için sıcaklık profilleri daha dengelidir. Filamandan gelen yüksek enerjili fotonların daha iyi yansıtılmasından dolayı reflektör sıcaklık dağılımında ışınlama ısı transferinin etkisi daha azdır. Bunun yanında, sıcak ampul camından doğal taşınım ile ısınan hava yükselmekte ve reflektörün iç yüzeyleriyle temas etmektedir. $\epsilon_1=0.04$ durumu için reflektör sıcaklık dağılımında doğal taşınım ile ısı transferinin etkisi daha fazla görülmektedir. $\epsilon_2=0.95$ reflektör için ise, yüksek ışınlama etkisiyle birlikte, iç yüzey görülebilirlik katı açıları da önemli bir role sahip olmuştur. Reflektör yüzeyinde farklı açılarda optik yüzeyler olduğu için sıcaklık profillerinde de küçük dalgalanmalar oluşmaktadır. Grafik üzerinde daha iyi kıyaslama ve analiz yapılabilmesi için sıcaklık profilleri 6. dereceden eğri uydurma yöntemiyle Şekil 9 ve 10'daki grafiklerde yumuşatılmıştır.

$\epsilon_1=0.04$ yayma katsayısı için 90° civarındaki reflektör sıcaklığı olup maksimum sıcaklık ile 270° civarındaki minimum sıcaklık değeri arasında kayda değer farkın olması reflektör sıcaklık dağılımında doğal taşınım etkisinin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca dış yüzey sıcaklık maksimum değeri 112.89°C H_{s_3} kesitinin 90° civarında oluşmaktadır ki bu bölgede tam olarak ampulün üst bölgesidir.

$\varepsilon_1=0.04$ yayma katsayısı için reflektör dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde lense en yakın ve ampule en uzak olan $H_{s_{01}}$ kesitindeki sıcaklık değerlerinin 90° civarı hariç bütün açılarda diğer kesitlere ($H_{s_{02}} \rightarrow H_{s_{06}}$) göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 9). Bu durum lamba içerisindeki sıcak havanın hareketiyle açıklanabilir. Ampul tarafından ısınan sıcak hava yükselerek reflektör üst duvarına çarpmakta ve sonra da lense doğru yönelmektedir. Daha sonra lens ile temas eden sıcak hava lens boyunca aşağı doğru hareket ederek tekrar reflektör yüzeylerine ulaşmaktadır. Dolayısıyla lens sonrası reflektöre ilk temas bölgesindeki $H_{s_{01}}$ kesiti boyunca sıcaklıklar bu hava hareketinin etkisiyle artış göstermektedir. Bu etki reflektör sıcaklık dağılımı üzerindeki doğal taşınım ile ısı transfer etkisinin baskın olmasının bir göstergesidir. $\varepsilon_1=0.95$ yayma katsayısı için ise reflektör sıcaklık dağılımındaki ışınım ile ısı transferinin baskın olması ve $H_{s_{01}}$ kesitinin ampule en uzak kesit olması sebebiyle bu etki görülmemekte olup kesit boyunca sıcaklıklar diğer bütün kesitlerden ($H_{s_{02}} \rightarrow H_{s_{06}}$) daha az olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 9).

$H_{s_{i1}}$ ' den $H_{s_{i6}}$ ' ya kadar bütün kesitlerde toplam kesit boyunca, kesitin üst yarısı boyunca ve kesitin alt yarısı boyunca sıcaklıkların ortalama, maksimum ve minimum değerleri Tablo 1' de bir araya getirilmiştir.

Tablo 1. Reflektör iç yüzey sıcaklıklarının kıyaslanması

		$\varepsilon_1 = 0.04$			$\varepsilon_2 = 0.95$		
		Overall section	Upper Half	Lower Half	Overall section	Upper Half	Lower Half
$H_{s_{i1}}$	T_{mean}	68.30	81.50	55.32	98.04	108.59	87.67
	T_{max}	102.70	102.70	65.70	131.45	131.45	94.08
	T_{min}	49.98	64.68	49.98	83.56	90.91	83.56
$H_{s_{i2}}$	T_{mean}	66.13	82.88	48.97	110.91	121.60	99.95
	T_{max}	117.69	117.69	60.47	152.58	152.58	107.02
	T_{min}	43.44	59.57	43.44	93.54	95.35	93.54
$H_{s_{i3}}$	T_{mean}	65.18	83.64	46.95	116.11	125.68	106.67
	T_{max}	118.30	118.30	59.68	154.94	154.94	115.45
	T_{min}	40.81	58.69	40.81	94.38	95.79	94.38
$H_{s_{i4}}$	T_{mean}	56.66	68.12	45.43	105.33	112.94	97.88
	T_{max}	88.66	88.66	56.60	134.22	134.22	105.92
	T_{min}	39.13	54.70	39.13	93.05	96.26	93.05
$H_{s_{i5}}$	T_{mean}	59.67	71.07	48.05	117.05	125.08	108.87
	T_{max}	91.34	91.34	55.57	144.31	144.31	118.27
	T_{min}	43.84	56.09	43.84	100.28	102.39	100.28
$H_{s_{i6}}$	T_{mean}	69.89	82.96	57.45	151.38	156.22	146.77
	T_{max}	112.50	112.50	67.04	163.66	163.66	150.56
	T_{min}	50.77	66.94	50.77	143.02	147.32	143.02

Her ne kadar $\varepsilon_1=0.04$ yayma katsayısı için ışınım ile ısı transferi taşınım ile ısı transferine göre daha az etkili olduğu görülse de ampule en yakın $H_{s_{i6}}$ iç yüzey kesitinde ışınımın etkisi biraz da seçilebilir haldedir. Çünkü $H_{s_{i6}}$ iç yüzey kesitindeki sıcaklık değerleri diğer bütün kesitlere göre 90° civarı hariç her bölgede daha yüksek seviyelerdedir (Şekil 10).

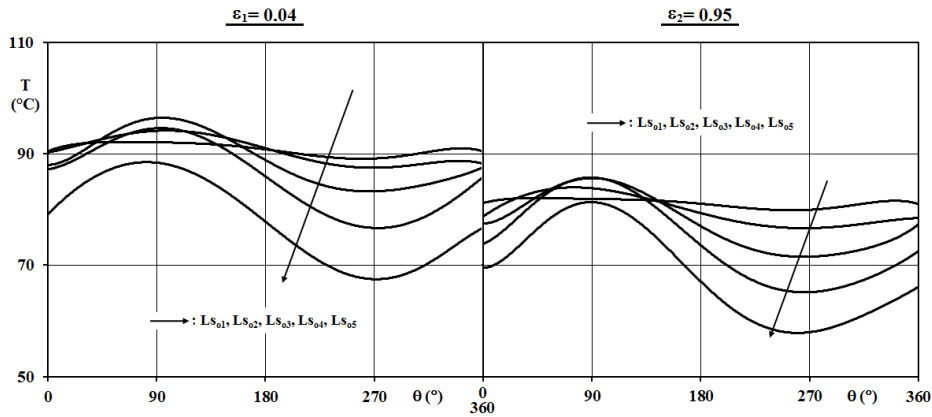
Diğer bir açıdan $\varepsilon_2=0.95$ yayma katsayısı için ışınım ile ısı transferinin baskınlığı bilinmesine rağmen yine de içerideki sıcak hava hareketi sıcaklık profillerini etkilemekte olup $\varepsilon_1=0.04$ durumuna benzer olarak maksimum değerler $\theta=90^\circ$ civarı ve minimum değerler de $\theta=270^\circ$ civarında görülmektedir. Tablo 1' deki verilerden hesaplandığında kesitlerin maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasındaki fark $\varepsilon_2=0.95$ durumu için 20.64°C ' den 60.56°C arasında değişirken, $\varepsilon_1=0.04$ durumu için 47.50°C ' den 77.49°C arasında değişmektedir. Bu kıyaslama da $\varepsilon_2=0.95$ durumu için reflektör sıcaklık dağılımında ışınımın baskın olduğunu göstermektedir.

Yine $\varepsilon_2=0.95$ durumu incelendiğinde, $\varepsilon_2=0.95$ $H_{s_{16}}$ kesiti için maksimum ve minimum sıcaklık değerleri 20.64°C arasındaki fark ışınım enerjisini etkinliğinden dolayı, 41.18°C ile 60.56°C aralığında değişen diğer kesitlerinkine ($H_{s_{11}}\rightarrow H_{s_{15}}$) kıyasla daha azdır (Tablo 1). $\varepsilon_1=0.04$ durumu için ise $H_{s_{16}}$ kesitindeki maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki fark 61.73°C değerindedir ve bu değer diğer kesitlerle ($H_{s_{11}}\rightarrow H_{s_{15}}$) kıyaslandığında en az olan değildir. ilave olarak, $\varepsilon_1=0.04$ alüminyum kaplamalı reflektörün maksimum 118.30°C sıcaklık değeri iç yüzey $H_{s_{13}}$ kesitinde oluşurken, $\varepsilon_2=0.95$ kaplamasız reflektörün maksimum 163.66°C sıcaklık değeri ise ampule en yakın iç yüzey $H_{s_{16}}$ kesitinde oluşmaktadır (Tablo 1). Bu sonuç $\varepsilon_2=0.95$ durumu için geçerli olan ışınım enerjisinin baskın olmasından dolayı meydana gelmektedir.

Üst yarı için ortalama T_{mean} değerlerinin $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ arasında oranları $H_{s_{11}}$ kesitinden $H_{s_{16}}$ kesitine doğru $1.33\rightarrow 1.88$ şeklinde değişirken aynı oranlar alt yarı için $1.58\rightarrow 2.55$ şeklinde elde edilmektedir. Bu elde edilen oranlar reflektör yayma katsayısının büyümesiyle alt yarı sıcaklık değerleri artma potansiyelinin üst yarıya nazaran daha kuvvetli olduğu göstermektedir. Bu durum üst yarı bölgede taşınım ile ısı transferinin sıcak hava akışıyla birlikte etkisinin daha fazla olmasıyla ilişkilendirilebilir.

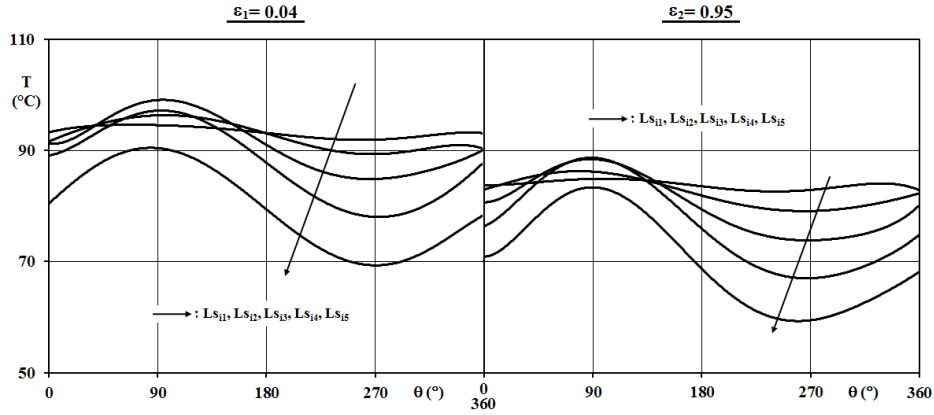
Ampul filamanı yatay olarak konumlandırılmış silindir olarak modellenmiştir. Z kesitleri düşünüldüğünde, silindirin geniş alanı 90° ve 270° yönlerindedir. uç noktaları (küçük alanlar) 180° ve 360° yönlerindedir. Geometrisine bağlı olarak filamandan yayılan ışınım enerjisi silindirin geniş alanı yönünde daha fazla yayılırken küçük alanı doğrultusunda daha az yayılmaktadır. $\varepsilon_2=0.95$ durumunda ışınım enerjisinin daha baskın olması sebebiyle, filaman pozisyonunun reflektör sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisi kolaylıkla fark edilebilmektedir. $H_{s_{11}}$ ve $H_{s_{01}}$ hariç bütün $\varepsilon_2=0.95$ reflektör iç ve dış kesitlerinde minimum sıcaklık değerleri açıları civarındadır ki bu açılarda filamanın uç kısımlarına denk gelmektedir. $H_{s_{11}}$ ve $H_{s_{01}}$ kesitlerinde filamana olan uzaklıklarından dolayı bu etki tam olarak görülememektedir. $\varepsilon_1=0.04$ yayma katsayısı durumu için ise taşınım ile ısı transferinin etkinliği filaman konumunun sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini göstermemektedir.

Lens dış yüzey L_{s_0} kesitlerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 11' de görülmektedir.



Şekil 11. Lens dış yüzey sıcaklık dağılımlarının kıyaslanması

Lens iç yüzey LS_i kesitlerindeki sıcaklık dağılımları da Şekil 12’ de görülmektedir.



Şekil 12. Lens iç yüzey sıcaklık dağılımlarının kıyaslanması

$\varepsilon_1=0.04$ ve $\varepsilon_2=0.95$ arasında lens sıcaklık dağılımlarında ciddi farklılık vardır. İlk dikkat edilen farklılık $\varepsilon_1=0.04$ durumunda lens sıcaklıkları $\varepsilon_2=0.95$ durumuna göre daha yüksektir (Şekil 11-12).

$\varepsilon_1=0.04$ reflektörü ampul filamanından gelen fotonların büyük bir oranını lense doğru yansıtmaktadır. Lens yarısaydamdır ve emme özelliğine sahiptir. Lensin üzerine gelen ışınımın bir kısmı lens tarafından yutulmakta, bir kısmı refraktif indekse ve gelen fotonun açısına göre geri yansımakta ve son kısmı da lense geçip gitmektedir. Lens tarafından yutulan bu fotonlar sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla $\varepsilon_1=0.04$ durumunda lense gelen ışınımın fazla olması sıcaklığında fazla olması anlamına gelmektedir. Maksimum $\varepsilon_1=0.04$ lens sıcaklığı LS_{13} kesitinde $99.67\text{ }^\circ\text{C}$ iken $\varepsilon_2=0.95$ için ise $88.49\text{ }^\circ\text{C}$ değerindedir.

Lens dış LS_{01} kesiti ve iç LS_{11} kesiti orta bölümde konumlanmıştır ve küçük bir çapa sahiptir, bu sebeple açısal yönde sıcaklık değişimleri çok küçük meydana gelmiştir. LS_{01} ve LS_{11} kesitinden LS_{05} ve LS_{15} kesitine doğru çap büyümekte olup, Şekil 11 ve 12 kesit çapı büyüdükçe kesit boyunca açı değişimiyle birlikte maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki fark da büyümektedir. Kesit çapındaki büyüme aynı zamanda kesit çevresel uzunluğunda da büyüme anlamına gelmektedir ve bu büyümeye taşınım ısı transfer etkisi de daha fazla hissedilir olmaktadır. Bu sonuç ayrıca Tablo 2’ de de görülmektedir.

LS_{11} ’ den LS_{15} ’ ya kadar bütün kesitlerde toplam kesit boyunca, kesitin üst yarısı boyunca ve kesitin alt yarısı boyunca sıcaklık değerlerinin ortalaması, maksimum ve minimum değerleri Tablo 2’ de bir araya getirilmiştir.

Tablo 2. Lens iç yüzey sıcaklıklarının kıyaslanması

		$\varepsilon_1 = 0.04$			$\varepsilon_2 = 0.95$		
		Overall section	Upper Half	Lower Half	Overall section	Upper Half	Lower Half
L _{Si1}	T _{mean}	93.30	94.15	92.46	83.80	84.40	83.19
	T _{max}	94.81	94.81	93.39	85.00	85.00	84.06
	T _{min}	91.75	93.09	91.75	82.55	83.29	82.55
L _{Si2}	T _{mean}	92.68	94.90	90.47	82.45	84.77	80.16
	T _{max}	97.54	97.54	92.76	86.57	86.57	82.80
	T _{min}	89.13	91.18	89.13	78.44	82.37	78.44
L _{Si3}	T _{mean}	91.23	95.74	86.75	80.25	84.96	75.58
	T _{max}	99.67	99.67	92.82	88.49	88.49	80.31
	T _{min}	83.93	90.14	83.93	72.96	79.95	72.96
L _{Si4}	T _{mean}	87.59	93.74	81.48	76.75	83.69	69.85
	T _{max}	98.83	98.83	88.14	89.76	89.76	75.75
	T _{min}	77.92	88.02	77.92	65.73	75.12	65.73
L _{Si5}	T _{mean}	79.76	86.76	72.81	70.15	77.78	62.56
	T _{max}	90.67	90.67	79.17	84.47	84.47	68.73
	T _{min}	69.17	79.03	69.17	58.75	68.18	58.75

Tablo 2' deki değerlerden hesaplandığı üzere, L_{Si1}→L_{Si5} kesitleri boyunca çapın büyümesiyle, $\varepsilon_1=0.04$ durumu için kesit üzerinde maksimum ve minimum sıcaklık farkı 3.05 °C ile 21.50 °C arasında değişirken bu fark $\varepsilon_2=0.95$ durumu için 2.45 °C ile 25.72 °C aralığında değişmektedir. Diğer bir açıdan bakıldığında $\varepsilon_1=0.04$ ve $\varepsilon_2=0.95$ durumları için bu hesaplanmış farklar birbirleriyle neredeyse aynıdır, bunun sebebi de ışınımın lokal bir bölge yerine komple lens yüzeyini etkilemesi gösterilebilir. Lambanın yuvarlak geometride olması ve simetrik bir optik yüzey yapısına sahip olması reflektörden gelen ışınım enerjisini lokal bir bölgede yoğunlaşmadan bütün lense etkilediğinin açıklaması olmaktadır. Lokal ışınım yoğunlaşmasının olmaması ayrıca $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ arasında sıcaklık oranlarını üzerinden de görülebilmektedir. Üst yarı kesit için $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ arasında T_{mean} değerlerinin oranları bütün kesitler için L_{Si1}→L_{Si5} sırasıyla 0.89→0.90 olmakta iken, aynı oran alt yarı bölge için de neredeyse aynı değerlerde 0.86→0.90 şeklinde olmaktadır.

3.3. Deneysel Sonuçlar

$\varepsilon_1=0.04$ ve $\varepsilon_2=0.95$ durumları için her iki lamba üzerinde sıcaklık ölçümü iki yöntemle gerçekleştirilmiştir. İlk olarak K tipi Cr-Ni termokupl ile ölçüm yapılmış, ikinci olarak da lens üzeri sıcaklık dağılımı kızılötesi kamera görüntülenmiştir.

Termokupl ölçümü için, her bir lambaya ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) 9 adet yerleştirilmiştir (Şekil 13). Ölçüm veri kayıt sistemi ile gerçekleştirilmiştir (Ticari ismi: Graphtec GL820 logger).

For thermocouple measurement, 9 thermocouples were placed on each lamp ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) as seen in Fig. 13. Measurement was performed with data logging device (commercial name; Graphtec GL820 logger).

**Şekil 12.** Termokupl konumları

Her lamba 23 – 25 °C ortam sıcaklığında yakılmış ve sürekli rejime ulaşıncaya kadar ölçümlere devam edilmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 3’ de verilmiştir. Aynı tabloda ayrıca simülasyon sonuçları verilmiş ve deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Tablo 3’ ten de görüldüğü gibi simülasyon sonuçlarıyla deneysel veriler arasında iyi bir uyum elde edilmiştir. Analiz sonuçları için toplam ortalama hata yaklaşık %5 hesaplanmıştır.

Tablo 3. Her bir lamba için analiz ve deneysel sonuçlar

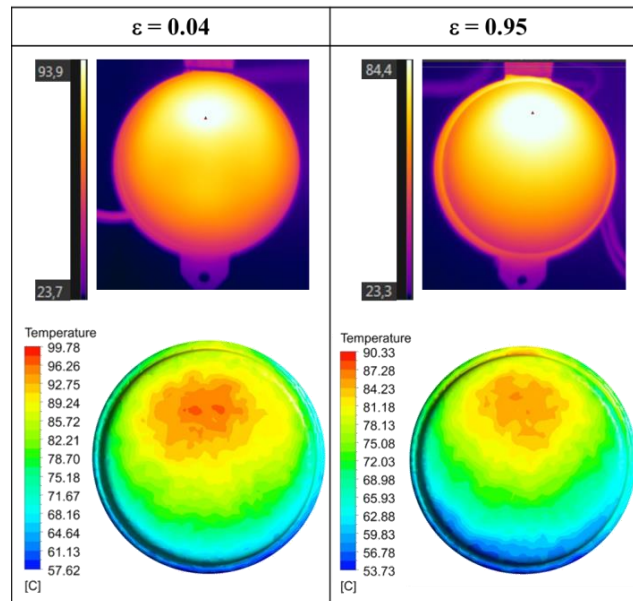
	Thermocouple Locations	Coordinates (mm)			Temperature Values (°C)						
		X	Y	Z	ε ₁			ε ₂			
					Exp.	Num.	Err.	Exp.	Num.	Err.	
Thermocouple No	1	Lens top side	0	39	31	87.2	90.1	2.9	77.9	84.6	6.7
	2	Lens upper medium area	0	20	37.5	95.4	97.1	1.7	78.4	86.5	8.1
	3	Lens middle area	0	0	37.5	84	81.0	-3.0	78.9	81.9	3.0
	4	Lens lower side	0	-20	37.5	82.9	82.5	-0.4	66.4	70.1	3.7
	5	Housing upper side	0	37.5	4	102.5	102.2	-0.3	129.9	143.3	13.4
	6	Housing left side	-36.7	0	3	55.9	57.0	1.1	84.4	93.0	8.6
	7	Housing right side	36.7	0	3	55	58.0	3.0	83.2	94.0	10.8
	8	Housing bottom side	0	-37.5	4	45.5	41.4	-4.2	86.1	97.0	10.9
	9	Housing connector side	0	21	-20	100.4	97.6	-2.8	141.4	145.5	4.1

Exp.: deneysel sonuçlar

Num.: analiz sonuçları

Err.: rölaf hata (Num.-Exp.)

İlave olarak, aynı şartlarda lens sıcaklık dağılımı da termal kamera (Ticari ismi, Flir E60 thermal camera) ile görüntülenmiştir. Şekil 14 her bir lamba için lens sıcaklık dağılımını göstermektedir. Şekil 14’ te de analiz ve deneysel sıcaklık dağılımları arasında iyi bir uyumun olduğu görülmektedir.

**Şekil 14.** Lens sıcaklık dağılımı – deneysel ve analiz sonuçlar

SONUÇ

Sırasıyla $\varepsilon_1=0.04$ ve $\varepsilon_2=0.95$ yayma katsayısına sahip alüminyum kaplamalı ve kaplamasız siyah renk olacak şekilde iki farklı lamba incelenmiştir. Lamba üzerinde farklı kesitler boyunca elde edilen sıcaklık değerleri grafik ve tablo halinde sunulmuştur. Ayrıca reflektör ve lens için genel 3 boyutlu sıcaklık dağılımı da gösterilmiştir.

Araştırma sonucunda, reflektör yayma katsayısının büyümesiyle ($\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_2$), reflektör sıcaklık dağılımında ışınım enerjisinin etkisi artmakla beraber aynı etki lens üzerinde azalmaktadır. 3 boyutlu sıcaklık dağılımlarında görüldüğü üzere düşük reflektör yayma katsayısı durumu için ($\varepsilon_2 \rightarrow \varepsilon_1$) lense gelen ışınımın artmasıyla birlikte maksimum sıcaklık konumu lensin ortasına doğru yaklaşmaktadır. Benzer yaklaşımla reflektör yayma katsayısı artışıyla ($\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_2$), reflektör tarafından yutulan ışınım enerjisi artmakta dolayısıyla reflektör sıcaklığı artmakta ve sıcaklık dağılımı da etkilenmektedir.

Reflektör üst yarı için ortalama T_{mean} değerlerinin $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ arasında oranları $H_{s_{i1}}$ kesitinden $H_{s_{i6}}$ kesitine doğru $1.33 \rightarrow 1.88$ şeklinde değişirken aynı oranlar alt yarı için $1.58 \rightarrow 2.55$ şeklinde elde edilmektedir. Bu elde edilen oranlar reflektör yayma katsayısının büyümesiyle alt yarı sıcaklık değerleri artma potansiyelinin üst yarıya nazaran daha kuvvetli olduğu göstermektedir. Bu durum üst yarı bölgede taşınımın ısı transferinin sıcak hava akışıyla birlikte etkisinin daha fazla olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Işınım enerjisi tarafında daha fazla etkilenen reflektör (ε_2) için, ayrıca sıcaklık dağılımı üzerinde ampul filaman konumunun etkisi de görülmektedir. Ampul filamanı yatay silindirik pozisyonunda olup silindirin geniş alanının çevreye daha fazla ışınım yaydığının bilinmesiyle birlikte, reflektör (ε_2) için $\theta=0^\circ$ ve 180° açılarındaki sıcaklıkların $\theta=90^\circ$ and 270° açılara göre daha az olduğu görülmektedir.

Son olarak da sayısal ve deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuçlar arasında iyi bir yakınsama elde edilmiş olup analiz sonuçları için ortalama genel hata oranı yaklaşık %5 olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] Nolte, S. 2005. Eine Methode zur Simulation der Temperatur- und Stromungsverteilung in Lichttechnischen Geraten. Dr-Ing Thesis, Universität Paderborn.
- [3] Fischer, P. 2005. Radiative Heat Redistribution and Natural Convection Flow inside an Automotive Fog Lamp. ISAL 2005 Symposium, Darmstadt University of Technology.
- [4] 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.
- [5] Senin, S., E.P. Wachsmann, C. Karcher. 2005. Thermal Analysis in Automotive Components. ISAL 2005 Symposium, Darmstadt University of Technology.
- [6] Cimolin, F., A. Menotti, M. Rabito, R. Vadori. 2008. Analisi Termo-Meccanica Con Tecniche Combinata 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, 10-13 Settembre 2008, Università Di Roma "La Sapienza".
- [7] 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.
- [8] El-Khatib, F., J. Bielecki. 2006. Design of Experiment Analysis of Thermal Variables that Affect Automotive Lighting CFD Temperatures. SAE Publications, 2006-01-0490.
- [9] 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.
- [10] Sokmen, F. K., E. Pulat, N. Yamankaradeniz, S. Coskun. 2014. Thermal computations of



- temperature distribution and bulb heat transfer in an automobile headlamp. Heat Mass Transfer, Vol. 50, pp. 199-210.
- [11] Cengel, Y. A., R. H. Turner. 2005. Fundamental of Thermal-Fluid Sciences, 2nd ed. McGraw-Hill. U.S.A.
- [12] Cengel, Y. A. 2003. Heat transfer: a practical approach, 2nd ed. McGraw-Hill. U.S.A.
- [13] Lienhard IV, J. H., J. H. Lienhard V. 2003. A heat transfer textbook, 3rd ed. Phlogiston Press. USA.
- [14] Bejan, A., A. D. Kraus. 2003. Heat transfer handbook. John Wiley & Sons. New York.
- [15] Incropera, F. P., D. P. DeWitt. 1990. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons. New York.
- [16] Kersch A., Schafbauer T., 2000, Thermal modelling of RTP and RTCVD processes, Thin Solid Films, Vol. 365, pp. 307-321.
- [17] Park H.M., Jung W.S., 2001, Recursive solution of an inverse heat transfer problem in rapid thermal processing systems, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 2053-2065.
- [18] Logerais P.O., Bouteville A., 2010, Modelling of an infrared halogen lamp in a rapid thermal system, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 49, pp. 1437-1445.12
- [19] Datasheet, CI 7506L P21W 12V 21W - lead free. Version ZCI 1884099[00]. OSRAM.
- [20] 2006-03_Transmittance P21W clear (Soda Lime Glass 241). OSRAM.
- [21] Datasheet, Transmission Curve for Diakon™ Standard Grades. Lucite International.
- [22] <http://www.infrared-thermography.com/material.htm>, Subject: Emissivity values for common materials, page 1. (Accessed in 08 August 2013)
- [23] <http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>, Subject: Emissivity values for common materials, page 2. (Accessed in 08 August 2013)
- [24] Vujicic M.R., Lavery N.P., Brown S.G.R., 2006, Numerical sensitivity and view factor calculation using the Monte Carlo method, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C- Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 220, pp. 697-702.
- [25] Heynderickx G.J., Nozawa M., 2005, Banded gas and nongray surface radiation models for high-emissivity coatings, American Institute of Chemical Journal, Vol. 51, No.10, pp. 2721-2736.
- [26] Stefanidis, G. D., Van Geem K. M., Heynderickx G.J., Marin G. B., 2008, Evaluation of high-emissivity coatings in steam cracking furnaces using a non-grey gas radiation model, Chemical Engineering Journal, Vol. 137, pp. 411-421.

ÖZGEÇMİŞ

Sercan BODUROĞLU

1982 yılında doğmuştur. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Yüksek Lisansını 2010 yılında aynı üniversitede tamamlamış olup yine aynı üniversitede doktora eğitimine devam etmektedir. Şu anda FARBA A.Ş. firmasında Ar-Ge bölümünde kıdemli tasarım uzmanı olarak görev yapmaktadır.

Muhiddin CAN

1951 yılında doğmuştur. 1974 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Yüksek Lisansını 1981 yılında Bath Üniversitesinde tamamlamış olup UMIST' te de 1985 yılında Doktor unvanını almıştır. 1985 yılından beri Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliğinde görev yapmakta olup 1996 yılından beri Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Isı-kütle transferi uygulamaları, kurutma tekniği, çarpan hava jetleri ile ısı transferinin artırılması, metal tozlarının yüksek voltaj altında termo-mekanik özelliklerinin incelenmesi, jeotermal enerji ve uygulamaları, enerji ekonomisi, ısı, su ve ses yalıtımı, ısı eşanjörleri ve uygulamaları, ısı konfor, teknik tesisat esasları, deniz suyundan tatlı su eldesi, scada uygulamaları, elektronik elemanların soğutulması, mühendislik etiği, mühendislik eğitimi konularında çalışmaktadır.