

**TAŞIT FAR SİSTEMLERİNDE  
ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ**

**HALİL EMRE ÇUBUKLUSU**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## TAŞIT FAR SİSTEMLERİNDE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ

**Halil Emre ÇUBUKLUSU**

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ  
(Danışman)

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
BURSA-2014

## TEZ ONAYI

Halil Emre ÇUBUKLUSU tarafından hazırlanan “Taşıt Far Sistemlerinde Isı Transferinin Analizi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bi-limleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :**

**İmza**

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Uludağ Üniversitesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:**

Doç.Dr. Ömer KAYNAKLI

Uludağ Üniversitesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye:**

Yrd. Doç.Dr. Gökhan SEVİLGEN

Uludağ Üniversitesi  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.././.....  
**İmza**  
**Ad ve Soyadı**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TAŞIT FAR SİSTEMLERİNDE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ

**H.Emre ÇUBUKLUSU**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Farklı iki malzemede lens kullanarak, parçalar üzerinde oluşan sıcaklık farklılıklarını ortaya koyup, üründe oraya çıkabilecek erime vb. problemlerin tasarım aşamasında engellenmesini sağlamak hazırlanan bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, otomobil farının termal analizleri, ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Ansys CFX paketi kullanılarak yapılmıştır. Üç boyutlu steady-state analizler, akışkan bölgeler için taşınım ve radyasyon, katı bölgeler için ise iletim ve radyasyon göz önüne alınarak yapılmıştır. Radyasyon multi-band ışın takibi yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca, gövde, ampul, filament, duy ve lensin bulunduğu tasarım geometrisi meshlenmiştir. Elde edilen sonuçlar lens, ampul ve gövde üzerinde sıcaklık dağılımı olarak gösterilmiştir. Parçalar üzerinde, radyasyondan kaynaklanan sıcak noktalar görülmektedir. Gövde üzerindeki sıcaklık dağılımında ampulün yukarısında kalan bölgelerin aşağısında kalan bölgelere oranla daha sıcak olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun gövde içinde bulunan havanın akışından ve taşınım ile olan ısı transferinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği(CFD), far, stop lambası, sis farı, aydınlatma sistemleri, termal analiz.

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis  
HEAT TRANSFER ANALYSIS of AUTOMOTIVE HEADLAMP SYSTEMS

**Halil Emre ÇUBUKLUSU**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineer

**Supervisor:** Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

A thermal analysis of an automotive lamp is performed using the commercial computational fluid Dynamics package of Ansys CFX. The three-dimensional, steady-state analysis accounts for convection and radiation within the fluid domain, conduction and radiation within the solid domain. Radiation is modeled using a multi-band ray-tracing approach. The geometry is meshed in detail including housing, bulb, filament, socket and lens. Results show temperature distribution on lens, bulb and housing. Hot spots are seen on parts which are caused by radiation. The housing temperature fields show warmer areas on top and colder areas at the bottom induced by convective heat redistribution due to air flow inside the housing.

The aim of the study is, to investigate temperature differences on parts when two different material is used for lens and to avoid future problems such as melting, etc. in project process of the product.

**Keywords:** Computational Fluid Dynamics (CFD), headlamp, rear lamp, fog lamp, lighting systems, thermal analysis.

## TEŐEKKÖR

Bana bu konuda çalışma fırsatı verip, her zaman ve her konuda destek olan, bilgi ve deneyimi ile çalıŐmalarımı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Muhsin KILIÇ' a Őukranlarımı sunarım.

Tez çalıŐmalarım esnasında bana destek veren eŐim Deniz ÇUBUKLUSU ve oğlum Ahmet Göktuğ ÇUBUKLUSU'na teŐekkürlerimi sunuyorum.

Tez alıŐması aşamasında bu çalışmaları yapabilmem için gerekli tüm maddi ve manevi desteği sağlayan aileme ayrıca teŐekkürlerimi sunuyorum.

Her türlü desteği veren meslektaŐım ve arkadaŐım, Araştırma Görevlisi Nurullah ARSLANOğLU'na Őukranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	II
İÇİNDEKİLER .....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
1.GİRİŞ.....	1
1.1.    Farların Gelişim Tarihçesi.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b> 1
1.2.    Termal Analizler ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanım Nedenleri .....	4
2.    KAYNAK TARAMASI .....	7
3.    MATERYAL VE YÖNTEM .....	13
3.1.    Termofiziksel Özellikler .....	21
3.2.    Modelleme ve Çözüm Metodu .....	23
3.2.1.    Tanımlanan Boyutlar ve Boyutsuz Sayılar .....	23
3.2.2 Çözüm Metodu ve Yakınsama Kriterleri .....	24
3.2.3. Sonlu Hacimler Yöntemi.....	24
3.2.4. Ayrıklaştırma .....	25
3.3. Sis Farı Üzerinde Analiz Ayarlamalarının Yapılması ve Çözümler .....	28
3.3.1 Simülasyon Düzenegi .....	28
3.4.    Sis Farı Termal Analiz Sonuçları .....	32
3.4.1.    Sis Farında Orijinal Lens Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar .....	32
3.4.2.    Sis Farında Lens Yerine Cam Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar .....	34
3.5.    Sonuç ve Değerlendirme.....	36
4.    ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	38
4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Modeli ve Ampul Güç Değerleri .....	38
4.2. Çözümleme Yöntemi.....	39
4.2.1. Ampullerin Hepsinin Yandığı Durumdaki Sonuçlar .....	44
4.2.2. Sadece Fren Ampulünün Yandığı Durumdaki Sonuçlar .....	55
4.3. Yan Sinyal Lambası Analizleri .....	60
4.3.1. Çözümleme Yöntemi.....	60
4.4.    Değerlendirme ve Sonuç.....	72
KAYNAKLAR.....	74
EKLER.....	77



Ek1. Gövde Malzemesi zellikleri Tablosu, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) .....	77
Ek2. Lens Malzemesi zellikleri Tablosu(Acrylic) .....	78
Ek3. Duy Malzemesi zellikleri Tablosu(Polyimide) .....	79
TEŐEKKR.....	<b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>
ZGEMIŐ .....	80

## **TABLÖLAR DİZİNİ**

Ek1. Gövde Malzemesi zellikleri Tablosu .....	77, 78
Ek2. Duy Malzemesi zellikleri Tablosu .....	78, 79
Ek3. Duy Malzemesi zellikleri Tablosu(Polyimide).....	79

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Dikdörtgen kesitli kapalı hacim içerisindeki ısı transferi modeli .....	8
Şekil 2. Park ve sinyal lambasının dış görünüşü.....	8
Şekil 3. VW Polo far modeli .....	9
Şekil 4. İki boyutlu far modeli üzerinde durgun sıcaklık dağılımı .....	10
Şekil 5. (a) Güneşten kaynaklanan solar ısı akışı, (b) Yüzeylerdeki Sıcaklık Dağılımı .....	11
Şekil 6. (a) Termal kamerada elde edilen sıcaklık dağılımı, (b) ANSYS CFX de elde edilen sıcaklık dağılımı sonuçları.....	11
Şekil 7. LED termal analizi sıcaklık kıyaslaması.....	12
Şekil 8. CFD Analizinde Uygulanan Prosedür .....	15
Şekil 9. Çözüm Ağı.....	24
Şekil 10. Çözüm Ağı İçinde İntegrasyon Noktaları ve Nodlar .....	26
Şekil 11. Sis Farı CAD Modeli .....	28
Şekil 12. Gövde, Duy ve Ampulün Sonlu Elemanlar Modeli.....	29
Şekil 13. Gövde İçerisindeki Havanın Hız Dağılımı .....	30
Şekil 14. Ampul içerisindeki Argon gazının hız dağılımı.....	31
Şekil 15. Ampul yüzey sıcaklık dağılımı .....	33
Şekil 16. Gövdenin iç yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	33
Şekil 17. Lensin dış yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	34
Şekil 18. Ampul yüzey sıcaklık dağılımı .....	35
Şekil 19. Gövdenin iç yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 20. Lensin dış yüzeyinde sıcaklık dağılımı.....	36
Şekil 21. Analizlerde Kullanılan Stop Lambası Tasarımı.....	38
Şekil 22. Farın katı modeli ve çözüm hacmi.....	40
Şekil 23. Arka sinyal kutusunu farklı görünüşleri .....	41
Şekil 24. Çözüm alanı mesh yapısı .....	42
Şekil 25. Gövde yüzeylerinin mesh yapısı .....	42
Şekil 26. Lens yüzeylerinin mesh yapısı.....	43
Şekil 27. Ampul yüzeylerinin mesh yapısı .....	43
Şekil 28. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 1 .....	45
Şekil 29. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 2 .....	46

Şekil 30. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 3 .....	46
Şekil 31. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 4 .....	47
Şekil 32. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 1 ..	47
Şekil 33. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 2 ..	48
Şekil 34. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 3 ..	48
Şekil 35. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 4 ..	49
Şekil 36. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımları .....	51
Şekil 37. Lenslerin iç yüzeyindeki havanın sıcaklık dağılımı.....	51
Şekil 38. Benzer bir far ile yapılan testte alınan IR resmi .....	52
Şekil 39. Lenslerin iç yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerleri.....	52
Şekil 40. Ampul cam sıcaklık dağılımları .....	53
Şekil 41. Ampul cam yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı .....	54
Şekil 42. Ampul cam yüzeyi üzerinde ısı taşınım katsayısı dağılımı .....	54
Şekil 43. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 1 .....	55
Şekil 44. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 2 .....	56
Şekil 45. Gövde iç yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerleri .....	56
Şekil 46. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımları .....	57
Şekil 47. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki havanın sıcaklığı.....	58
Şekil 48. Lenslerin iç ve dış yüzeyleri üzerindeki ısı taşınım katsayısı değerleri	58
Şekil 49. Ampul yüzeyinde hesaplanan sıcaklık değerleri.....	59
Şekil 50. Ampul yüzeyi üzerinde havanın hesaplanan sıcaklık değerleri ve ısı taşınım katsayısı dağılımı.....	59
Şekil 51. Yan sinyal lambasının çözümlemede kullanılan katı modeli: Görünüş 1 .....	61
Şekil 52. Yan sinyal lambasının çözümlemede kullanılan katı modeli: Görünüş 2 .....	61
Şekil 53. Çözüm alanı genel mesh yapısı.....	62
Şekil 54. Gövde yüzeyleri mesh yapısı .....	62
Şekil 55. Duy ve ampul yüzeyleri mesh yapısı .....	63
Şekil 56. Lens yüzeyleri mesh yapısı .....	64
Şekil 57. Gövde iç yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 1 .....	65
Şekil 58. Gövde iç yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 2.....	66

Şekil 59. Gövde dış yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 1 .....	66
Şekil 60. Gövde dış yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 2 .....	67
Şekil 61. Ampul üzerinde sıcaklık dağılımı .....	67
Şekil 62. Ampul üzerinde havanın sıcaklık dağılımı .....	68
Şekil 63. Lens iç yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı .....	68
Şekil 64. Lens iç yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı.....	69
Şekil 65. Lens iç yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 2) .....	69
Şekil 66. Lens dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 1) .....	70
Şekil 67. Lens dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 2) .....	70
Şekil 68. Lens dış yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı .....	71

## SİMGELER DİZİNİ

$\mu_t$	Türbülanslı eddy viskozitesi [ $m^2/s$ ]
$k_t$	Türbülanslı eddy iletkenliği
$k$	Türbülans kinetik enerjisi [J]
$\varepsilon$	Türbülans kinetik enerjisi yayılma hızı [m/s]
$l_m$	Prandtl'ın karışım uzunluğu [m]
$G$	Türbülans kinetik enerjisinin üretimi [S]
$\sigma_\varepsilon$	k- $\varepsilon$ model sabiti
$\sigma_k$	k- $\varepsilon$ model sabiti
$C_2$	k- $\varepsilon$ model sabiti
$C_1$	k- $\varepsilon$ model sabiti
$\sigma_t$	Türbülanslı Prandtl sayısı
$U_\delta$	Cidara paralel sınır tabaka hızı [m/s]
$\delta$	Cidara dik mesafe [m]
$\tau_w$	Akışkanın cidarda kayma gerilmesi [Pa]
$\rho$	Akışkanın yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]
$\kappa$	Boyutsuz sabit
$B$	Boyutsuz sabit
$\nu$	Kinematik viskozitesi [ $m^2/s$ ]
$S$	Uzama Oranı
$F_2$	Karışım fonksiyonu
$y$	Duvarдан uzaklık [m]
$T_0$	Referans Sıcaklık [ $^\circ K$ ]
$\mu_0$	Dinamik viskozite [ $m^2/s$ ]
$k_0$	Isı iletim katsayısı [w/mK]
$U$	Hava hızı [m/s]
$St$	Stanton Sayısı
$h$	Isı taşınım katsayısı [ $W/m^2K$ ]
$C_p$	Sabit basınçta özgül ısı [kJ/kg.K]
$u_i$	Hız [m/s]
$P$	Statik basınç [Pa]

$\mu_{eff}$	Efektif viskozite [ $m^2/s$ ]
$\Gamma_{eff}$	Efektif kinetik enerji [J]
$dn_j$	Yüzey normaline dik olan komponent
$v$	Hacim [ $m^3$ ]
$s$	Hacim [ $m^3$ ]
$\Delta n_j$	Yüzey vektörü
$\Delta t$	Zaman adımı [s]
$ip$	İntegrasyon noktası

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Farların Tarihsel Gelişimi

Far, otomobilin icat edilmesinden sonra gece kullanım ihtiyacından dolayı ortaya çıkmış ve günümüzde en önemli otomobil parçalarından biridir halini almıştır. Bu önemli parçanın tarihsel gelişimi şu şekildedir;

-1908... Otomobilde dinamonun kullanılmaya başlanması ile birlikte elektrikli ampullerin kullanılmaya başlanması. Bu ampullerin en kötü yanı aniden ve sıkça bozuluyor olmasıydı. Ayrıca, farda ışığı yola direkt olarak yansıtan parabolik aynalar kullanılıyordu. Işığın dağılımı o kadar kötüydü ki, geceleri karşılaşan iki otomobilden biri durmak zorunda kalıyordu.

-1917... Özel kaplamalı metal reflektör ve yeni ampul soketlerinin kullanılmaya başlanması. Bu reflektörlerde daha gelişmiş odaklama ayarları yapılabiliyordu.

-1919... Kısa ve uzun far için ayrı reflektörlerin kullanılmaya başlanması. Bu düzenleme ile birlikte ışığın dağılım sorunu da kısmen çözülmüş oldu.

-1926... Stop lambasının kullanılmaya başlanması.

-1931... Ön sis farının kullanılmaya başlanması. Sis farı özel optik yapısı ile kısa farın aksine yüzeyi aydınlatıyor, ışığın sisli havalarda geri yansımaları engelleyebiliyordu.

-1945... Asimetrik ışık deseninin kısa farlarda kullanılmaya başlanması ile yolun sağ tarafına daha fazla ışık yansıtılması sağlanarak karşıdan gelen trafiğin üretilen ışıktan rahatsız olması engellendi.

-1948... Statik viraj farı ilk defa Tucker Torpedo'da kullanıldı.



-1958... BM Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE), otomobil aydınlatmasının üye ülkeler tarafından uyulması gereken tüm standartlarını belirledi.

-1962... Otomobil aydınlatmasında kullanılan ilk halojen ampul olan H1 üretildi.

-1966... Arka sis farı kullanılmaya başlandı.

-1967... H3 ampul üretildi.

-1971... H4 ampul üretildi.

-1974... 3. stop lambasının gerideki sürücüyü daha iyi uyardığı bir psikolog tarafından keşfedildi. Elektrikli far seviye ayarlama mekanizması kullanılmaya başlandı.

-1983... Elipsoidal far üretildi.

-1988... Free form far üretildi.

-1992... Xenon far ilk defa BMW 7 serisinde kullanıldı. H7 ampul üretildi. LED'li 3. stop lambası ilk defa BMW 3 Cabrio'da kullanıldı.

-1993... Şeffaf ön camlı free form far üretildi.

-1994... Daha gelişmiş aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi için üye firmalar Eureka E!1403 projesi altında çalışmalara başladılar.

-1997... Mavimsi ışık veren ampuller ve Xenon gazı içeren yüksek performanslı halojen ampuller üretildi.

-1999... H8, H9, H11 ampulleri üretildi.

-2000... Bi-Xenon far ilk defa Saab 9.5 serisinde kullanıldı.

-2002... Eureka E!1403 projesine bağlı olarak statik ve dinamik viraj farlarının çalışmaları hız kazandı. LED'li far geliştirme çalışmaları hız kazandı.

-2003... Viraj farları Avrupa ülkelerinde kullanılmak üzere onay aldı. LED'li park ve gündüz farı (DRL) ilk defa Audi A8'de kullanıldı. Statik ve dinamik viraj farı ilk defa Opel Signum'da birlikte kullanıldı.

-2005... Yasal yeterliliğe sahip ilk LED'li kısa far prototipi üretildi.

-2007... Tüm fonksiyonları LED'le çalışan far ilk defa Audi R8'de kullanıldı.

Otomobillerde kullanılmış far çeşitleri teknolojik gelişmelere paralel olarak farklılık göstermektedir. Otomobil farlarının atası olarak kabul edilen parabolik(desenli camlı) artık kullanılmamaktadır. Bu farlarda ampulün ürettiği ışık parabolik reflektörden ileriye yansıtılmaktadır. Farın önündeki desenli ön cam ışığı kırarak istenen yönlerde (üst karanlık-alt aydınlık, asimetric desen) düzgün dağılımını sağlamaktadır. Optik mesafe 15-40 mm. arasında değişmektedir. Bu uzaklık azaldıkça üretilen ışık genişlemektedir. Far reflektörü ne kadar büyük olursa verdiği ışık ta o kadar fazla olmaktadır. İki reflektörlü versiyonda genellikle H7 veya H1, tek reflektörlü versiyonda H4 ampul kullanılarak kısa ve uzun far ışığı elde edilmektedir.

1990'lı yılların sonlarından itibaren kullanılmaya başlanan Free Form (şeffaf camlı) farlar günümüzde üretilen otomobillerin hemen hemen hepsinde bulunmaktadır. Güçlü bilgisayarlar ve özel optik yazılımlar ile reflektör üzerinde optik mesafeden bağımsız on binlerce farklı yansıma noktası oluşturulmaktadır.

Işığın dağılımı bu yansıma noktalarında şekillendiğinden şeffaf ön cam kullanılabilir. Bu sayede performans %50 kadar artırılarak, farklı far dizaynlarının geliştirilebilmesine olanak tanınmaktadır.

Elipsoidal (mercekli) farların ise kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak farklı alanlarda kullanılabilmesi için (bi-Xenon far, dönen far vb.) sürekli geliştirilmektedir. Güçlü bilgisayarlar ve özel optik yazılımları ile reflektör üzerinde eliptik bir yansıma yüzeyi oluşturulmaktadır. Reflektörün önündeki siper üretilen ışığın istenmeyen kısmını kesmektedir. Öndeki mercekte kalan ışığı toplayarak ileri yansıtmaktadır. Bu sayede daha küçük ve etkili yansıma yüzeyleri oluşturulabilmekte, farklı desenlerde ışık dağılımı elde edilebilmektedir. Genellikle 60-70 mm. çapında mercekler kullanılmaktadır. Merceğin çapı büyüdükçe ışık deseni genişlemektedir. Genellikle kısa far elipsoidal projektörlü, uzun far ise free from reflektörlü olarak tasarlanmaktadır. Elipsoidal projektörde H7 veya Xenon, free form reflektörde H7 veya H1 ampul kullanılarak kısa ve uzun far ışığı elde edilmektedir.

## **1.2. Termal Analizler ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanım Nedenleri**

Termal simülasyonlar, bilgisayar destekli mühendislikte sıcaklık nedeniyle malzemelerde meydana gelen problemlerin analiz edilebilmesi için gün geçtikçe önemi artan bir konu haline almaktadır. Araç üzerinde bulunan farların, termal tasarımı, gerek güçlü ısı kaynakları olan ampullerin kullanılmasından gerekse de gün geçtikçe plastik malzeme kullanımının artmasında dolayı en önemli konuların başında gelmektedir. Plastik parçaların erime ihtimallerinden dolayı radyasyon ve taşınım konuları kritik önem kazanmaktadır. Parçalarda oluşan bozukluklar küçük görüntüsel düzeyde olabileceği gibi bir yerin erimesi ve parçanın fonksiyonunu kaybetmesi şeklinde de olabilmektedir. Bu yüzden termal optimizasyon, bir far için çok büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı da her proje başlangıcında termal tasarıma çok önem vermek gerekmektedir. Tasarım değişikliği

durumlarında artan proje süresi maliyetleri, kalıp maliyetleri vb. gibi nedenlerden dolayı termal analizin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi oldukça büyük bir önem taşır hale gelmektedir. Ayrıca numune testlerinin yüksek maliyet olması, testlerin başarısız olması durumunda düzeltici değişiklikler için karşılanması gereken maliyetlerin yüksek olması ve özellikle de tasarım-üretim ve işçilik kapsamında harcanan sürelerin işletmelere getireceği maliyetleri yüksek olması nedeniyle bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarının önemi günden güne artmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) oldukça kullanışlı bir tasarım destek aracı haline almaktadır. Bu araçlarla birlikte ışıınım, taşınım ve iletimle olan ısı transferlerinin karışık geometrilere modellenmesi de mümkün olmaktadır. CFD, bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımlarının baş mimarlarından biri olarak görülmektedir. Otomotivde çok geniş bir yelpazede; soğutma, havalandırma, akış uygulamalarında kullanıldığı gibi çeşitli amaçlar için aydınlatma alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Farlar başka otomobil parçalarıyla kıyaslandığında basit görünseler bile, arkasında yatan fizik bilimi oldukça karmaşıktır. Özellikle filamentte meydana gelen yüksek sıcaklık kaynaklı radyasyonun parçalar üzerindeki etkisini incelemek oldukça zordur.

Günümüzde otomobil farlarının, tasarım ve teknolojik gereklilikleri gittikçe karmaşık bir hal almaktadır. Tasarım ve teknolojik gerekliliklerin kombinasyonu, kompleks geometrik tasarımlara yol açmasının yanı sıra aydınlatma sistemlerinde alandan tasarruf sağlama ihtiyacı gibi nedenlerden dolayı özellikle termal simülasyonların far tasarım sürecinde önemli bir noktaya gelmesini sağlamıştır. Oldukça yüksek sıcaklığa maruz kalan far parçalarında oluşabilecek kritik noktaların önceden tespiti ve problemlerin bertaraf edilmesi, gerektiğinde tasarım değişikliklerinin yapılıp daha iyi tasarımlara ulaşılabilmesi, tasarım ve prototip maliyetlerinin asgariye indirilmesi termal simülasyonlar sayesinde sağlanabilmektedir.

Birçok tasarımda, aydınlatma kaynağı, lensler ve plastik parçalar arasındaki mesafe oldukça az olmaktadır. Bu durum sıcak bölgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan sıcak bölgelerin kontrol altına alınmaması durumunda plastik malzemede bozulmalar meydana gelmektedir. Termal simülasyon mekanik dizaynla birleştiğinde doğru malzeme ve geometri seçimi ile ilgili aydınlatıcı veriler ortaya çıkmaktadır.

Normal kullanım koşullarında tungsten filamentte oluşan sıcaklık 2800-3000 °C'ye ulaşmaktadır. Tungstenin yayıcılığı görünen dalga boylarında maksimumdur ve kızılötesi, morötesi ışınlarda oldukça düşüktür. Bu ışık verimliliği açısından oldukça güzel bir özelliktir. Fakat simülasyonda bu farklılığı belirtmek için multi-band özellikleri tanımlanmalıdır. Hesaplama alanında ilerleyince radyasyon gövde, lens ve ampule geçmektedir. Bu parçalar radyasyonun bir bölümünü emer, bir bölümünü geçirir ve kalan kısmını da tekrar yaymaktadır. Yine bu noktalarda dalga boyuna göre tanımlamalar yapılmalıdır. Ampul içersinde genellikle argon gazı kullanılmaktadır. Gövde ve lens ile çevrelendirilmiş bölgede ise hava bulunmaktadır. Bu akışkan bölgelerinde taşınım ile ısı transferi hesaplamaları incelenmelidir. Katı bölgelerde ise iletim ile olan ısı transferi hesaplanmalıdır.

Bu çalışmanın giriş bölümünde yukarıda anlatılan “Farların Tarihsel Gelişimi” ve “Termal Analizler ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanım Nedenleri” konularına yer verilmiştir. İkinci bölümde kaynak taraması yapılarak, daha önceki çalışmalar bir özet halinde sunulmuştur. Üçüncü bölümde bu tezde kullanılan materyal ve yöntem anlatılmıştır. Nispeten basit bir model üzerinde analiz sisteminin oturtulmasına ve çıkan sonuçlara teorisi ile birlikte yer verilmiştir. Dördüncü bölümde ise tezin asıl hedefi olan karmaşık bir ticari arka stop lambasında tasarım aşamasında olası problemlerin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları ile tespiti ve bu problemlerin çözümü için uygulanan yöntem, sonuç ve test bulguları ile uyumu anlatılmıştır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

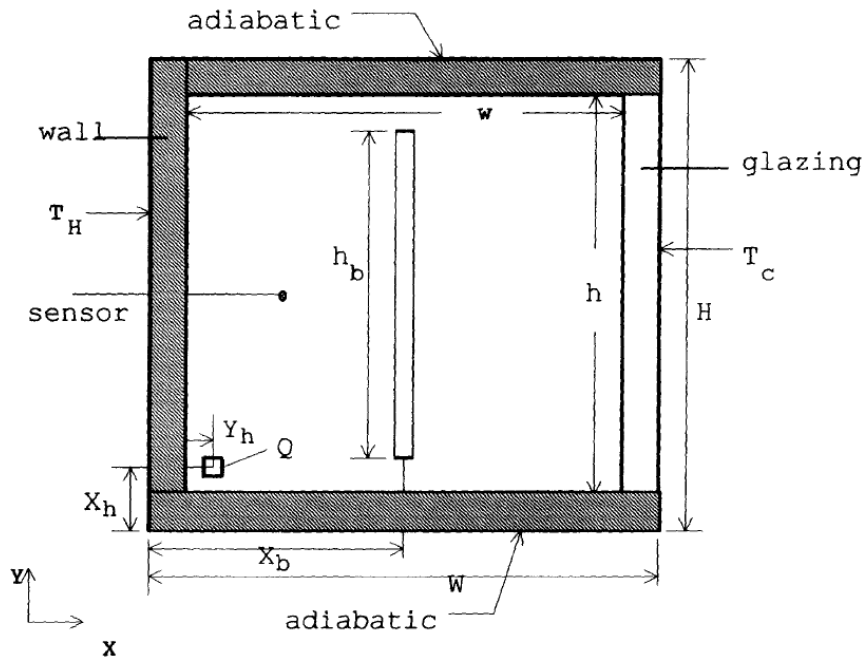
Farla ilgili ilk çalışmalar, 1908 yılında otomobillerde dinamunun kullanılması ile birlikte başlamıştır. 1917 yılında daha gelişmiş odaklama ayarları yapılabilen özel kaplamalı metal reflektör ve yeni ampul soketlerinin kullanımına geçilmiştir. Bu gelişmeyi 1962 yılında otomobil aydınlatmasında kullanılan ilk halojen ampul olan H1' in üretilmesi izlemiştir.

Daha gelişmiş aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi için 1994 yılında Philips Lighting B.V., Mercedes-Benz Ag, Volvo Car Corporation, Valeo Vision S.A, Volkswagen Ag, Psa - Peugeot Citroen, Renault S.A., Osram Gmbh, Hella Kg Hueck & Co., Robert Bosch Gmbh, Bayerische Motorenwerke Ag, Magneti Marelli S.P.A., Eureka E!1403 projesi altında çalışmalara başlamışlardır. Bu projenin ortaya çıkma nedeni yukarıda adı geçen firmaların son 25 yılda far ile ilgili olan gelişmelerin, otomobil gelişme trendinden geri kalmasıydı. (Eureka E!1403 Project, 1994)

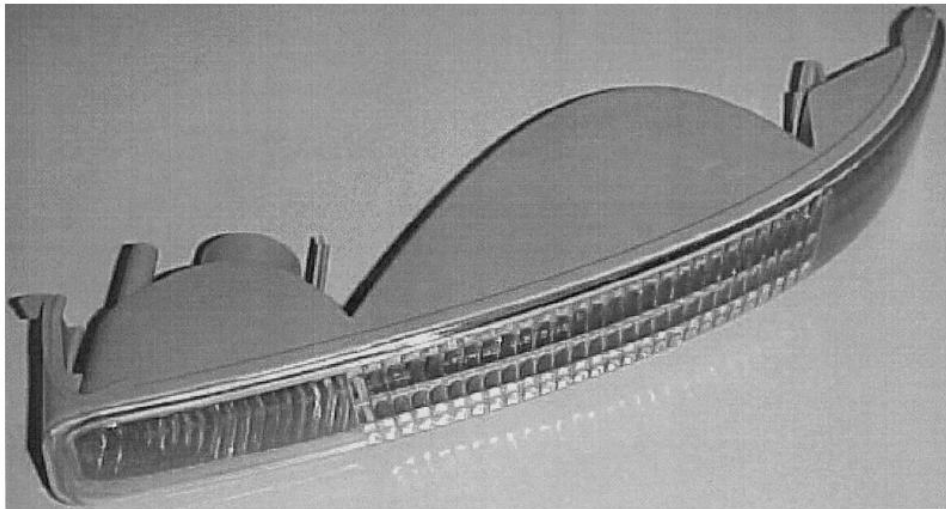
Otomotiv sektöründe özellikle far üzerine yapılan çalışmalar, teknolojinin yetersiz kaldığı durumlarda daha çok deneysel ve sezgisel olarak yapılmaktaydı. Son yıllarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği programlarının ve bilgisayar işlemcilerinin gelişmesi ile birlikte, far üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Akademik olarak karşımıza çıkan çalışmalardan biri olan Y.S.Sun ve A.F. Emery'nin çalışmasında (1996), içinde hava bulunan kapalı ve iki boyutlu düzlemde duvarlardan olan ısı iletimi ve sistemde doğal taşınılma olan ısı transferini incelemişlerdir. şekil 1' de bu çalışmanın modeli görölmektedir. Bu çalışmada üç duvar adyabatik kabul edilmiş ve duvarlardan birisi cam olarak seçilmiştir. Isı transferinin incelenmesi için bu model kullanılarak nümerik metot ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır.

William I. Moore, Eric S. Donovan, Christopher R. Powers (1999), otomobil park ve sinyal lambalarında ışınmım ve doğal taşınımıla olan ısı transferini Adina F CFD yazılımını kullanarak incelemiştir. Termal kamera ile de deneysel çalışma yapıp sonuçları kıyaslamışlardır. Deneysel sonuçları ve benzetim sonuçları arasında %10 gibi bir değer farkıyla sonuca yaklaşmışlardır. Analizlerin gerçeği çok büyük bir isabetle yansıttığına ve izleyen geliştirme faaliyetlerinde bu tür yazılımların kullanılabilceği sonucuna varmışlardır. Şekil 2' de üzerinde çalıştıkları far modeli görülmektedir.



Şekil 1. Dikdörtgen kesitli kapalı hacim içerisindeki ısı transferi modeli



Şekil 2. Park ve sinyal lambasının dış görünüşü

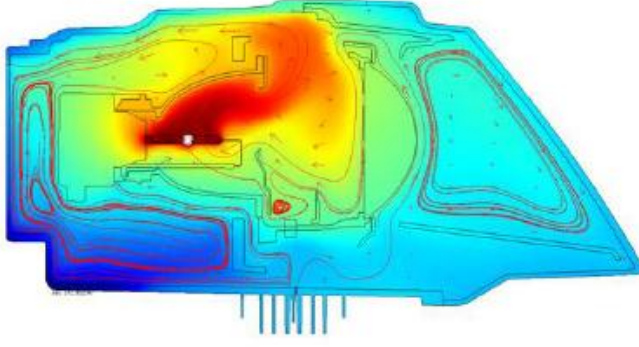
J.M.M. Sousa ve ark. (2005), otomobil farı üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada farklı bölgelere ısı çifti yerleştirerek sıcaklık ölçümü yapmışlardır. Ayrıca üç boyutlu olarak ısı akışını da incelemişlerdir. Rejime girmiş farın sıcaklık ve akış ölçümlerinin yanı sıra zamana bağlı ölçümlerini de yapmışlardır. Farın içerisinde türbülanslı akış gözlenmiştir. Sonuçlar modern otomobil farının içerisindeki akışın ve sıcaklık dağılımının anlaşılması boyutunda daha gelişmiş bilgiler kazandırmıştır. Şekil 3' de çalışma yapılan model görülmektedir.



**Şekil 3. VW Polo far modeli**

Erik Preihs (2006), General Motors'da far içerisinde deneysel ölçüm ve nümerik analiz yapmıştır. İki boyutlu analizin incelendiği bu çalışmada bağıl nem ve çığ oluşumu ile ilgili incelemelerde de bulunulmuştur. Analitik analizi, sıcaklık değişimi üzerine kurmuştur. Bu analizde iletim, taşınım ve ışınım ile olan ısı transferi sonucu meydana gelen sıcaklık dağılımını iki boyutlu olarak gözlemlemiştir. Hava sıcaklığı ve nem oranının çığ oluşumuna etkisi isabetli bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, iki boyutlu model üzerindeki sıcaklık dağılımında gerçekçi sonuç elde edilmiştir. Araştırmacı bir sonraki hedef olarak bu işlemleri üç boyutlu yapılmasının gerekliliğini de vurgulamaktadır. Şekil 4' de iki boyutlu model üzerindeki durgun sıcaklık dağılımı görülmektedir.



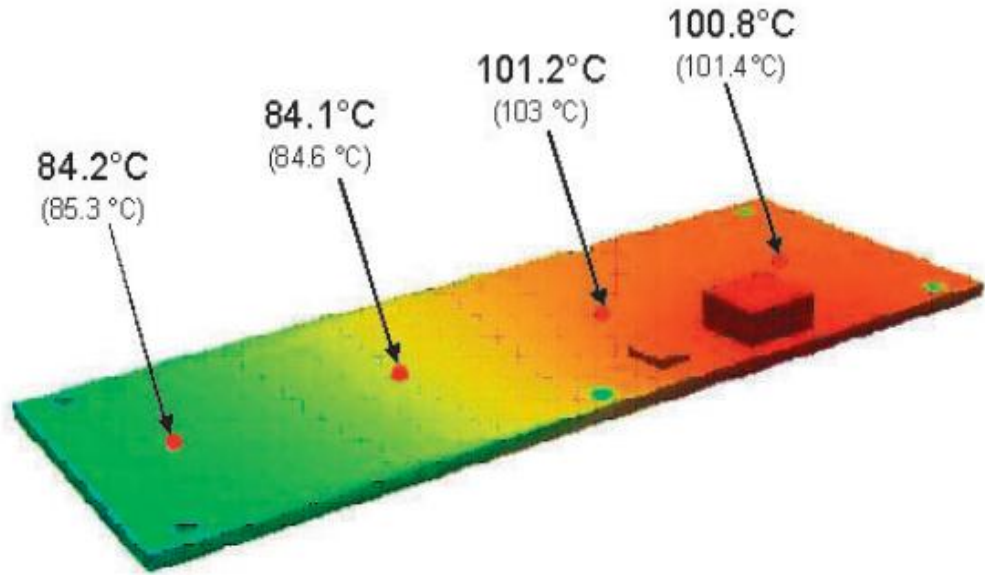


**Şekil 4. İki boyutlu far modeli üzerinde durgun sıcaklık dağılımı**

Dr. Victor Bader ve ark. (2007), VW firmasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımlarını kullanarak, ön ve arka farlarda iyileştirme çalışmaları yapmışlardır. Termal radyasyonun çözümü için geliştirilen yeni modeller, yarı geçirgen malzeme özellikleri, yansıma gibi gelişmelerle yüksek hızlı işlemcileri kullanarak ortaya isabetli ve kısa zamanda çözülebilen analizler çıkarmışlardır. Ürün geliştirme sürecinde, problem tespiti ve çözümünü mümkün kılan çalışmalar yapmışlardır. Prototip çalışmaları minimize edilmeye çalışılmış, bilgisayar ortamında problem çözümleri ele alınmıştır. Değişik model seçenekleri ve ortam koşulları üzerinde çalışılmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada hedef olarak aydınlatma sistemlerinde sıcaklık dağılımı ve akış analizlerini çözümlyerek, test bulgularıyla kıyaslayıp isabetli sonuçlar elde etmişlerdir. Şekil 5' de üç boyutlu model üzerinde sıcaklık dağılımı ve solar ısı akısı görülmektedir.

Antonio Filipuzzi ve ark. (2007), ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS CFX 11.0'ı kullanarak otomobil arka farının termal davranışını incelemiş, konseptte ve dizaynda değişiklik yapmışlardır. Doğal taşınım ve radyasyon tüm akışkan bölgesi hesaba katılarak incelenmiştir. İletimle olan ısı transferi de tüm parçalar da hesaba katılmıştır. Radyasyon ışın izleme metodu olan Monte-Carlo metoduyla çözdürülmüştür. İleriye dönük olarak LED'ler de incelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada otomobil arka farında tatmin edici isabette termal davranış incelenebilmiştir, bu sonuca benzetim ve test arasındaki farkın %5 olması sayesinde erişilebilmiştir. Ayrıca LED'li aydınlatmanın da işletme koşullarında iyi sonuç verdiği görülmüştür. Şekil 6'da





**Şekil 7. LED termal analizi sıcaklık kıyaslaması**

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Termal simülasyonlar, bilgisayar destekli mühendislikte sıcaklık nedeniyle malzemelerde meydana gelen problemlerin analiz edilebilmesi için gün geçtikçe önemi artan bir konu haline almaktadır. Araçlar üzerinde bulunan farların; termal tasarımı, gerek güçlü ısı kaynakları olan ampullerin kullanılmasından gerekse de gün geçtikçe plastik malzeme kullanımının artmasında dolayı en önemli konuların başında gelmektedir. Plastik parçaların erime ihtimallerinden dolayı radyasyon ve taşınım konuları kritik önem kazanmaktadır. Parçalarda oluşan bozukluklar küçük görüntüsel düzeyde olabileceği gibi bir yerin erimesi ve parçanın fonksiyonunu kaybetmesi şeklinde de olabilmektedir. Bu yüzden termal optimizasyon, bir far için çok büyük önem arz etmektedir. Bundan dolayı da her proje başlangıcında termal tasarıma çok önem vermek gerekmektedir. Tasarım değişikliği durumlarında artan proje süresi maliyetleri, kalıp maliyetleri vb. gibi nedenlerden dolayı termal analizin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi oldukça büyük bir önem taşır hale gelmektedir. Ayrıca numune testlerinin yüksek maliyet olması, testlerin başarısız olması durumunda düzeltici değişiklikler için karşılanması gereken maliyetlerin yüksek olması ve özellikle de tasarım-üretim ve işçilik kapsamında harcanan sürelerin işletmelere getireceği maliyetleri yüksek olması nedeniyle bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarının önemi günden güne artmaktadır.

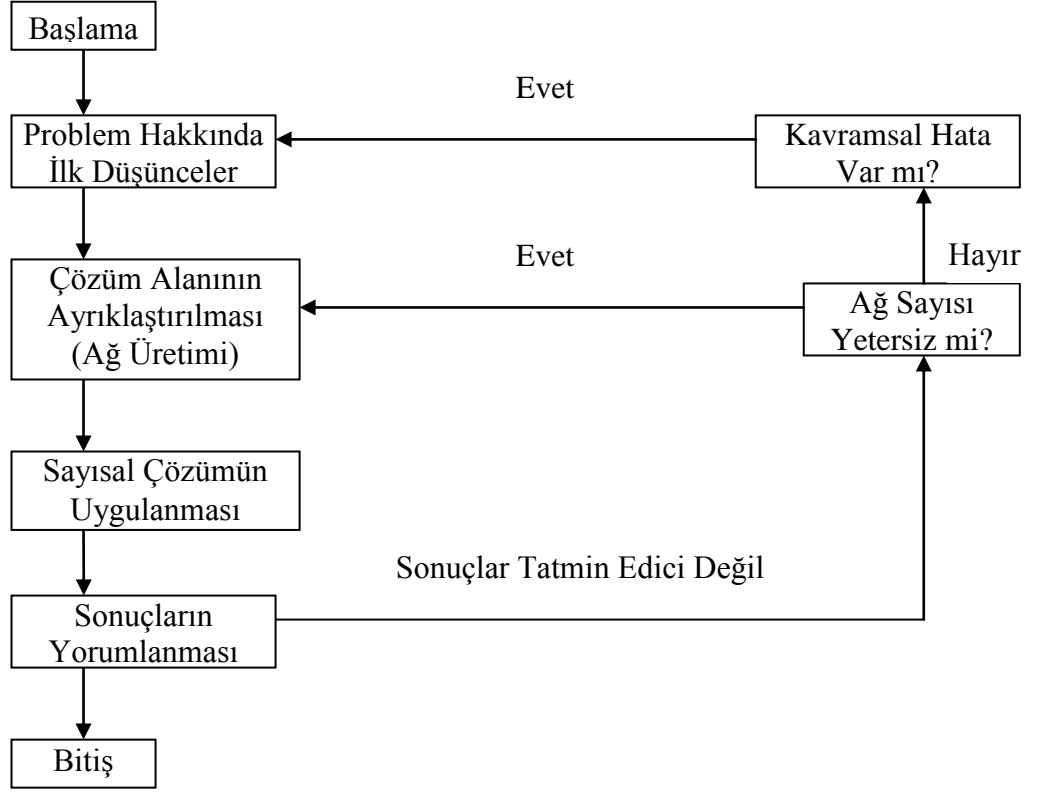
Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) oldukça kullanışlı bir tasarım destek aracı haline almaktadır. Bu araçlarla birlikte ışınım, taşınım ve iletimle olan ısı transferlerinin karışık geometrilere modellenmesi de mümkün olmaktadır. CFD, bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımlarının baş mimarlarından biri olarak görülmektedir. Otomotivde çok geniş bir yelpazede; soğutma, havalandırma, akış uygulamalarında kullanıldığı gibi çeşitli amaçlar için aydınlatma alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Farlar başka otomobil parçalarıyla kıyaslandığında basit görünseler bile, arkasında yatan fizik bilimi oldukça karmaşıktır. Özellikle filamentte meydana gelen yüksek sıcaklık kaynaklı radyasyonun parçalar üzerindeki etkisini incelemek oldukça zordur.

Normal kullanım koşullarında tungsten filamentte oluşan sıcaklık 2800-3000 °C'ye ulaşmaktadır. Tungstenin yayıcılığı görünen dalga boylarında maksimumdur ve kızılötesi, morötesi ışıklarda oldukça düşüktür. Bu ışık verimliliği açısından oldukça güzel bir özelliktir. Fakat simülasyonda bu farklılığı belirtmek için multi-band özellikleri tanımlanmalıdır. Hesaplama alanında ilerleyince radyasyon gövde, lens ve ampule geçmektedir. Bu parçalar radyasyonun bir bölümünü emer, bir bölümünü geçirir ve kalan kısmını da tekrar yaymaktadır. Yine bu noktalarda dalga boyuna göre tanımlamalar yapılmalıdır. Ampul içerisinde genellikle argon gazı kullanılmaktadır. Gövde ve lens ile çevrelendirilmiş bölgede ise hava bulunmaktadır. Bu akışkan bölgelerinde taşınım ile ısı transferi hesaplamaları incelenmelidir. Katı bölgelerde ise iletim ile olan ısı transferi hesaplanmalıdır.

Momentum, ısı ve kütle transferi proseslerini tanımlamak için kullanılan denklemler Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmektedir. Bu kısmi diferansiyel denklemler 19.yy başlarında türetilmiş ve analitik olarak çözülememiştir. Fakat nümerik olarak çözülebiliyordu. Günümüzde ise bu denklemlerin çözümü paket programlar yardımıyla yapılmaktadır.

CFD kodlar içinde bu denklemlerin çözümü farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Ansys CFX sonlu hacimler yöntemine göre çözüm üretmektedir. Bu teknikte çözüm alanı kontrol hacmi olarak adlandırılan küçük bölümlere ayrılmaktadır. Denklemler her bir kontrol hacmi için ayrıştırılarak iteratif olarak çözülmektedir. Sonuç olarak her kontrol hacmindeki değişkenler tüm domain içinde baştan sona tespit edilmektedir. Böylece akışın davranışı tespit edilmiş olur.

CFD Analizlerde takip edilecek prosedür Şekil 8'deki gibidir.



Şekil 8. CFD Analizinde Uygulanan Prosedür

### 3.1. Akış ve Isı Transferi İçin Korunum Denklemleri

Korunum denklemleri kartezyen koordinatlarda en genel haliyle aşağıdaki gibidir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\rho u_j] = 0$$

Momentum denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} [\rho u_i u_j + p \delta_{ij} - \tau_{ji}] = 0, \quad i = 1, 2, 3$$

Enerji denklemi;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho e_0) + \frac{\partial}{\partial x_j} [\rho u_j e_0 + u_j p + q_j - u_i \tau_{ij}] = 0$$

Bu çalışma da basamaklı yüzeyler için akış türbülanslı olduğundan türbülanslı akış için geçerli olan korunum denklemleri aşağıdaki gibidir. Türbülans modeli olarak k-Epsilon modeli seçilmiştir.

Türbülans modelinde değişkenler ortalama değer ve salınım değerinin toplamı olarak ifade edilirler.

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad w = \bar{w} + w', \quad p = \bar{p} + p', \quad T = \bar{T} + T'$$

Burada herhangi bir x değişkeni için  $\bar{x}$  değeri x'in ortalama,  $x'$  değeri ise çalkantı değeridir ve bu iki değer aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\bar{x} = \frac{1}{t} \int_0^t x dt \quad \text{ve} \quad \frac{1}{t} \int_0^t x' dt \quad (1.1)$$

Kartezyen koordinatlarda 3 boyutlu, sürekli rejimde türbülanslı akışı ifade eden denklemler aşağıdaki gibidir.

Süreklilik:

$$\frac{\partial(\bar{\rho u})}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{\rho v})}{\partial y} + \frac{\partial(\bar{\rho w})}{\partial z} = 0 \quad (1.2)$$

x-Momentum:

$$\left( \frac{\partial(\overline{\rho u u})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v u})}{\partial y} + \frac{\partial(\overline{\rho w u})}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \rho \cdot g_x + \frac{\partial}{\partial x} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \quad (1.3)$$

y-Momentum:

$$\left( \frac{\partial(\overline{\rho u v})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v v})}{\partial y} + \frac{\partial(\overline{\rho v w})}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \rho \cdot g_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) \quad (1.4)$$

z-Momentum:

$$\left( \frac{\partial(\overline{\rho u w})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v w})}{\partial y} + \frac{\partial(\overline{\rho w w})}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \rho \cdot g_z + \frac{\partial}{\partial x} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) \quad (1.5)$$

Enerji:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \overline{\rho u C_p \bar{T}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \overline{\rho v C_p \bar{T}} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \overline{\rho w C_p \bar{T}} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( (k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( (k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( (k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right) + Q_v \quad (1.6)$$



Burada  $\mu_t$  ve  $k_t$  sırasıyla türbülanslı eddy viskozitesi ve türbülanslı eddy iletkenliğidir. Bu terimlerin hesaplanabilmesi için türbülans kinetik enerjisi,  $k$  ve onun yayılma hızı  $\varepsilon$ ' un bilinmesi gerekmektedir. Türbülans kinetik enerjisi ve onun yayılma hızı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$k = \frac{1}{2} \left[ (u')^2 + (v')^2 + (w')^2 \right] \quad (1.7)$$

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{l_m} \quad (1.8)$$

$l_m$ , Prandtl'in karışım uzunluğudur. Jones ve Launder  $k$  ve  $\varepsilon$ ' nun çözümü için aşağıdaki transport denklemlerini kullanmışlardır.

$$\overline{\rho u} \frac{\partial k}{\partial y} + \overline{\rho v} \frac{\partial k}{\partial y} + \overline{\rho w} \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon \quad (1.9)$$

$$\begin{aligned} \overline{\rho u} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \overline{\rho v} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \overline{\rho w} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \\ &+ C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k} G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Burada,  $G$  türbülans kinetik enerjisinin üretimini temsil eder ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$G = 2 \left[ \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) \quad (1.11)$$

Diğer k-ε model sabitleri ise  $C_1=1.44$ ,  $C_2=1.92$ ,  $\sigma_k=1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon=1.3$ 'dür.  $\mu_t$  ve  $k_t$  1.9, 1.10 denklemlerin çözülmesi ve  $\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$  ile  $k_t = \frac{\mu_t C_p}{\sigma_t}$  denklemlerinde yerine konulmasıyla elde edilmektedir.

Burada  $\sigma_t$  türbülanslı Prandtl sayısındır ve Reynolds analojisine göre  $\sigma_t=0.9$ 'dur.  $C_\mu$  değeri ise 0.09'dur.

Burada kullanılan standart k-ε modeli, cidarda, hızın sıfır olmasından dolayı geçerli değildir. Bundan dolayı türbülanslı sınır tabakada hız profilini ifade etmek için cidar kanunu ve logaritmik cidar kanunu modelleri kullanılır. Cidara yakın laminer alt tabakada cidar kanunu, onun hemen üzerinde, logaritmik cidar kanunu kullanılır. Logaritmik cidar kanunu, cidardan belli bir mesafeden cidara paralel hız değerinin, cidar kayma gerilmesinin iteratif çözümüyle elde edilmesi ilkesine dayanır.

Cidar Kanunu:

$$U_{\delta} = \delta \frac{\tau_w}{\mu} \quad (1.12)$$

Logaritmik Cidar Kanunu:

$$\frac{U_{\delta}}{\sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{\delta}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \right) + B \quad (1.13)$$

Burada;

$U_{\delta}$  = Cidara paralel sınır tabaka hızı,

$\delta$  = Cidara dik mesafe,

$\tau_w$  = Akışkanın cidarda kayma gerilmesi,

$\rho$  = Akışkanın yoğunluğu,

$\kappa$  = Boyutsuz sabit,

$B$  = Boyutsuz sabit,

$\nu$  = Akışkanın kinematik viskozitesidir.

Cidar iletkenlik modeli için yüksek Prandtl sayılı ( $Pr > 0,1$ ) akışkanlarda genellikle Van Driest Modeli, sıvı metaller gibi çok düşük Prandtl sayılı akışkanlar içinse Spalding Modeli uygulanır.

**SST Türbülans Modeli ( k- $\omega$  temelli)**

$$v_t = \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)}$$

Burada;

$$v_t = \mu_t / \rho$$

S : Uzama Oranı

F<sub>2</sub>: Karışım fonksiyonu

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4)$$

$$\arg_1 = \min \left( \max \left( \frac{\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500v}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho k}{CD_{kw} \sigma_{w2} y^2} \right)$$

v : Kinematik vizkozite

y: Duvardan uzaklık

$$CD_{kw} = \max \left( 2\rho \frac{1}{\sigma_{w2} \omega} \nabla k \nabla \omega, 1.10^{-10} \right)$$

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2)$$

$$\arg_2 = \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500v}{y^2 \omega} \right)$$

### 3.1. Termofiziksel Özellikler

Analizlerde sıkıştırabilirlik etkileri ihmal edilecektir. Bununla birlikte, değişen sıcaklıklardan, akışkanın termofiziksel özelliklerinde sürekli bir değişme olacağından dolayı, bu etkinin dikkate alınması gerekmektedir. Akışkanın özelliklerinin sıcaklıkla değişimi aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır.

$$Gaz\_Sabiti = \frac{D_2}{D_0 D_1} \quad (1.14)$$

$$\rho = \rho_0 \left[ \frac{\left( \frac{P}{D_2} \right)}{\left( \frac{T}{D_1} \right)} \right] \quad (1.15)$$

$$\mu = \mu_0 \left[ \left( \frac{T}{V_1} \right)^{1.5} \left( \frac{V_1 + V_2}{T + V_2} \right) \right] \quad (1.16)$$

$$k = k_0 \left[ \left( \frac{T}{C_1} \right)^{1.5} \left( \frac{C_1 + C_2}{T + C_2} \right) \right] \quad (1.17)$$

Burada,  $\rho_0$ ,  $\mu_0$  ve  $k_0$ , referans sıcaklıktaki ( $T_0$ ), yoğunluk, dinamik viskozite, ısı iletim katsayısı değerleridir. Bu ifadelerdeki  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $C_1$  ve  $C_2$  değerleri, ilgili tablolardan çözümlerin yapılacağı sıcaklık aralıklarındaki değerlerin alınması ve bu noktalara yakın bir eğri uydurulması suretiyle hesaplanabilir. Hava içinde özelliklerin değişimi bu denklemler vasıtası ile hesaplanabilir. Ancak hava ısı transferi uygulamalarında çok sık kullanılan bir akışkan olduğundan sıcaklıkla özelliklerin değişimi ANSYS CFX programında mevcuttur.

## 3.2. Modelleme ve Çözüm Metodu

### 3.2.1. Tanımlanan Boyutlar ve Boyutsuz Sayılar

- Reynolds Sayısı (Re) :

$$Re = \frac{U.L}{\nu} \quad (1.18)$$

Burada;

U: Hava hızı [m/s]

$\nu$  : Havanın kinematik viskozitesi [ $m^2/s$ ]

L: Karakteristik uzunluk [m]

- Stanton Sayısı [St] :

$$St = \frac{h}{\rho.U.C_p} \quad (1.19)$$

Burada;

h : Isı taşınım katsayısı [ $W/m^2.K$ ]

$\rho$  : Havanın yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]

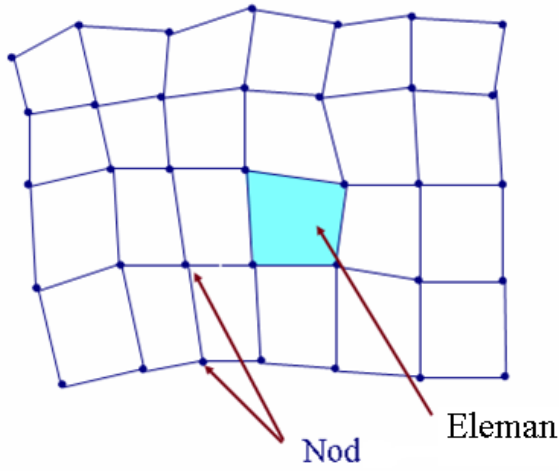
U : Hava hızı [m/s]

$C_p$  : Sabit basınçta özgül ısı [ $kJ/kg.K$ ]

### 3.2.2 Çözüm Metodu ve Yakınsama Kriterleri

Akış alanı içerisinde hız ve sıcaklık dağılımlarının bulunabilmesi için yukarıda verilen korunum denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Burada denklemler ANSYS CFX programı kullanılarak çözülecektir. Ansys CFX Sonlu hacimler yöntemi ile çözüm yapan bir koddur.

### 3.2.3. Sonlu Hacimler Yöntemi



Şekil 9. Çözüm Ağı

### 3.2.4. Ayrıklaştırma

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (1.20)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + S_{u_i} \quad (1.21)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k_{eff} \left( \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) \right) + S_\phi \quad (1.22)$$

$$\mu_{eff} = \mu_{dinamik} + \mu_{türbülans} \quad (1.23)$$

$$k_{eff} = k_{moleküler} + k_{türbülans} \quad (1.24)$$

Burada;

$u_i$  : Hız [m/s]

$P$  : Statik basınç [Pa]

$\rho$  : Yoğunluk [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\mu_{eff}$  : Efektif viskozite [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

$\Gamma_{eff}$  : Efektif kinetik enerji

Bu kısmi diferansiyel denklemler kontrol hacmi üzerine integre edilirse;

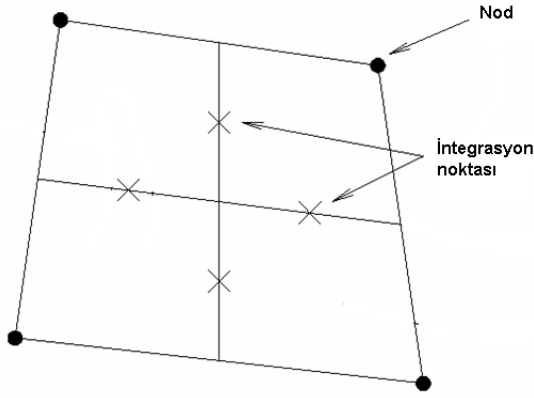
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho dv + \int_s \rho u_j dn_j = 0 \quad (1.25)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho u_i dv + \int_s \rho u_j u_i dn_j = -\int_s P dn_j + \int_s \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) dn_j + \int_v S_{u_i} dv \quad (1.26)$$



$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v \rho \phi dv + \int_s \rho u_j \phi dn_j = \int_s \Gamma_{eff} \left( \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) dn_j + \int_v S_\phi dv \quad (1.27)$$

v ve s sırasıyla hacim ve yüzey integrallerini göstermektedir.  
 dnj : Yüzey normaline dik olan komponent



**Şekil 10. Çözüm Ağı İçinde İntegrasyon Noktaları ve Nodlar**

Ayrıklaştırılmış denklemler;

$$\rho V \left( \frac{\rho - \rho^o}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} (\rho u_j \Delta n_j)_{ip} = 0 \quad (1.28)$$

$$\rho V \left( \frac{u_i - u_i^o}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} m_{ip} (u_i)_{ip} = \sum_{ip} (P \Delta n_i)_{ip} + \sum_{ip} \left( \mu_{eff} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \Delta n_j \right)_{ip} + \bar{S}_{u_i} V \quad (1.29)$$

$$\rho V \left( \frac{\phi - \phi^o}{\Delta t} \right) + \sum_{ip} m_{ip} \phi_{ip} = \sum_{ip} \left( \Gamma_{eff} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \Delta n_j \right)_{ip} + \bar{S}_\phi V \quad (1.30)$$

$$m_{ip} = (\rho u_j \Delta n_j)_{ip}^p$$

V : Kontrol hacmi

$\Delta n_j$  : Yüzey vektörü

$\Delta t$  : Zaman adımı

$ip$  : İntegrasyon noktası

Çözümler sırasında yakınsama kriterleri

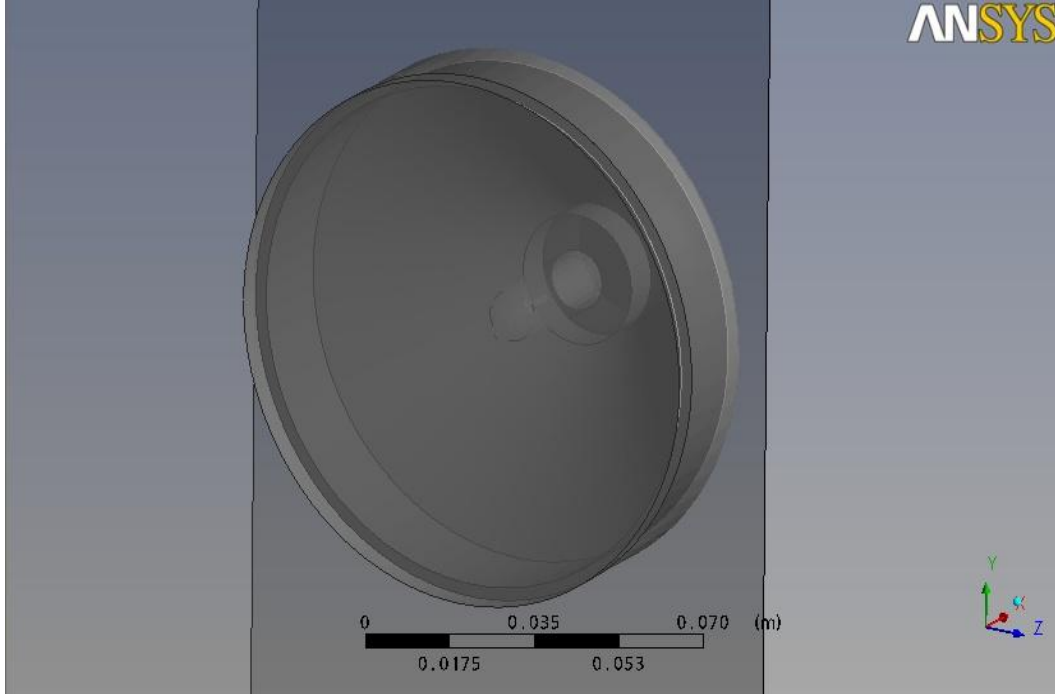
1. x ,y ve z yönündeki hızlar için :  $10^{-4}$
2. Basınç için :  $10^{-4}$
3. Türbülans kinetik enerjisi (k) için :  $10^{-4}$
4. k'nın yayılma hızı ( $\epsilon$ ) için :  $10^{-4}$
5. Sıcaklık için :  $10^{-4}$

alınacaktır.

### 3.3. Sis Farı Üzerinde Analiz Ayarlamalarının Yapılması ve Çözümler

#### 3.3.1 Simülasyon Düzenneği

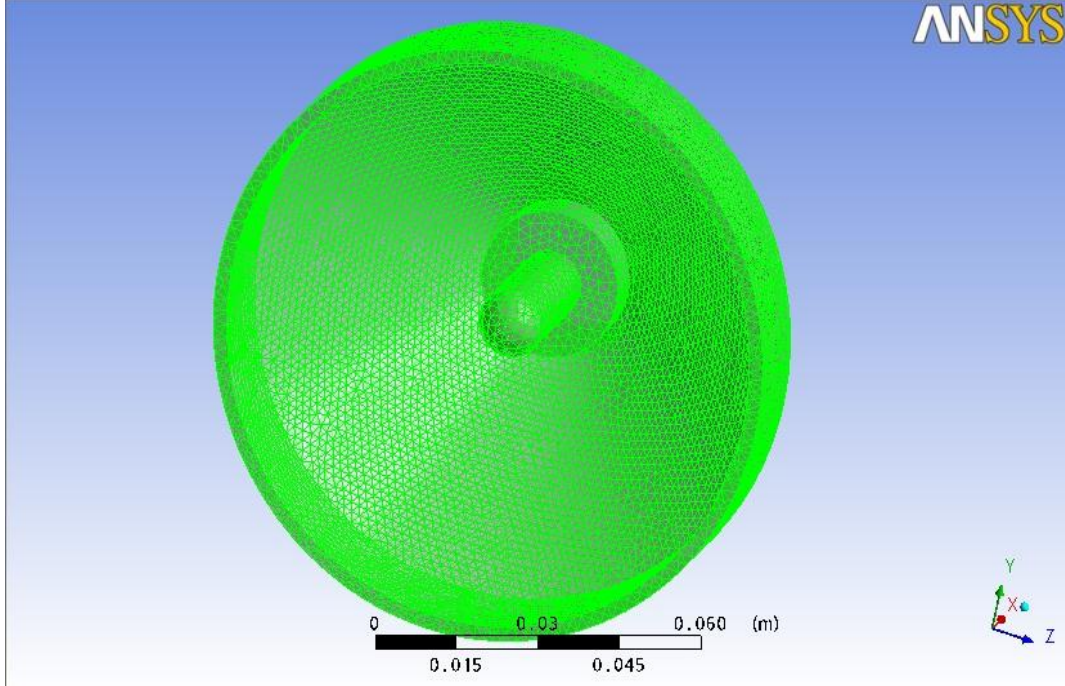
Far ampulün bağlı olduğu duy, gövde ve lensi içermektedir. Şekil 11’de CAD modeli görölmektedir. Gövdenin iç yüzeyi yansıtıcı özellikte olup orijinal malzeme ve cam olmak üzere iki farklı lens malzemesi kullanılmaktadır. Far dışında olan dış ortam da modellenerek hesaba katılmaktadır.



Şekil 11. Sis Farı CAD Modeli

Yüzeye yakın bölgelerde daha doğru sonuçlar elde edebilmek için, daha iyi bir sonlu hacimler metodu oluşturmak gerekmektedir. Düğüm noktalarının ve elemanların sayısının artışı çözüm süresinin uzamasına neden olacaktır. Yeterli bilgisayar kapasitesi yoksa optimum bir yapı oluşturmak gerekebilir.

Daha isabetli sonuçlar ve rahat çözüm elde edilebilmesi için geometri oldukça iyi bir şekilde meshlenmiş ve gerekli sonlu hacimler modeli kontrolleri yapılarak optimum seviyeye getirilmiştir. Şekil 12’de ampul, duy ve gövdenin sonlu elemanlar modeli görölmektedir.



**Şekil 12. Gövde, Duy ve Ampulün Sonlu Hacimler Modeli**

### 3.3.2. Fiziksel Modeller

Far termal analizlerinde ısı transferini üç şekilde ele almak gerekmektedir. Bunlar; ışınım ile olan ısı transferi, taşınım ile olan ısı transferi ve iletimle olan ısı transferidir.

#### 3.3.2.1 Taşınım ile Isı Transferinin Modellenmesi

Taşınım ile olan ısı transferini karakterize etmek için ısı denklemi Eşitlik.1 'deki gibi tanımlanmaktadır. [Preihs E. 2006].

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-k\nabla T + \rho c_p T u) = Q \quad (1)$$

Burada  $c_p$  akışkanın özgül ısısını,  $\rho$  akışkanın yoğunluğudur. Parantez içerisinde ki kısım ısı akısı vektörünü,  $Q$  ise kaynağı temsil etmektedir. Isı akısı vektörü, difüzyonu ve taşınımı içermektedir. Hız alanı  $u$ , Navier-Stokes denkleminde gelmektedir.

Isı denklemi, enerjinin korunumunu temel almaktadır. Yukarıda Eşitlik.1 'deki ifade de enerjideki değişim; ısı kaynağından, ısı akısı vektörünün diverjansının çıkarılmasına eşittir.

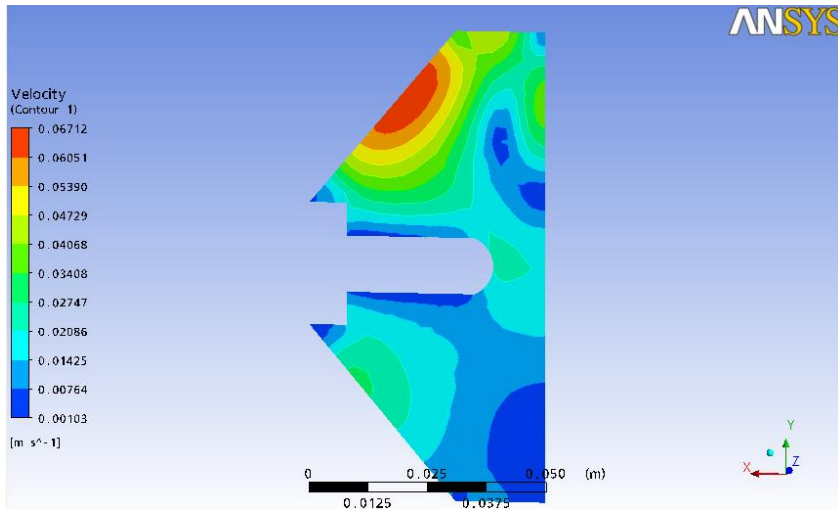
### 3.3.2.2. Akışın Modellenmesi

Akışın modellenmesinde denge durumu için kütle, enerji ve momentumun korunumu denklemlerinden sıkıştırılabilir akışkanlar için faydalanılabilir. Bu ifadeler Eşitlik.2' de belirtilmektedir. [Fischer P. 2005]

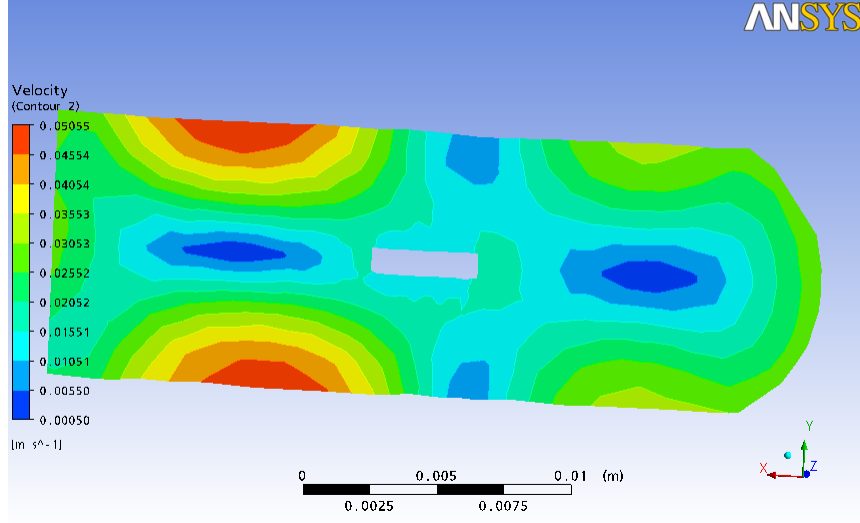
$$\begin{aligned}\nabla(\rho u) &= 0 \\ (\rho u \nabla)u &= -\nabla p + \nabla \tau + B \quad (2) \\ \nabla(\rho u H) &= \nabla(k \nabla T - q_{rad})\end{aligned}$$

Burada  $\tau$  viskoz etkileri, son satır kaldırma kuvvetinden kaynaklanacak taşınım akışını, son terim de enerji kaynağını belirtmektedir. Viskoz ısıtma göz ardı edilmektedir.

Doğru bir tanımlama için ampul içindeki gaz argon ve gövde içindeki gaz hava olarak tanımlanmıştır. Bu iki bölgede elde edilen hız değerleri Şekil.13' de ve Şekil.14' de gösterilmektedir.



Şekil 13. Gövde İçerisindeki Havanın Hız Dağılımı



**Şekil 14. Ampul içerisindeki Argon gazının hız dağılımı**

### 3.3.2.3 İletimin Modellenmesi

Katı bölgelerde gerçekleşen iletim için Eşitlik.3' deki basitleştirilmiş enerji denklemini kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_p T) = \nabla(\lambda \nabla T) + S_E \quad (3)$$

Burada  $\rho$  yoğunluk,  $c_p$  özgül ısı,  $\lambda$  termal iletim katsayısını göstermektedir.

### 3.3.2.4 Radyasyonun Modellenmesi

Radyasyonla olan ısı transferi sıcaklığın dördüncü kuvvetiyle ilişkili olduğundan dolayı yüksek sıcaklığın bulunduğu problemlerde çok fazla önem arz etmektedir. Düşük ısı transferi katsayısına sahip parçalarda radyasyonla olan ısı transferi, toplam ısı transferinin en büyük kısmını oluşturmaktadır.

Radyasyonla olan ısı transferini hesaplamak için ışın takibi tekniğinden faydalanılıp Monte-Carlo metodu çözüm için kullanılmaktadır. Bu istatistiksel bir metottur ve ışınların takip ettiği yollar bir tarihçede biriktirilmektedir. Bu tarihçe ne kadar geniş tutulursa o denli iyi sonuç elde etmek mümkün olmaktadır. Hesaplama yapılan bilgisayarın hafıza durumuna göre optimum bir seviyeye

ayarlamak faydalı olacaktır. Karmaşık radyasyon problemlerinin çözümünde Monte-Carlo metodu oldukça çok faydalanılan bir metottur. [Siegel R. 2002][Modest M. F. 1993]

Işınım ile olan ısı transferi  $Q_R$ , parça çapı  $d_p$ , uniform sıcaklık  $T_p$ , ve yayma katsayısı  $\epsilon_p$ , Eşitlik.4' de tanımlanmaktadır [Filipuzzi A. 2007].

$$Q_R = \frac{1}{4} \epsilon_p \pi d_p^2 (I - \sigma n T_p^4) \quad (4)$$

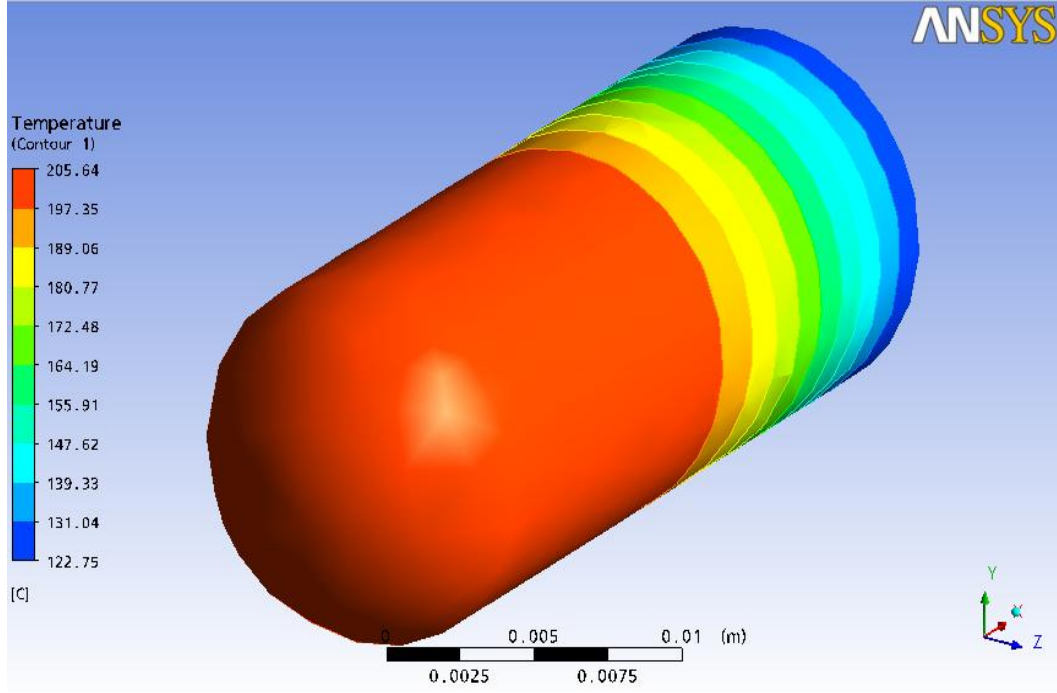
I burada partikül yüzeyindeki aydınlanma akısı, n akışkanın kırma indeksi ve  $\sigma$  ise Stefan-Boltzmann sabitidir.

### **3.4. Sis Farı Termal Analiz Sonuçları**

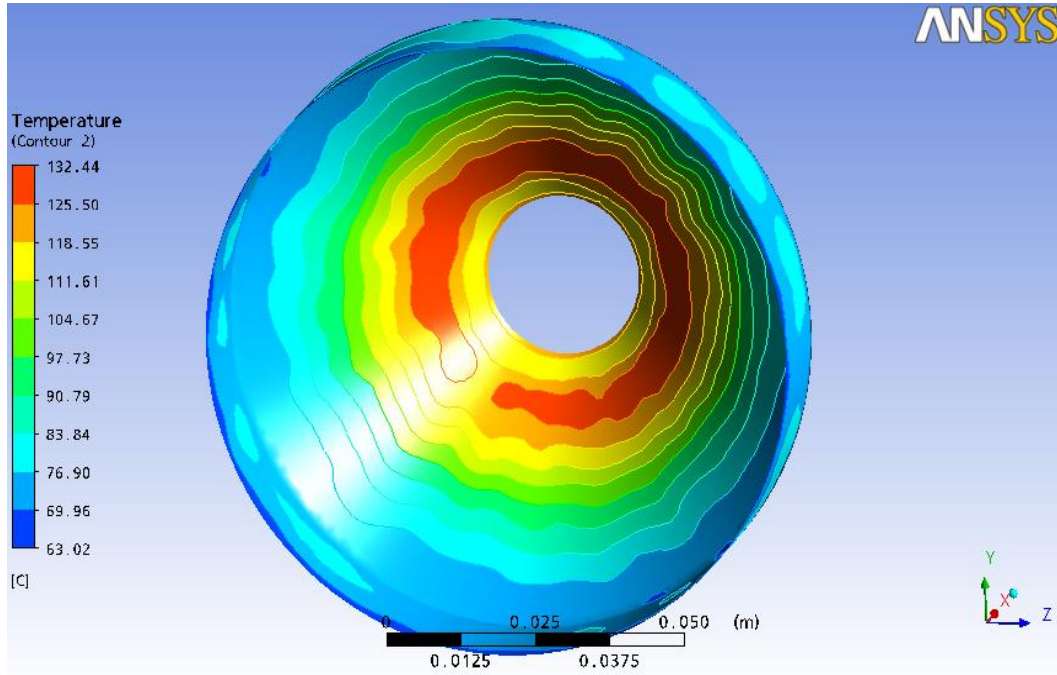
21W gücünde ampulün bulunduğu sis farında modelleme aşamasında filament kısmı yüzey olarak bırakılmış ve bu bölgeye hesaplanan ısı akışı uygulanmaktadır. Ampulün içinde argon gazı yer almakta, gövde içerisinde ve dışarısında 25 °C' de hava yer almaktadır. Sis farının dışarısındaki havada herhangi bir girdi söz konusu değildir ve doğal taşınım oluşmaktadır. Bu çalışmada iki farklı durum incelenmektedir. İlk durumda lens kısmı orijinal malzeme, ikinci durumda ise cam kullanılmaktadır. İki durumda da sistemin rejime ulaştığı noktadaki sonuçlara yer verilmektedir.

#### **3.4.1. Sis Farında Orijinal Lens Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar**

Ampul yüzey sıcaklığı Şekil.15'da görüldüğü gibi en yüksek 205.64 °C, gövdede en yüksek Şekil.16'de 132.44 °C olduğu ve lens malzemesinde de Şekil.17'de 109.51 °C gözlenmektedir.

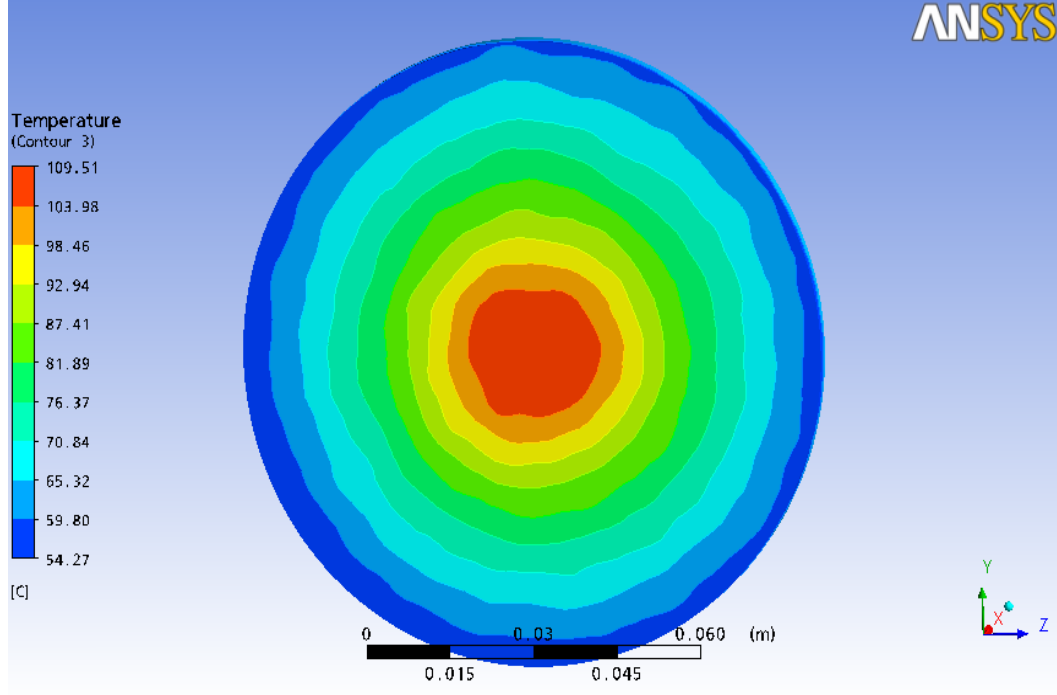


Şekil 15. Ampul yüzey sıcaklık dağılımı



Şekil 16. Gövdenin iç yüzeyinde sıcaklık dağılımı

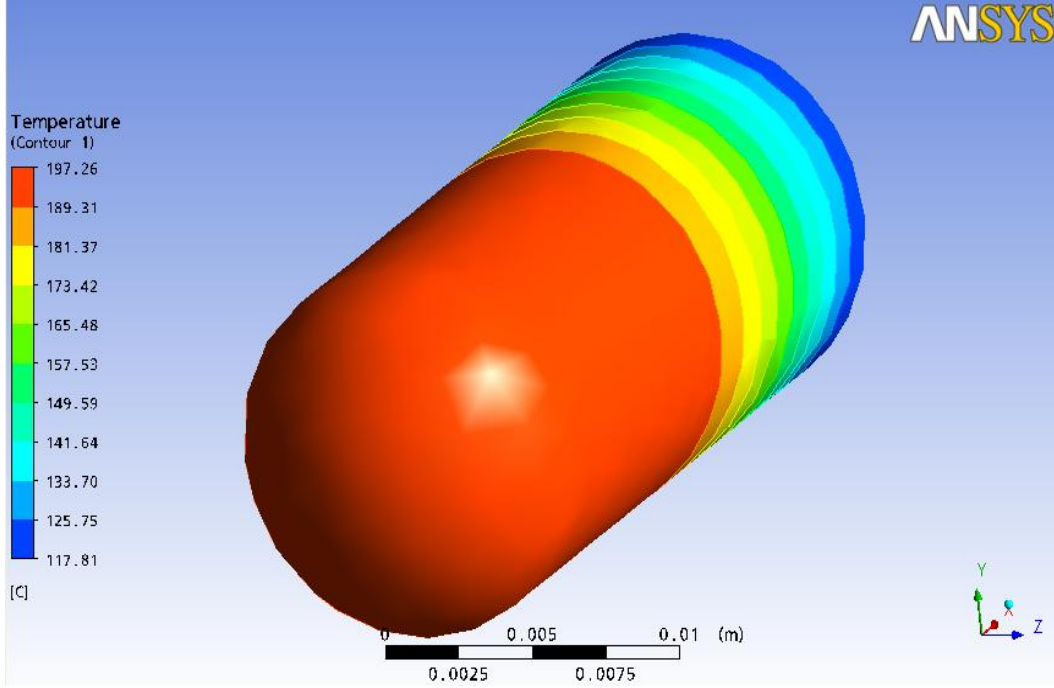




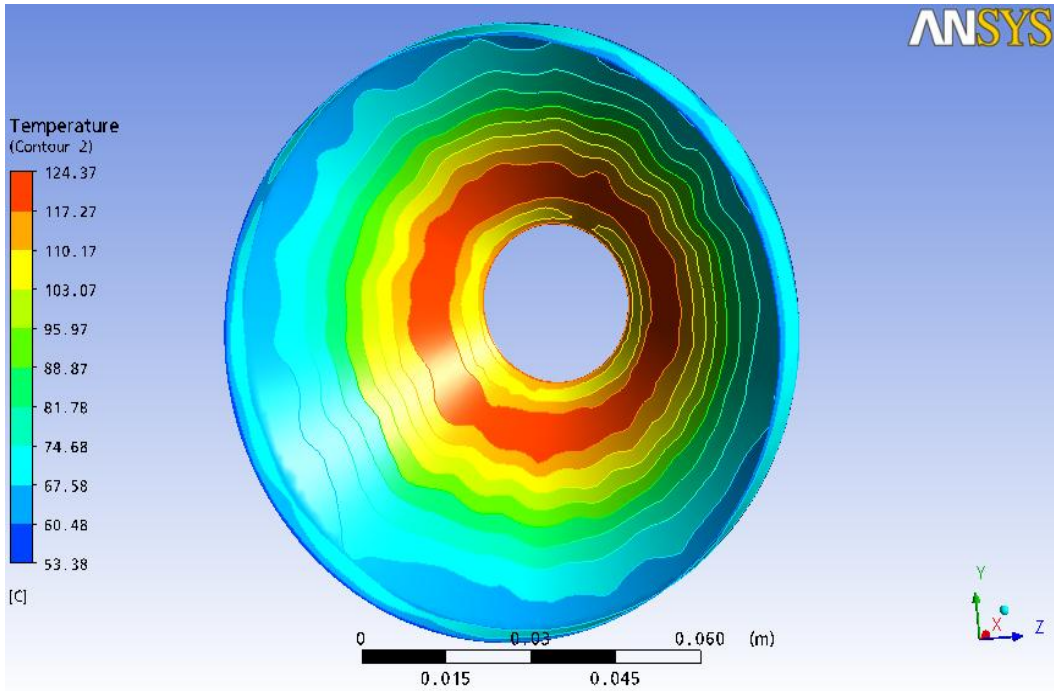
**Şekil 17. Lensin dış yüzeyinde sıcaklık dağılımı**

### **3.4.2. Sis Farında Lens Yerine Cam Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar**

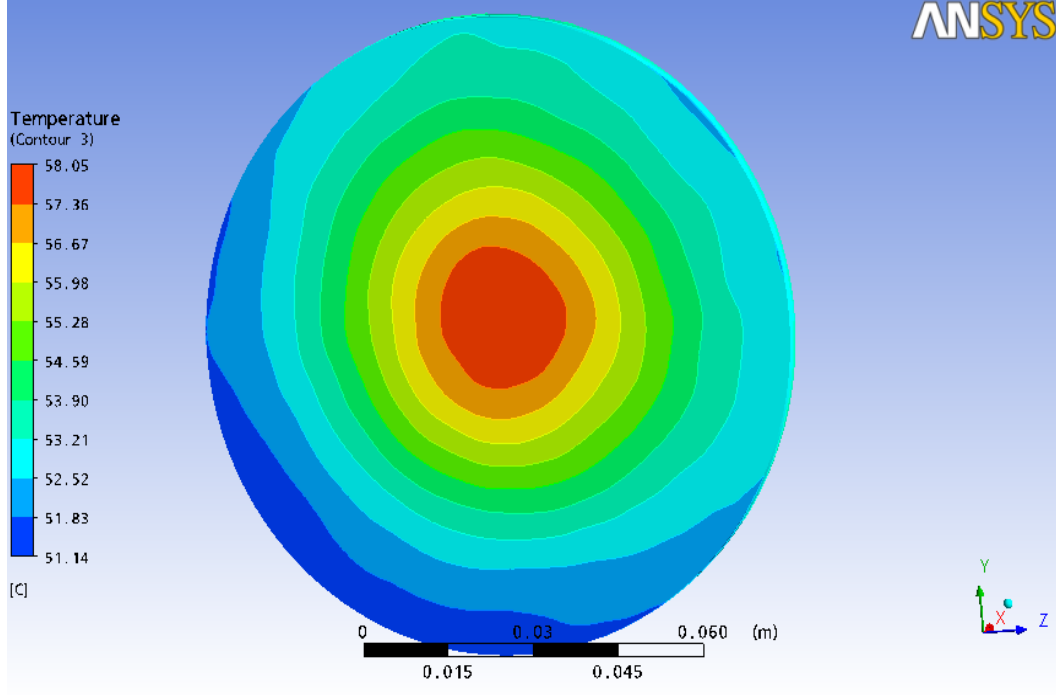
Ampul yüzey sıcaklığı Şekil.18’da görüldüğü gibi en yüksek  $197.26^{\circ}\text{C}$ , gövdede en yüksek Şekil.19’da  $124.37^{\circ}\text{C}$  olduğu ve lens malzemesinde de Şekil.20’de  $58.05^{\circ}\text{C}$  gözlenmektedir.



Şekil 18. Ampul yüzey sıcaklık dağılımı



Şekil 19. Gövdenin iç yüzeyinde sıcaklık dağılımı



**Şekil 20. Lensin dış yüzeyinde sıcaklık dağılımı**

### **3.5.Sonuç ve Değerlendirme**

Gelişen hesaplamalı akışkanlar dinamiği algoritmaları, otomobil aydınlatma sistemlerinde daha tasarım aşamasında, hiçbir prototip veya deney maliyeti oluşturmadan, tatmin edici doğrulukta sonuç vermektedir. Gelişen bilgisayar performansları ve yazılımlar ile çok kısa zamanda sonuç elde etmek mümkün olmaktadır. Bu sayede birçok değişik tasarım ve malzeme önceden analizleri yapılarak seçilebilir, maliyetler azaltılabilir, daha zorlu tasarımlar test edilebilir.

Bu çalışmada yapılan analizlerde, farklı lens malzemesi kullanıldığında oluşan etkiler incelenmektedir. Elde edilen bulgulardan görüldüğü üzere lens malzemesin geçirgenliği ve içinden geçen ışığı soğurması gibi özellikleri diğer parçaları da etkilemektedir. Bu yolla çok farklı malzemeler denenerek kullanılması gereken malzemenin tespiti önceden yapılabilir ve aynı malzemelerin kullanıldığı farklı geometrideki tasarımlar gözden geçirilebilir.

Lenste merkeze yakın yerde oluşan sıcak bölge, gövdenin ışınları o noktaya yoğunlaştırmasından ve radyasyonun emilimiyle oluşan bölge gözlenebilmektedir. Bu da radyasyonun Monte-Carlo yöntemi ile iyi bir çözümünün yapılabildiğinin göstergesi niteliğindedir. Gövde parçası üzerinde, ampulün üst kısmında kalan kesim ile alt kısmında kalan kesim arasında sıcaklık farkı olması da ısı taşınımının çözümünün iyi bir göstergesidir.

Sonuç olarak bir farda gerçekleşen tüm durumların, simülasyona aktarılması ve gerekli parametrelerin doğru kullanılması ile gerçeğe çok yakın sonuçlar alarak ürün geliştirme sürecinin hızlandırılması ve daha zorlu, modern tasarımların ortaya çıkması mümkün hale getirilmektedir.

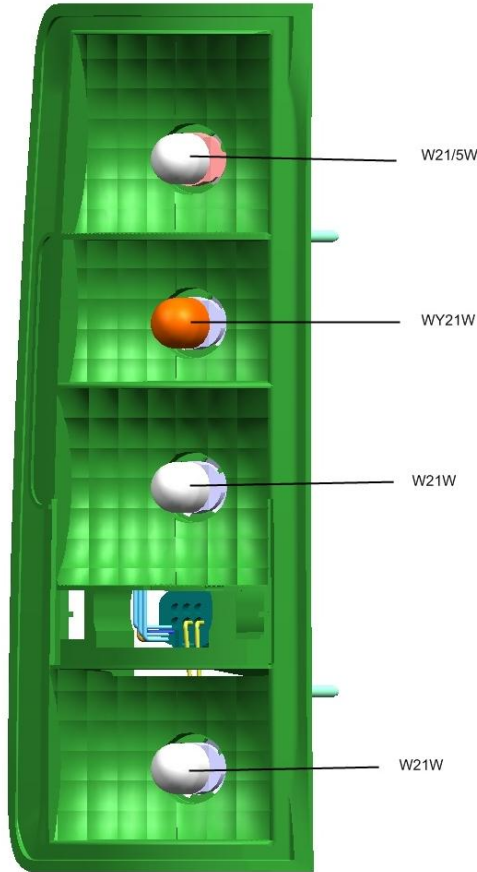
Sis farı modellemesi ve analizleri ile tezin konusu olan stop lambasının ön çalışmaları tamamlanmış, parametreler belirlenmiş ve hangi çözüm metotlarının kullanılacağına karar verilmiştir. Bu nispeten kolay model ile analiz şablonu oturtulmuştur. Buradan elde edilen çıktılar stop lambasının girdileri olacaktır. Aradaki farkı ise kompleks geometri, ampul sayısının çokluğu ve farklı odacıklar arasında dolaşmakta olan hava oluşturmaktadır. Ayrıca reflektör malzeme de burada kullanılarak hesaplamalarda reflektörün etkisi de görülmektedir.

Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri, ekler içerisinde tablolar halinde verilmektedir.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Aşağıda bir otomobil stop lambasının tüm ampullerinin açık olduğu durum için ve sadece tek ampulün açık olduğu gece kullanımı için olmak üzere iki durum incelenip sonuçlar test verileri ile kıyaslanmaktadır. Bunlara ilave olarak yan sinyal lambası için de analizler yapılmıştır.

##### 4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Modeli ve Ampul Güç Değerleri



Şekil 21. Analizlerde Kullanılan Stop Lambası Tasarımı

Ampuller yukarıdan aşağıya; W21/5W, WY21W, W21W, W21W olarak sıralanmaktadır. Rated watts : 21W olarak verilen fonksiyonların objektif değerleri 25W, 5W olarak verilen fonksiyon ise yine 5 W olarak alınabilir.

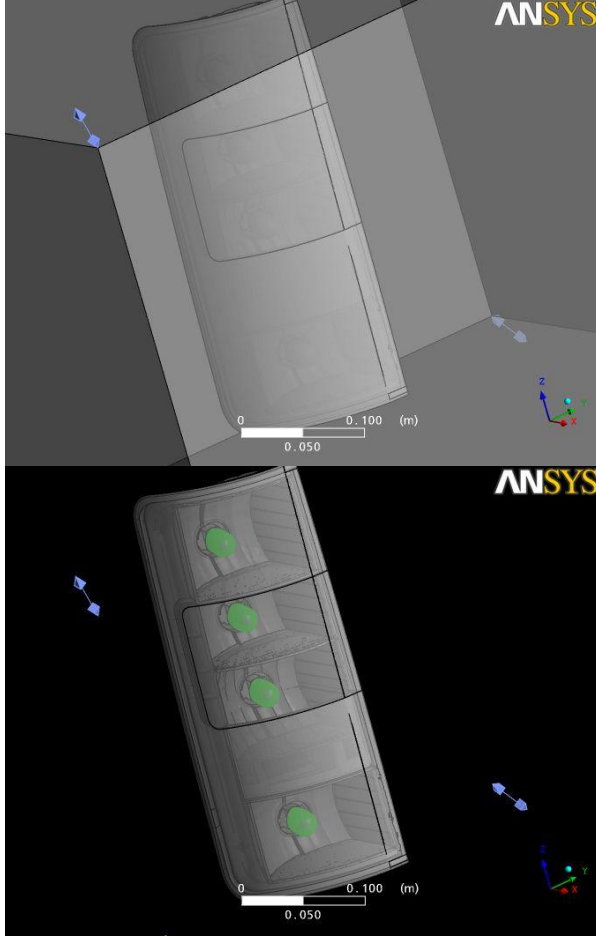
## 4.2. Çözümleme Yöntemi

Çözümde verilen CAD geometrisi kullanılarak elde edilen mesh yapısında toplam 757840 düğüm noktası, 659456 yüzey elemanı ve 3536091 adet tetrahedral hacim elemanı kullanılmıştır.

Çözüm algoritmasında Navier-Stokes denklemleri k-epsilon türbülans modeli ile birlikte doğal taşınım etkileri göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda hava özellikleri ideal gaz yaklaşımıyla değişken olarak ele alınmıştır.

Işınımla ısı transferi çözümlemesi Monte-Carlo metodu yaklaşımıyla yapılmıştır. Akışkan, ampul camı ve lens malzemeleri ışınımla ısı transferi için geçirgen ve yarı geçirgen ortam özellikleri kullanılarak etkileşimli ortamlar olarak göz önüne alınmıştır. Gövde ve reflektör kısımlarında yüzey kaplaması özellikleri göz önüne alınarak, gövdenin iç kısmı ve maskenin tamamı alüminyum ile kaplandığından üzerlerine gelen ışığın %65'ini yansıtmakta ve %35'ini yutmakta olduğu çözümlemede kullanılmıştır. Eklerde gövde, kırmızı lens, şeffaf lens ve duy malzemelerine ait tüm teknik bilgiler bulunmaktadır. Maske ile gövde aynı malzemedir. Ampul özellikleri olarak cam alınmıştır. Sadece ışık geçirgenliği %96' dır.

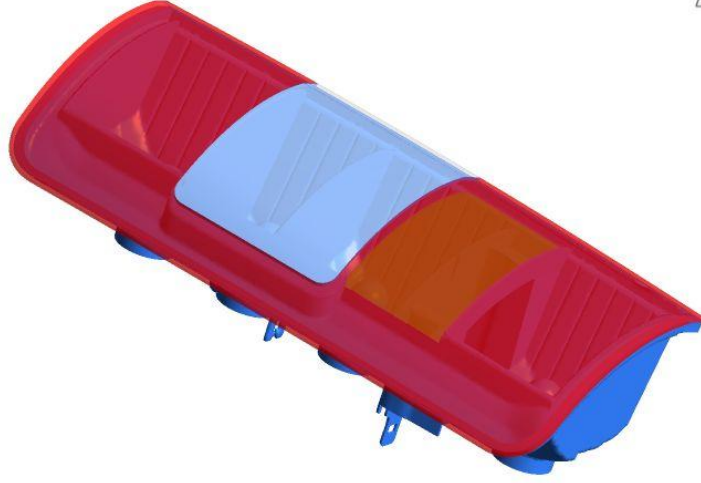
Yakınsama kriteri olarak bütün değişkenlere ait normalize edilmiş RMS değerlerinin  $10^{-4}$  olması yeterli görülmüştür. Bu kapsamda altta verilen sonuçlar yaklaşık 350 iterasyon sonucunda elde edilmiştir. Yakınsamış sonuçların elde edilmesi için yaklaşık 30 saatlik bir çözümleme zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 22 Ansys programına atılan geometrinin ve çözümleme hacminin katı modelini göstermektedir.



**Şekil 22. Farın katı modeli ve çözüm hacmi**

Şekil 23. çözümlemede kullanılan arka sinyal kutusunun elemanlarını göstermektedir. Sinyal kutusundaki elemanlar: Gövde, Duylar, Ampuller, Kırmızı Lens, Beyaz lens ve Reflektör olarak farklı renklerde görülmektedir.

ANSYS



0 0.025 0.050 0.075 0.100 (m)

ANSYS

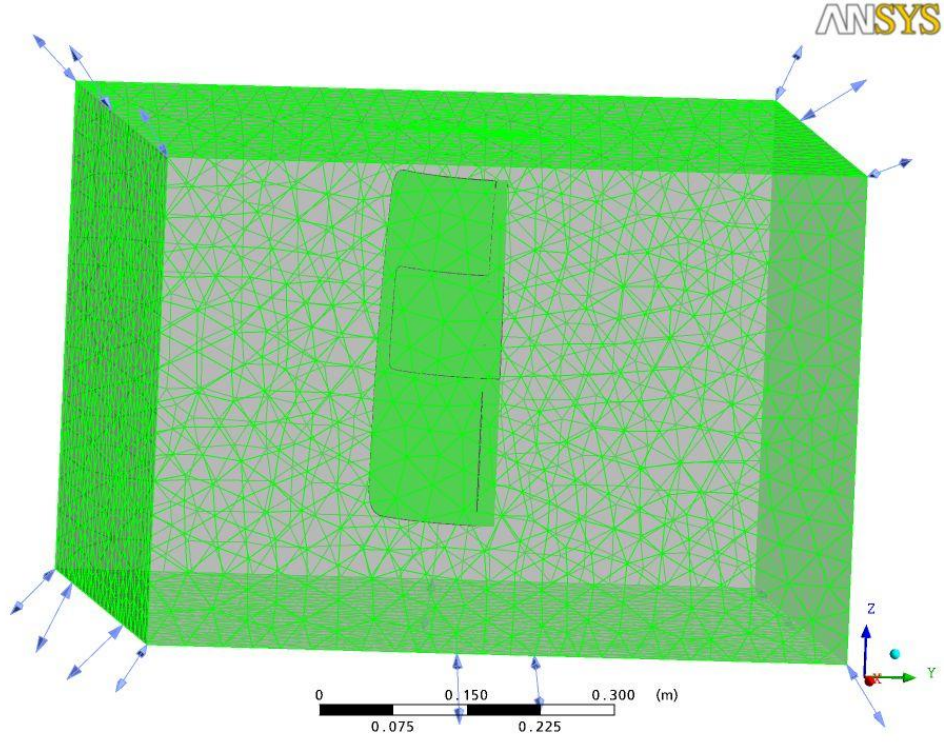


0 0.025 0.050 0.075 0.100 (m)

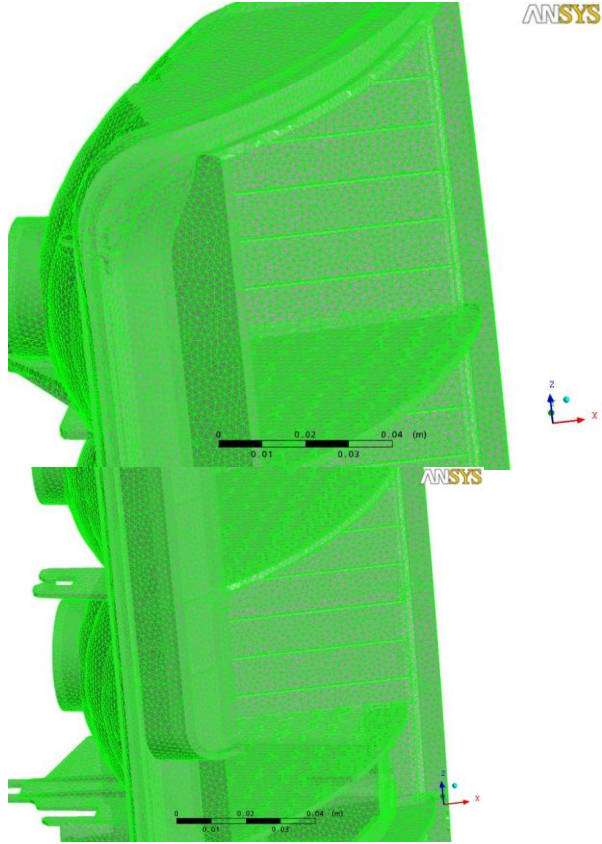
**Şekil 23. Arka sinyal kutusunu farklı görünüşleri**

Şekil 24, 25, 26 ve 27 çözüm alanı ve farklı elemanların yüzeylerindeki mesh yapısını göstermektedir. Geometrinin karmaşık yapısı ve mesh sıklığı bu şekillerden daha iyi anlaşılabilir.



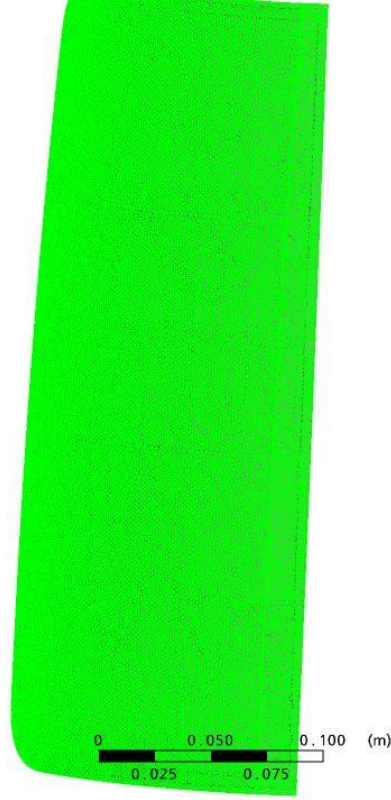


Şekil 24. Çözüm alanı mesh yapısı



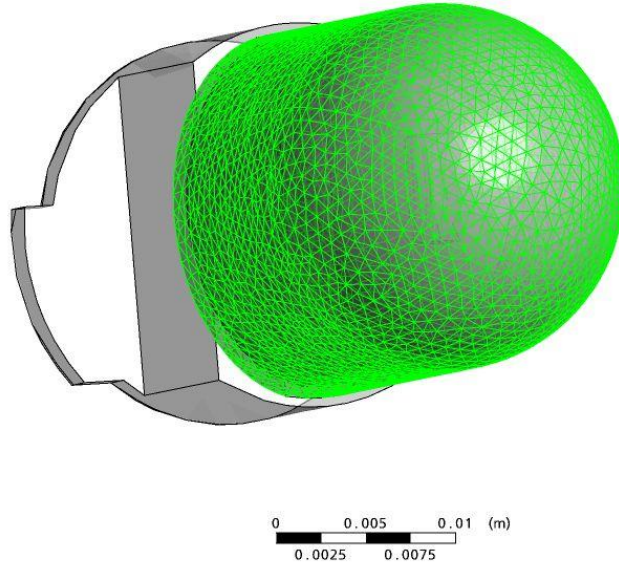
Şekil 25. Gövde yüzelerinin mesh yapısı

ANSYS



Şekil 26. Lens yüzeylerinin mesh yapısı

ANSYS



Şekil 27. Ampul yüzeylerinin mesh yapısı

Arka sinyal kutusu için çözümlenme iki farklı senorya için yapılmıştır:

1. Durum: Ampullerin hepsinin yandığı ve hepsinin 21 W gücünde olduğu kabul edilmiş ve ortam havasının 300 K sıcaklıkta olduğu durum ele alınmıştır.
2. Durum: Sadece fren ampulünün yandığı 25 W gücünde olduğu ve ortam havasının 300 K sıcaklıkta olduğu durum ele alınmıştır.

#### **4.2.1. Ampullerin Hepsinin Yandığı Durumdaki Sonuçlar**

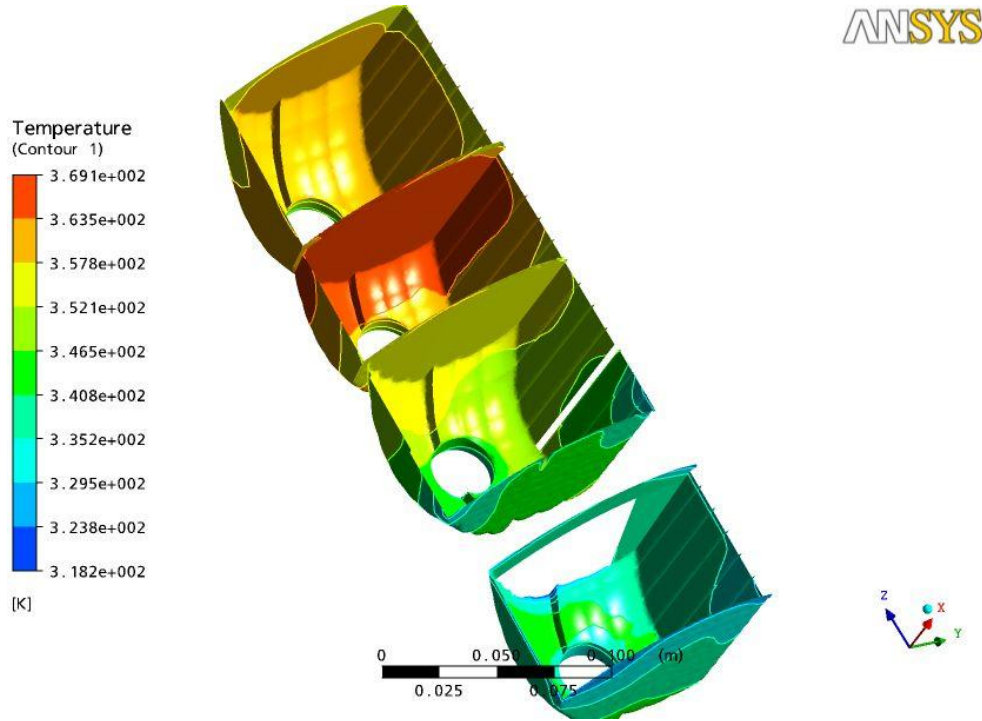
Bu kısımda verilen hesaplama sonuçlarında ampullerin hepsinin yandığı ve hepsinin 21 W gücünde olduğu kabul edilmiş ve ortam havasının 300 K sıcaklıkta olduğu durum ele alınmıştır.

##### **4.2.1.1 Gövde Parçasının Sonuçları**

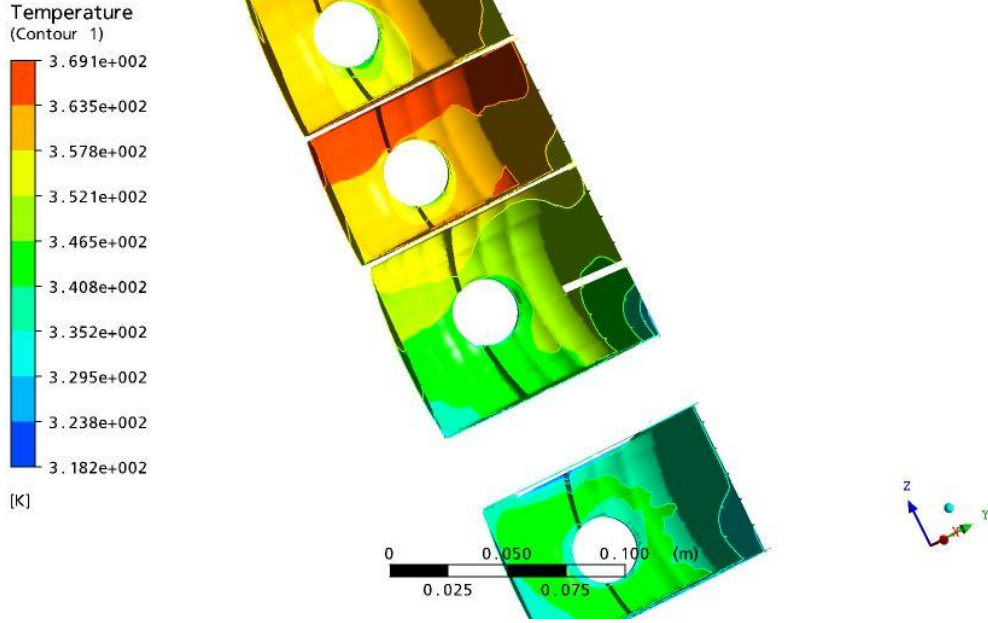
Şekil 28, 29, 30 ve 31 de gövde yüzeyleri üzerinde hava sıcaklığı dağılımından görüldüğü üzere gövdenin iç kısmında üstten birinci boşlukta ampulün hemen üst kısmında ve ikinci boşluğun büyük bir kısmında sıcaklık değerleri 84 °C derece civarında iken bölmeyi birinci boşluktan ayıran kısım üzerinde sıcaklık 96 °C derece değerlerine ulaşmaktadır. Üstten birinci boşluğun yüzeylerinin büyük kısmının sıcaklığı 82 °C ile 90 °C derece arasında değişmektedir. Alttan ikinci boşlukta ampulün üst kısmında kalan bölgede sıcaklık değerleri 78 °C ile 84 °C arasında değişirken diğer kısımları 70-78 °C derece aralığında olduğu görülmektedir. En alt boşlukta sıcaklık değerleri 55 °C ile 70 °C derece arasındadır. Birinci, ikinci ve üçüncü bölmelerde üst kısımlardaki sıcaklık artışına en büyük etkenin ışıının yanında doğal taşınım olduğu kolaylıkla söylenebilir.

Şekil 32, 33, 34 ve 35 de ise gövde yüzeylerinde malzemenin sıcaklık dağılımı görülmektedir. Görüleceği üzere ikinci bölmenin üst ve alt duvarlarında sıcaklık 114 °C dereceye kadar yükselmektedir. Diğer kısımlar yukarıdaki paragraftaki dağılımlarla paralellik göstermektedir.

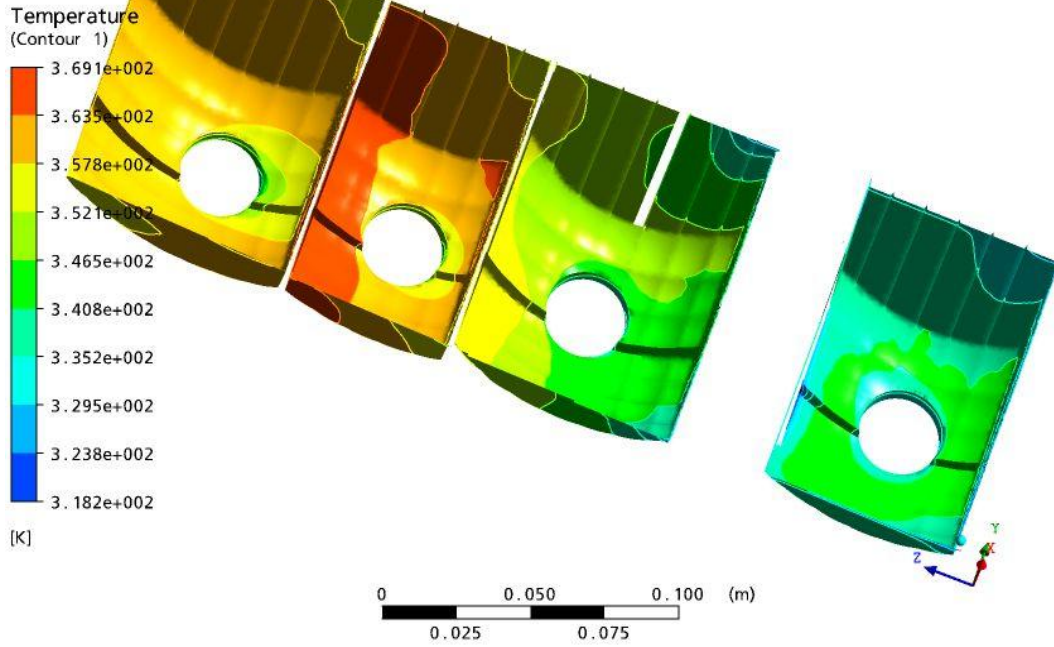
Nitekim en alt bölmede hava boşluğunun bulunması ısının hava tarafından bölmeden rahatlıkla uzaklaşmasını sağlamakta ve bu bölme diğerlerine göre en az sıcaklık artışının meydana geldiği kısım olmasına yol açmaktadır. Üstten ikinci bölmenin diğerlerine göre yüzey sıcaklığının daha fazla yüksek olması, bu bölmenin tasarım gereği diğerlerinden daha küçük olmasından dolayıdır. Bu bölmede hacim diğer bölmelere oranla daha küçük olduğu gibi yüzeyler de ampule daha yakındır. Ampule yakın olan yüzeylerde ışıınımdan dolayı daha fazla sıcaklık artışı gözlemlenmektedir. Bu bölmedeki sıcaklık farkının nedeni de bu sebeplerden dolayıdır.



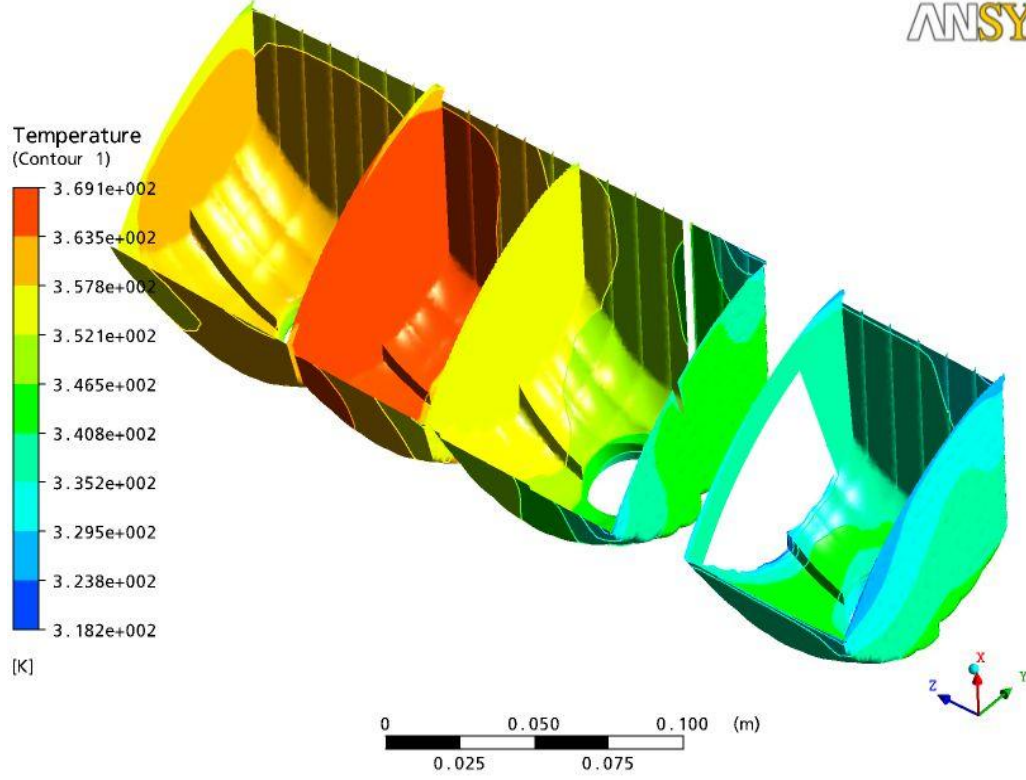
Şekil 28. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 1



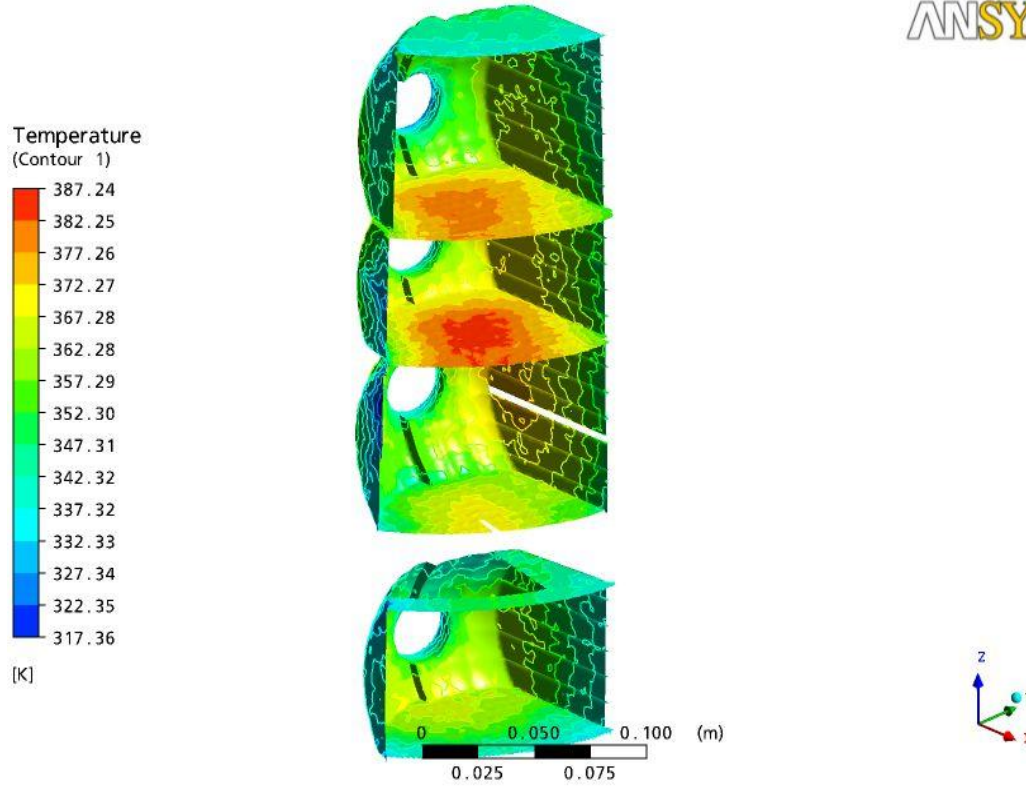
Şekil 29. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 2



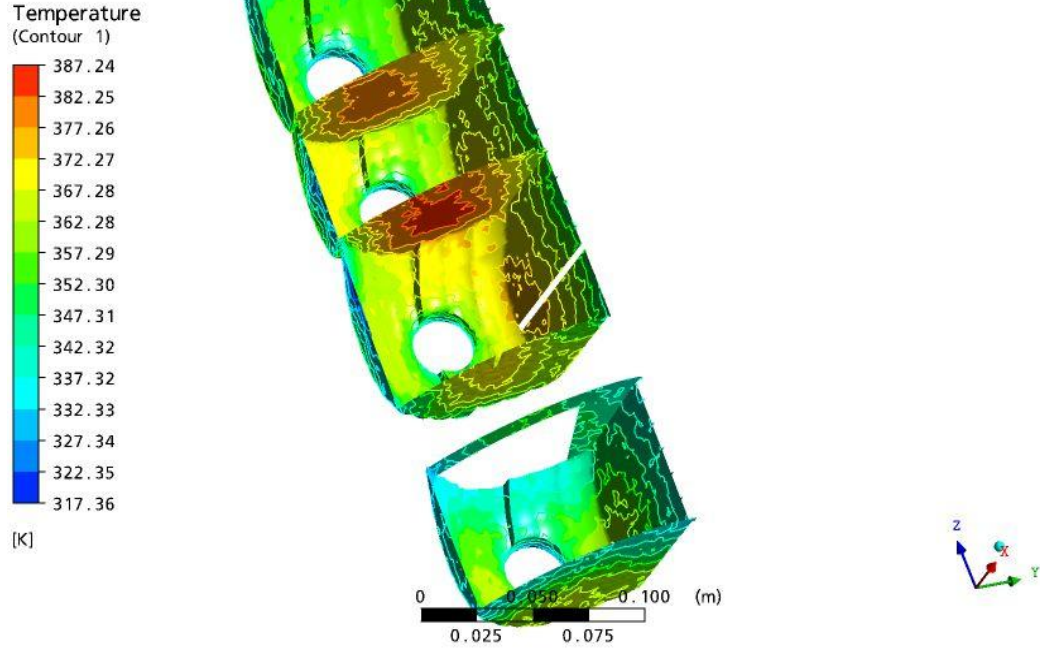
Şekil 30. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 3



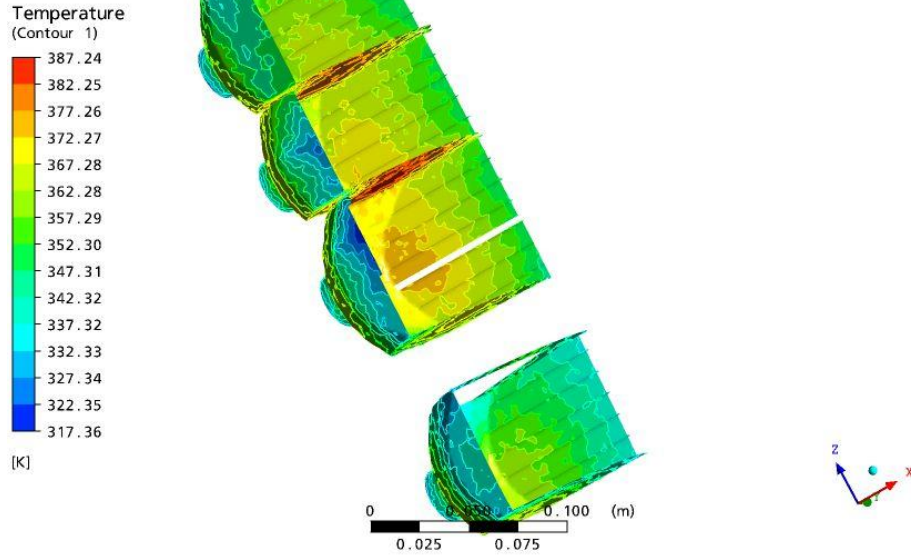
Şekil 31. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 4



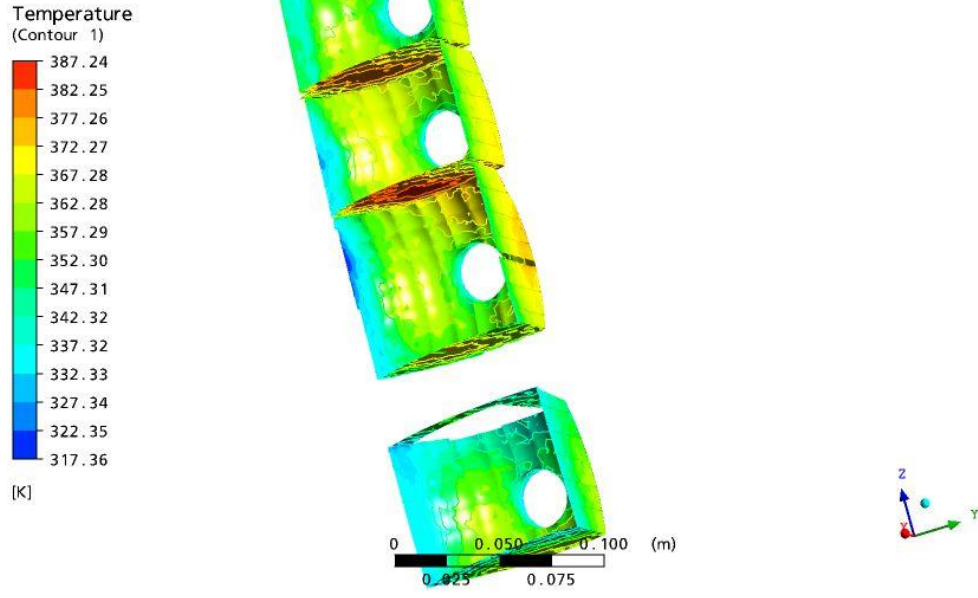
Şekil 32. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 1



Şekil 33. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 2



Şekil 34. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 3



Şekil 35. Gövde malzemesi üzerindeki havanın sıcaklık dağılımları görünüş 4



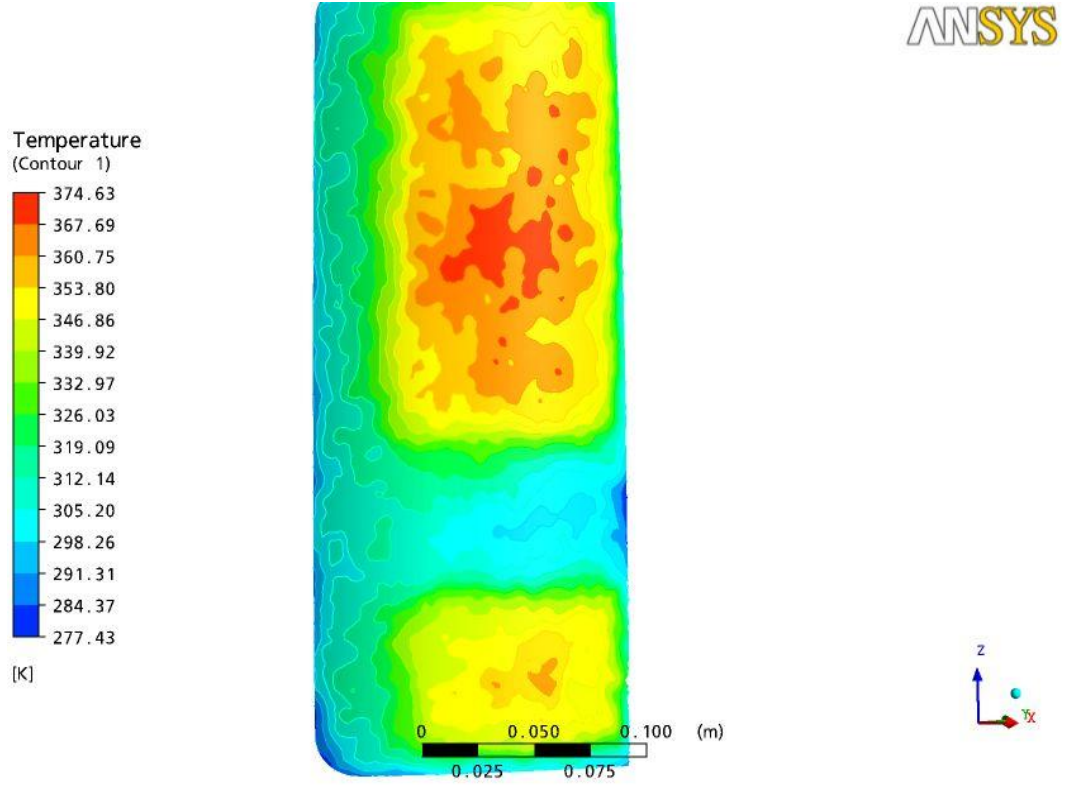
#### 4.2.1.2. Lensler Parçasının Sonuçları

Şekil 36 da lensler (Kırmızı ve Beyaz) üzerindeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Lenslerin üstten birinci ve ikinci boşluklara karşılık gelen kısımların ortasında bazı küçük bölgelerde sıcaklığın 101°C kadar yükseldiği görülmekte, bu kısımların ortasında genel olarak sıcaklık 77 °C ile 87 °C arasında değişmektedir. Ortadan kenarlara doğru gidildiğinde 77 °C 48 °C doğru azaldığı görülmektedir. En alt bölmeye karşılık gelen kısımda da en yüksek sıcaklık 80 °C kadar orta kısımda çok az bir bölgede oluşmakta, çoğunlukla 70 °C ila 80 °C arasında değişmektedir. Kenarlara doğru sıcaklık değerleri 30 °C kadar azalmaktadır. Hava boşluğunun ve kısmen reflektörün üzerine gelen kısımlarda sıcaklığın oldukça düşük olduğu görülmektedir. Beyaz lensin ışınım geçirme özelliği daha yüksek olmasına rağmen kırmızı lensten fazla ısınması gövde kısmındaki ikinci boşlukta meydana gelen sıcaklık artışının bir etkisi olarak açıklanabilir.

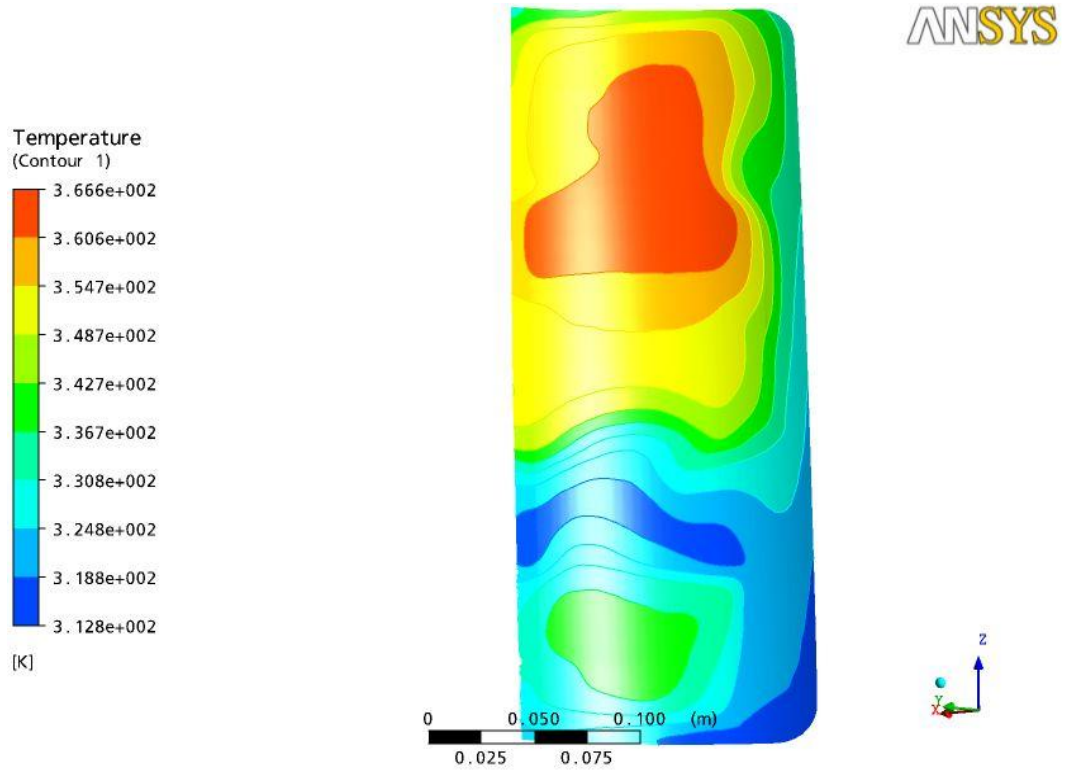
Şekil 37 de lens yüzeyinin iç tarafında lens yüzeyi ile temas eden hava sıcaklığını göstermektedir. Lens yüzey sıcaklığına paralel olarak üst kısımda hava sıcaklığı 93 °C kadar çıkmaktadır. Kenarlara doğru sıcaklık düşmektedir. En alt bölme üzerindeki kısımda maksimum hava sıcaklığı 69 °C olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçların Şekil 38 de verilen benzer bir far ile yapılan 3 saatlik ampullerin hepsinin açık olduğu bir test sonucundaki kızıl ötesi kamera resminden elde edilen sıcaklık değerleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

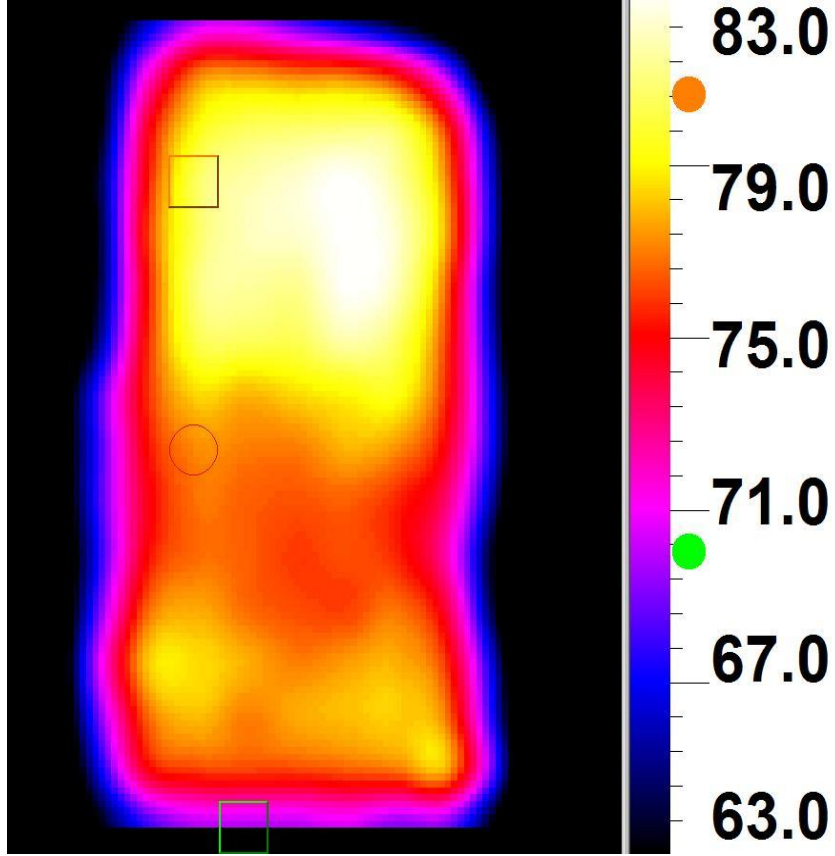
Şekil 39 da lenslerin iç yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerlerini göstermektedir. Isı taşınım katsayısı maksimum 4.6 W/m<sup>2</sup>K değerine kadar çıkmaktadır.



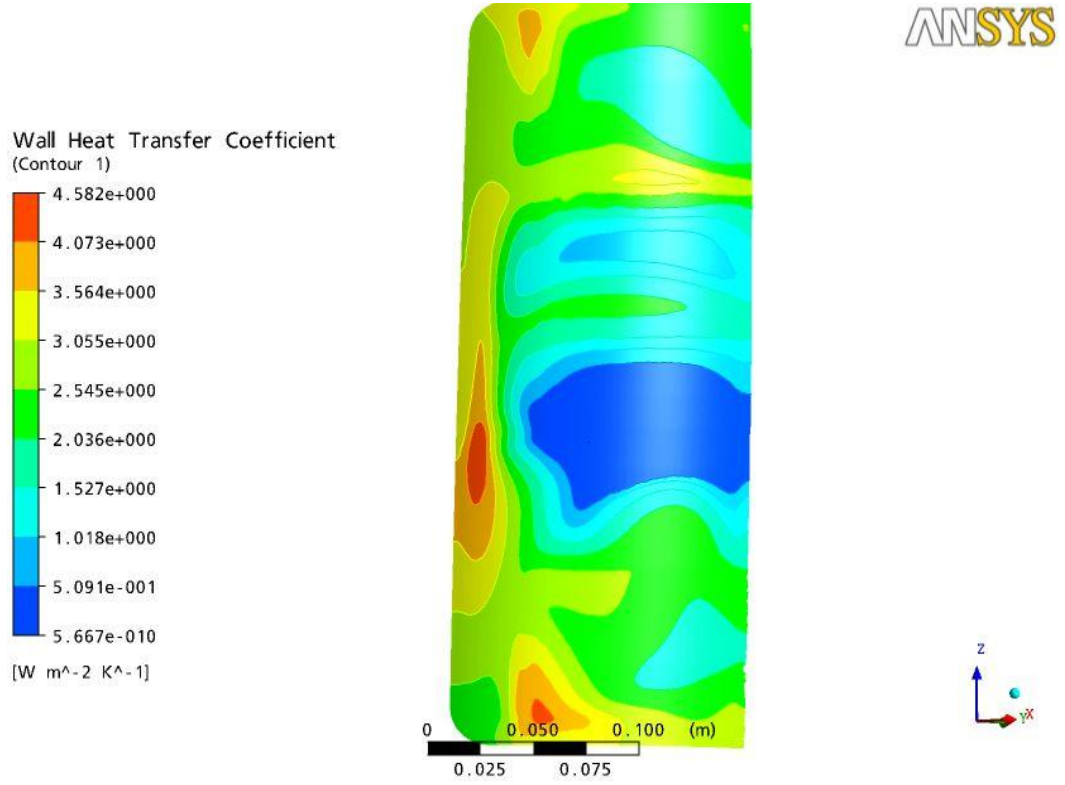
Şekil 36. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımları



Şekil 37. Lenslerin iç yüzeyindeki havanın sıcaklık dağılımı



Şekil 38. Benzer bir far ile yapılan testte alınan IR resmi

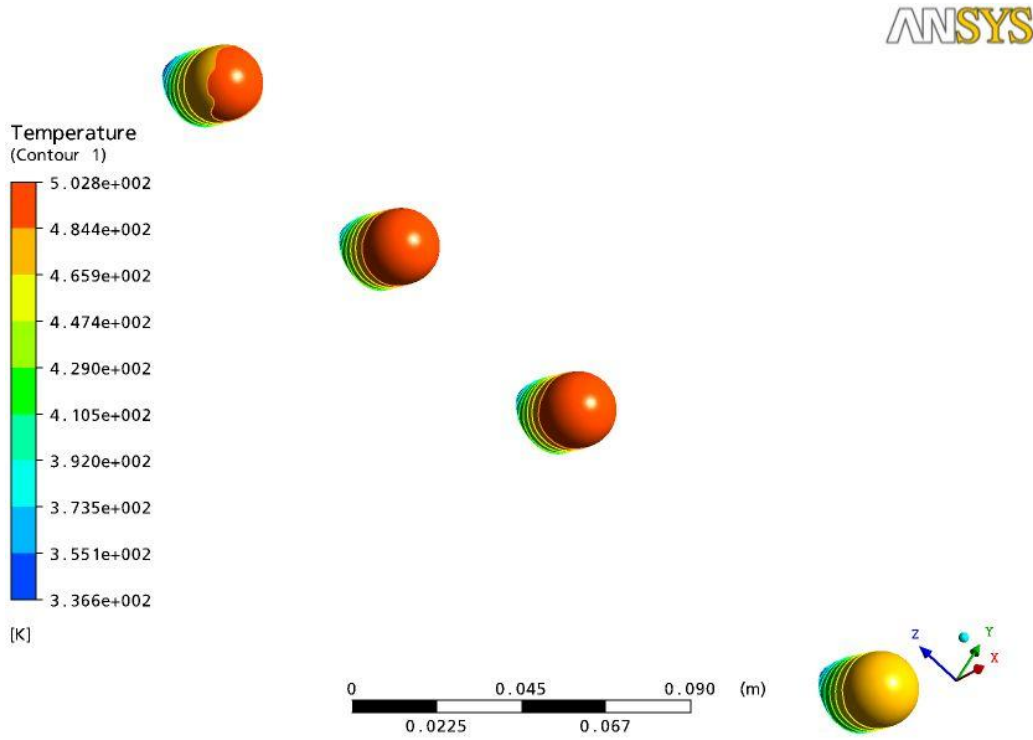


Şekil 39. Lenslerin iç yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerleri

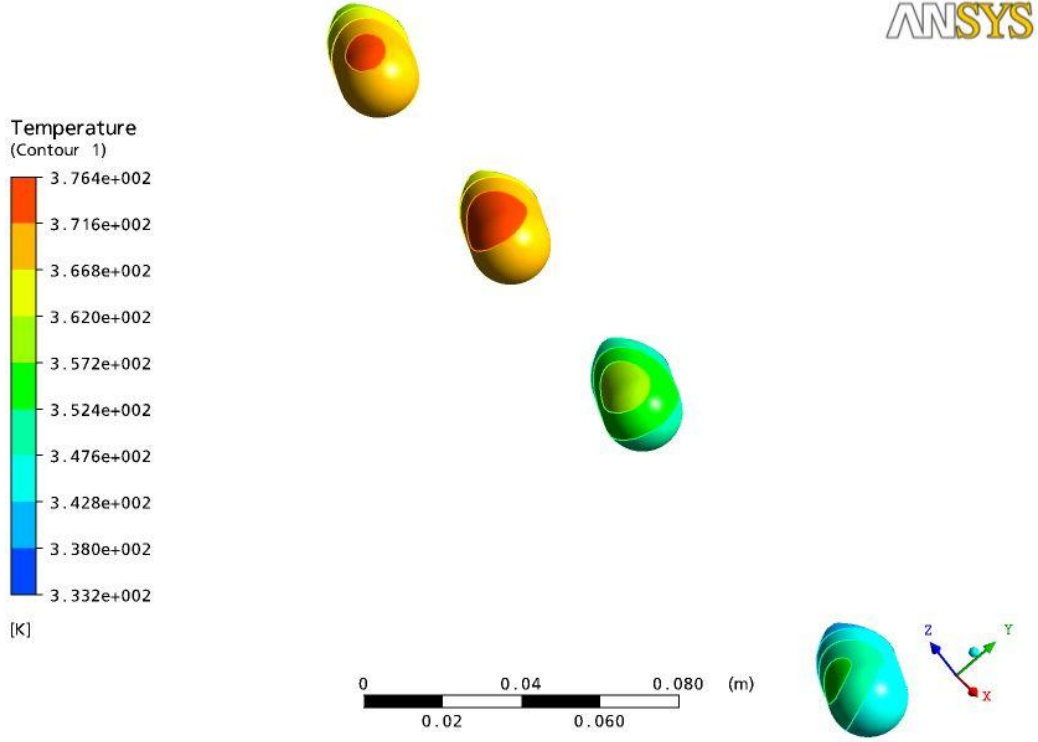
#### 4.2.1.3. Ampul Parçalarının Sonuçları

Şekil 40 ve 41 ampul cam sıcaklığı ve ampul camı üzerinde havanın sıcaklığını vermektedir. Ampullerin uç kısımlarında cam sıcaklığının 230 °C kadar çıktığı görülmektedir. Ampul etrafında hava sıcaklığı maksimum 103 °C ulaşmakta ve maksimum sıcaklık ampul üst bölgesinde doğal taşınım etkisinin az olduğu bölgede görülmektedir.

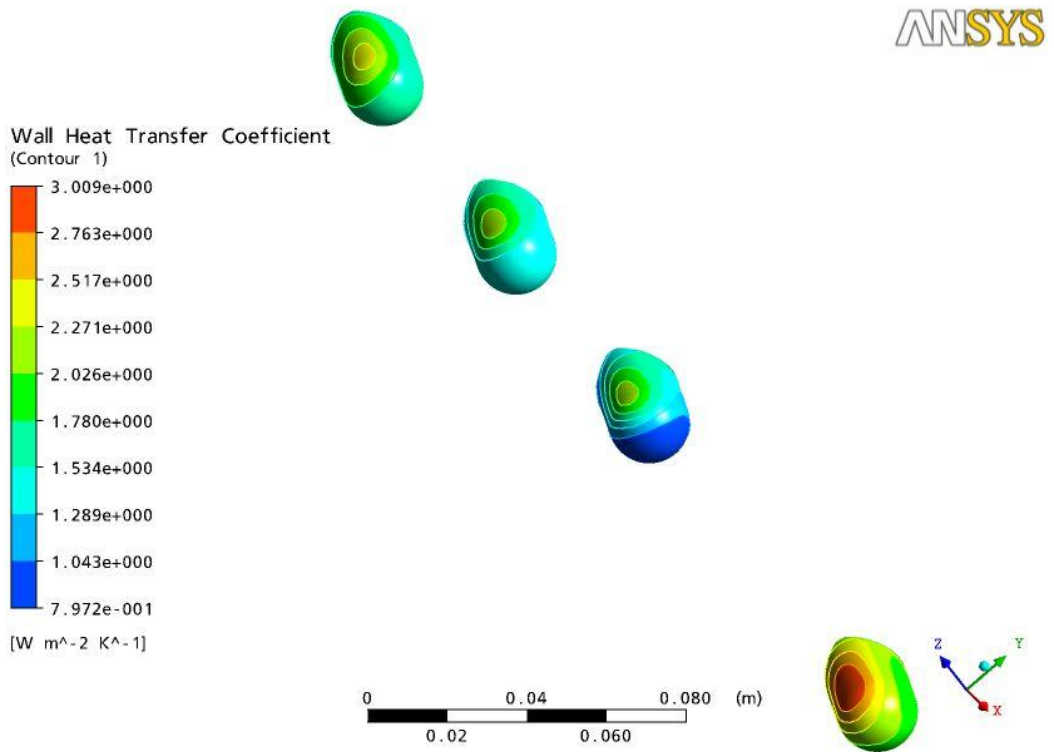
Şekil 42 de ampul yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerlerini göstermektedir. Isı taşınım katsayısı maksimum 3 W/m<sup>2</sup>K değerine kadar çıkmaktadır.



Şekil 40. Ampul cam sıcaklık dağılımları



Şekil 41. Ampul cam yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı



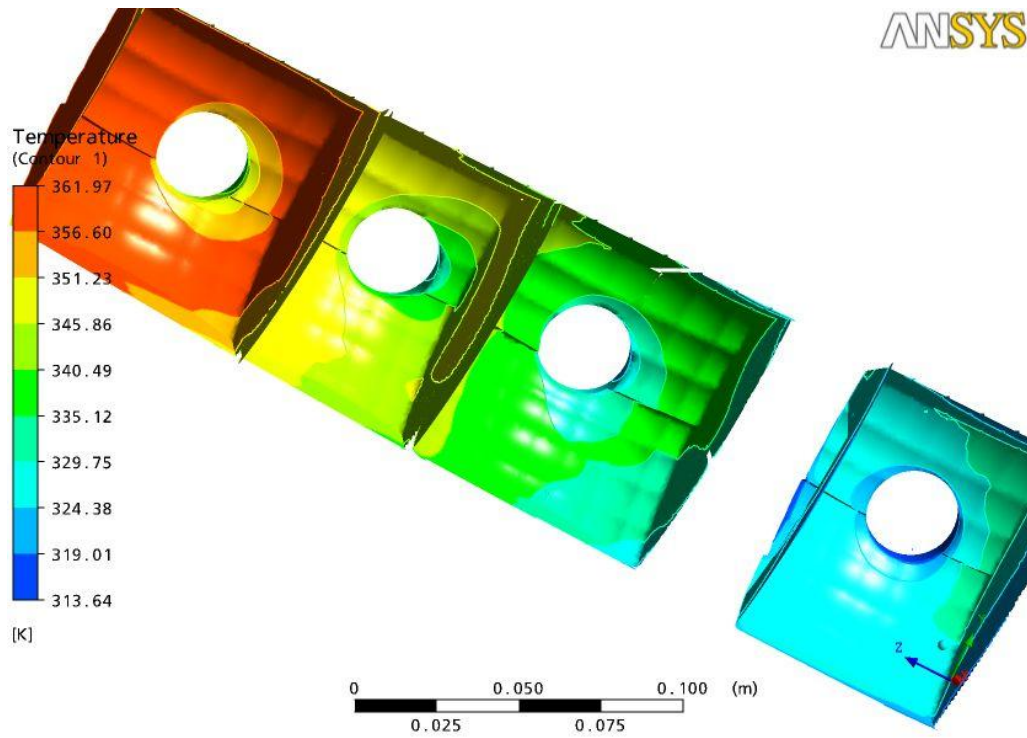
Şekil 42. Ampul cam yüzeyi üzerinde ısı taşınım katsayısı dağılımı

#### 4.2.2. Sadece Fren Ampulünün Yandığı Durumdaki Sonuçlar

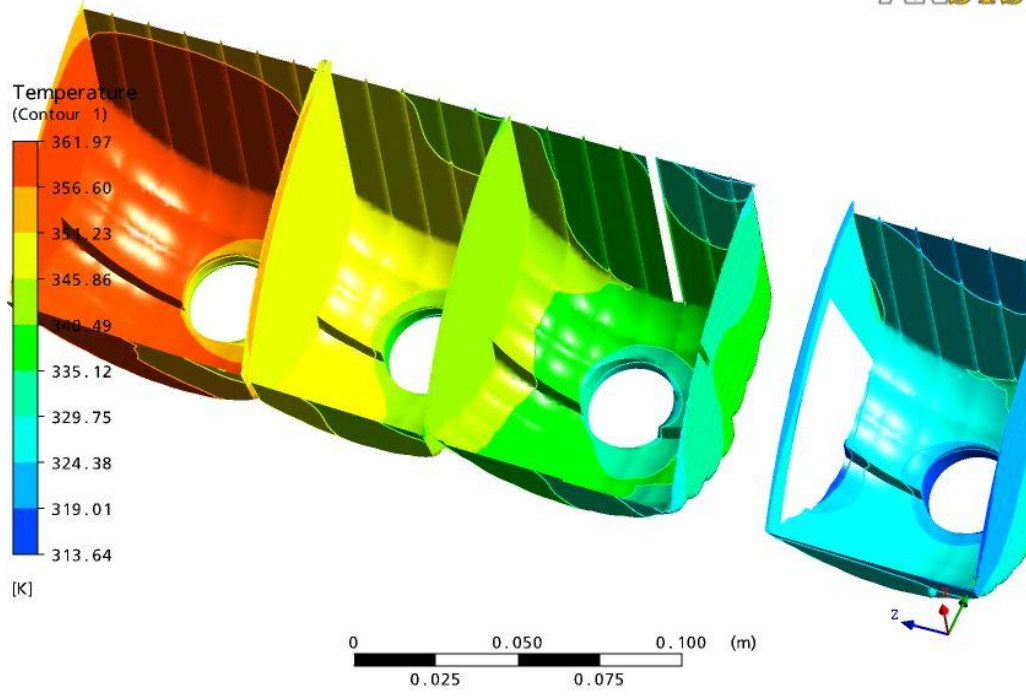
Bu kısımda verilen hesaplama sonuçlarında en st ampulün yandığı ve 25 W gücünde olduğu kabul edilmiş ve ortam havasının 300 K sıcaklıkta olduğu durum ele alınmıştır.

şekil 43 ve 44 de görüldüğü gibi gövde üzerinde en st bölmede sıcaklık 89 C kadar çıkmaktadır. Ara yüzeyler opak olmasına rağmen iletim ve özellikle taşınımın etkisiyle üstten ikinci ve cnc bölümlerde yüzey sıcaklığının 51 C ile 78 C arasında değiştiği grlmektedir. En alt bölmedeki yüzeyler en az ısınan yüzeyler olarak grlmektedir.

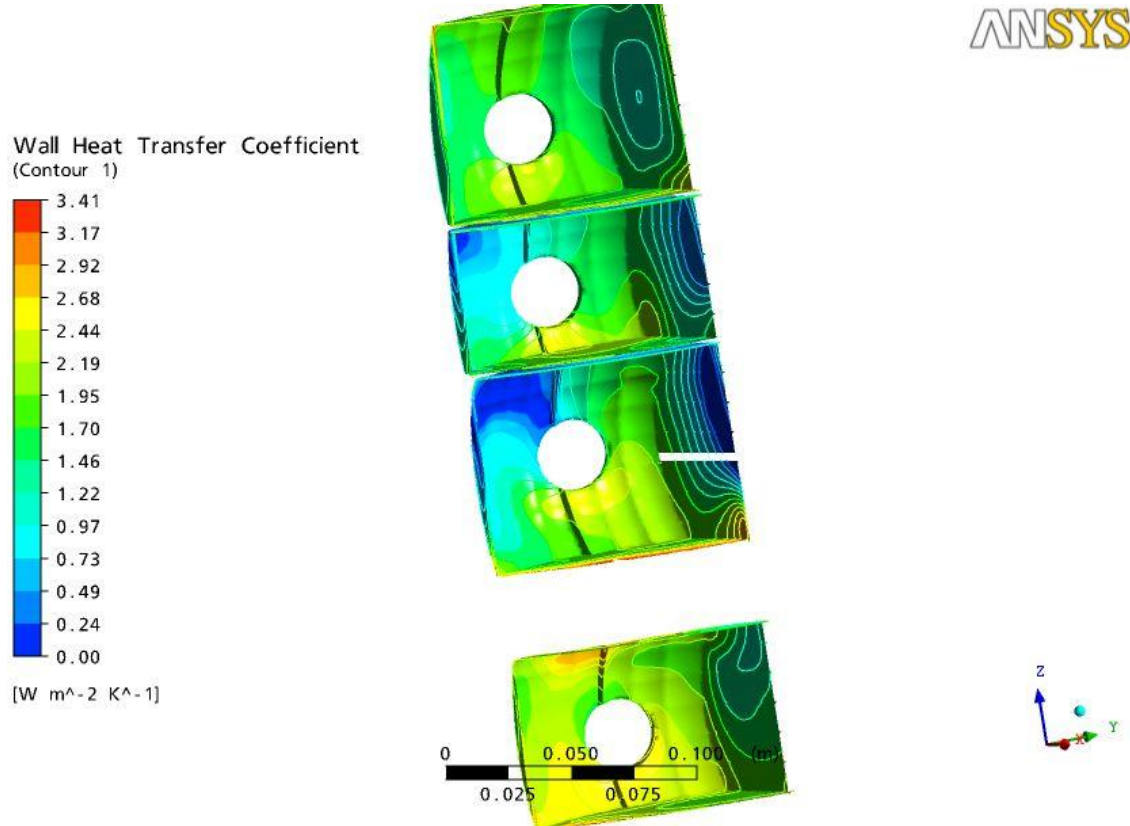
şekil 45. Gövde i yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerlerini göstermektedir. Isı taşınım katsayısı 3.41 değerine kadar çıkmaktadır.



şekil 43. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 1



Şekil 44. Gövde üzerinde sıcaklık dağılımları görünüş 2

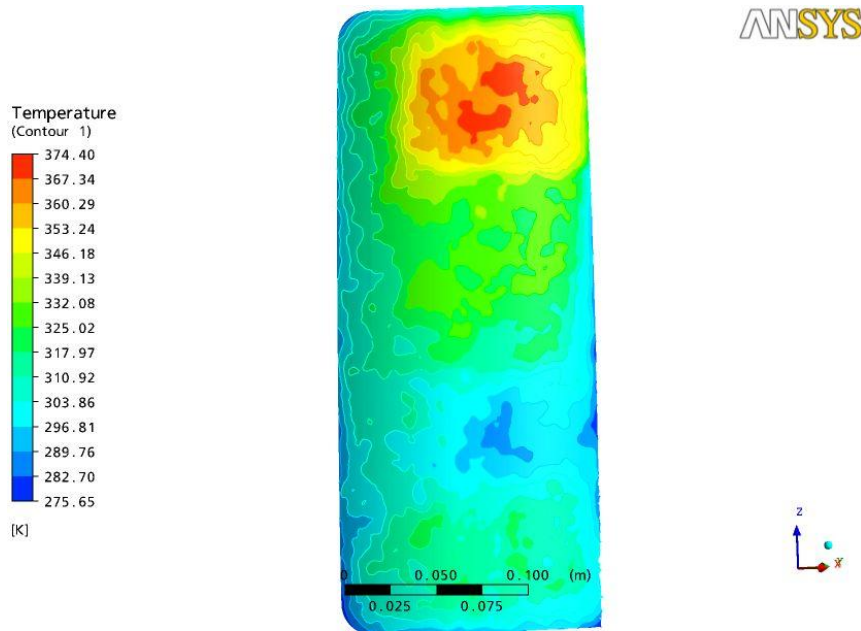


Şekil 45. Gövde iç yüzeyinde hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerleri

#### 4.2.2.1. Lens Parçasının Sonuçları

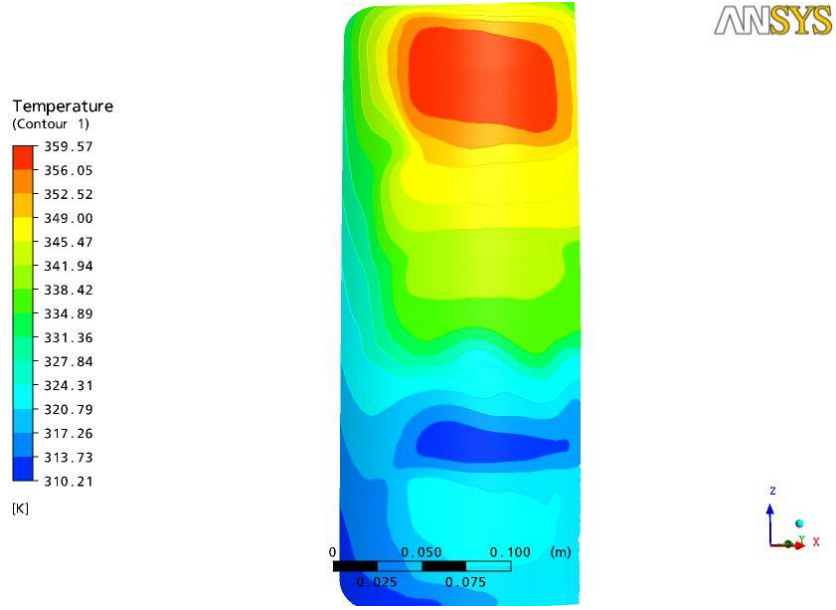
Şekil 46 lensler (Kırmızı ve Beyaz) üzerindeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Lenslerin üstten birinci boşluğa karşılık gelen kısmın ortasında küçük bölgelerde sıcaklığın 101 °C kadar yükseldiği görülmekte, bu kısımların ortasında genel olarak sıcaklık 73 °C ile 97 °C arasında değişmektedir. Ortadan kenarlara doğru gidildiğinde 73 °C' den 40 °C' ye doğru azaldığı görülmektedir.

Şekil 47 lens yüzeyinin iç tarafında lens yüzeyi ile temas eden hava sıcaklığını göstermektedir. Lens yüzey sıcaklığına paralel olarak üst kısımda hava sıcaklığı 87 °C' ye kadar çıkmaktadır. Kenarlara doğru sıcaklık düşmektedir.

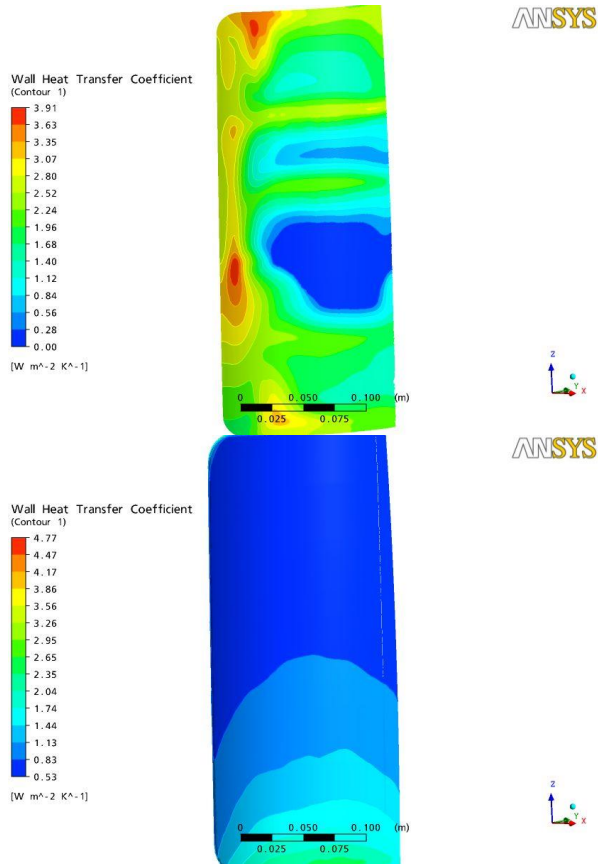


Şekil 46. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımları





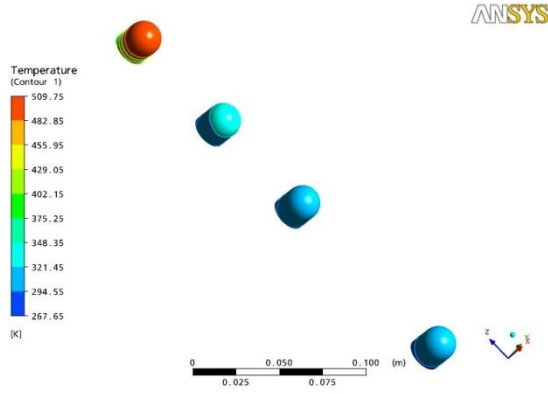
**Şekil 47. Lenslerin iç yüzeyi üzerindeki havanın sıcaklığı**



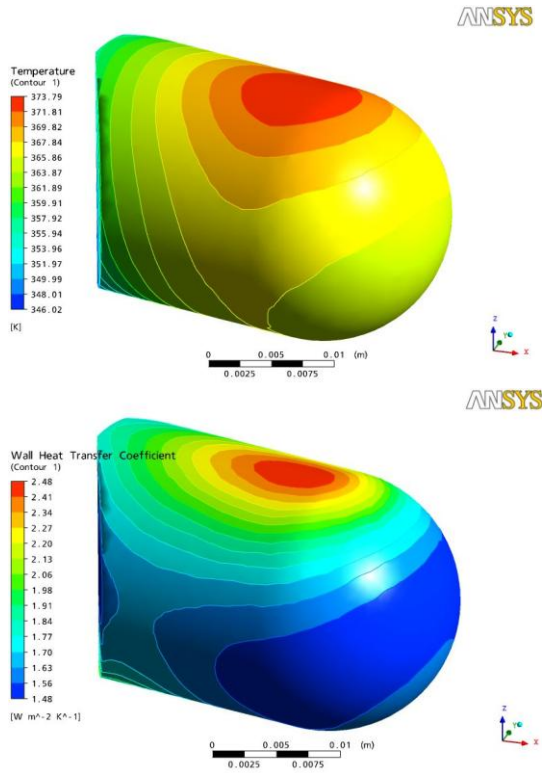
**Şekil 48. Lenslerin iç ve dış yüzeyleri üzerindeki ısı taşınım katsayıları değerleri**

#### 4.2.2.2. Ampul Parçasının Sonuçları

Şekil 49 da ampul cam sıcaklığını ve Şekil 50 de ampul camı üzerinde havanın sıcaklığını ve ısı taşınım katsayısı değerlerini vermektedir. Ampullerin uç kısımlarında cam sıcaklığının 240 °C kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil 49. Ampul yüzeyinde hesaplanan sıcaklık değerleri



Şekil 50. Ampul yüzeyi üzerinde havanın hesaplanan sıcaklık değerleri ve ısı taşınım katsayısı dağılımı

### 4.3. Yan Sinyal Lambası Analizleri

#### 4.3.1. Çözümleme Yöntemi

Çözümde verilen CAD geometrisi kullanılarak elde edilen mesh yapısında toplam 790221 düğüm noktası, 659456 yüzey elemanı ve 3895509 adet tetrahedral hacim elemanı kullanılmıştır.

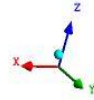
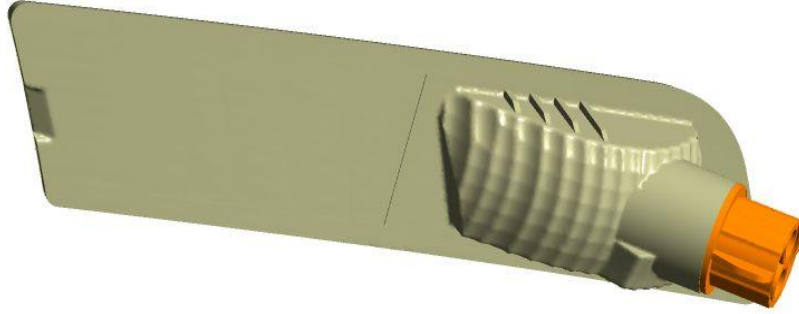
Çözüm algoritmasında Navier-Stokes ve enerji denklemleri türbülanslı akış için k-epsilon türbülans modeli ile birlikte doğal taşınım etkileri göz önüne alınmıştır. Bu kapsamda hava özellikleri ideal gaz yaklaşımıyla değişken olarak ele alınmıştır.

Işınım ile ısı transferi çözümlemesi Monte-Carlo metodu yaklaşımıyla yapılmıştır. Akışkan, ampul camı ve lens malzemeleri ışınım ile ısı transferi için geçirgen ve yarı geçirgen ortam özellikleri kullanılarak etkileşimli ortamlar olarak göz önüne alınmıştır. Gövde kısımlarında yüzey kaplaması özellikleri göz önüne alınarak, gövdenin iç kısmı alüminyum ile kaplandığından üzerlerine gelen ışığın %65'ini yansıtmakta ve %35'ini yutmakta olduğu çözümlemede kullanılmıştır.

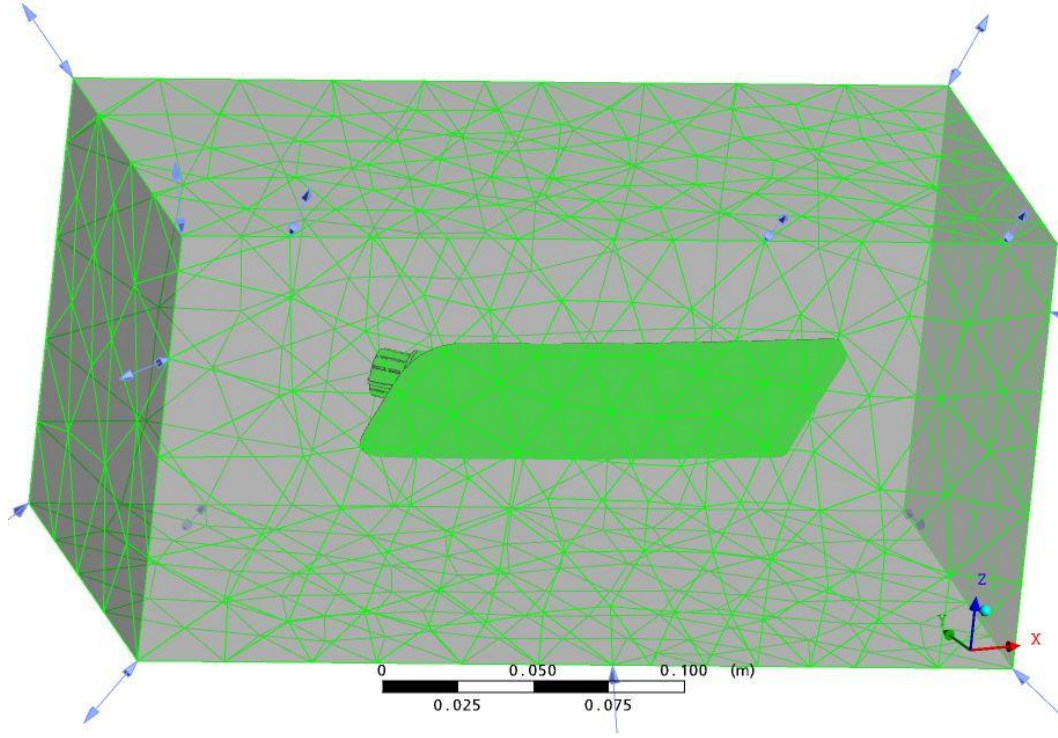
Yakınsama kriteri olarak bütün değişkenlere ait normalize edilmiş RMS değerlerinin  $10^{-4}$  olması yeterli görülmüştür. Bu kapsamda altta verilen sonuçlar yaklaşık 350 iterasyon sonucunda elde edilmiştir. Yakınsamış sonuçların eldesi yaklaşık 30 saatlik bir çözümleme zamanına ihtiyaç göstermektedir. Şekil 1a ve b Ansys programına atılan geometrinin ve çözümleme hacminin katı modelini göstermektedir. Şekil 51, 52, 53 ve 54 çözüm alanı ve yüzeylerin mesh yapısını göstermektedir.



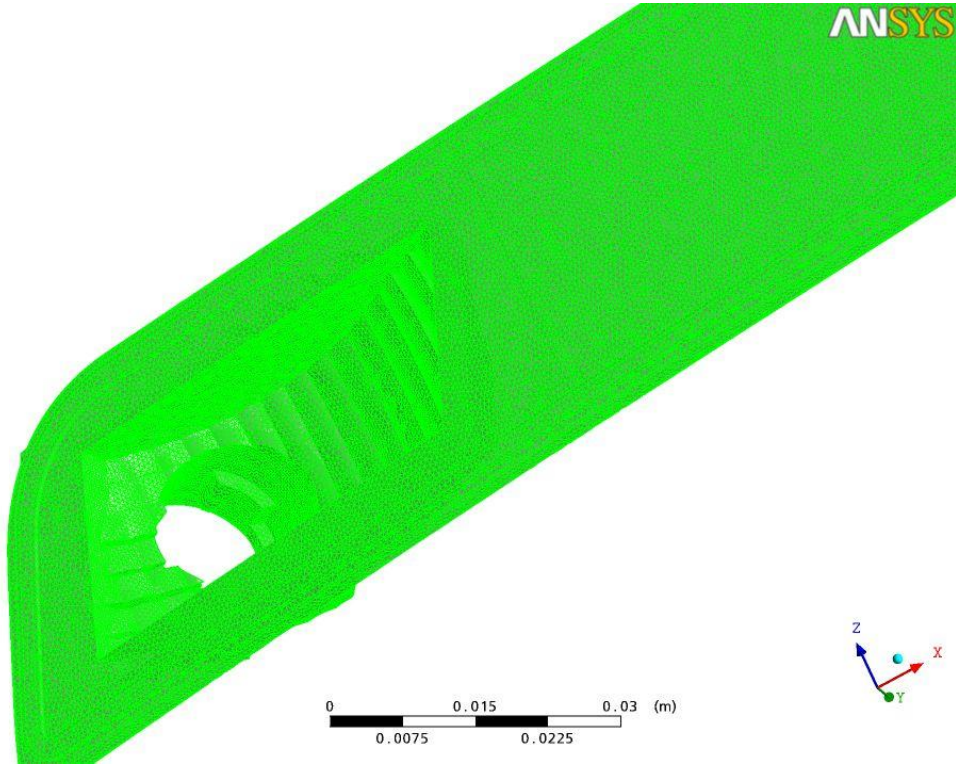
**Şekil 51. Yan sinyal lambasının çözümlemeye kullanılan katı modeli:  
Görünüş 1**



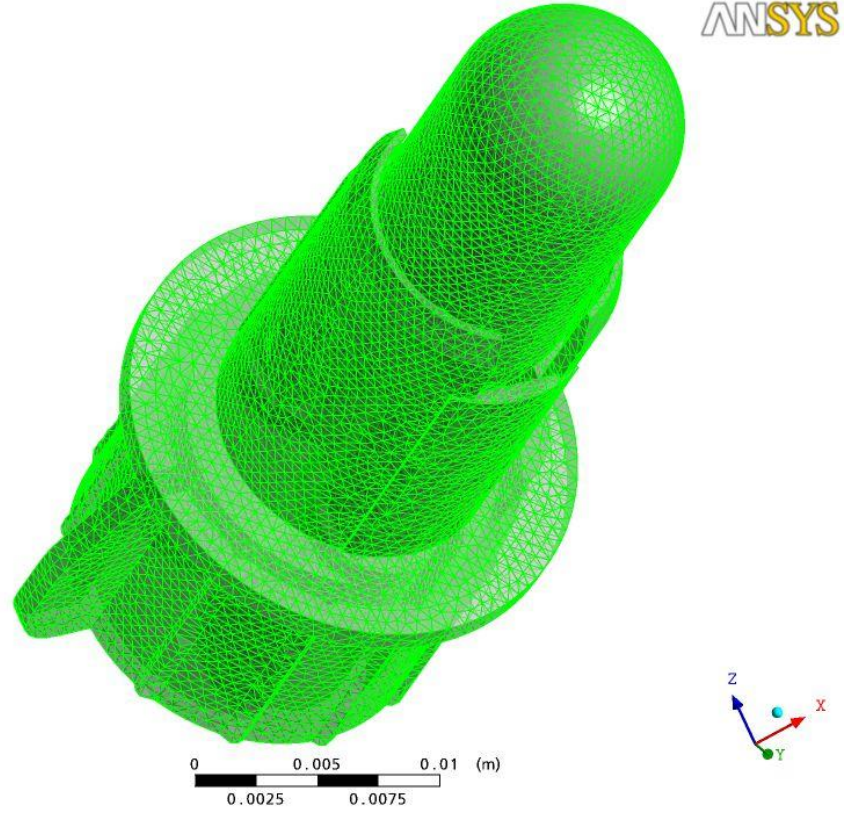
**Şekil 52. Yan sinyal lambasının çözümlemeye kullanılan katı modeli:  
Görünüş 2**



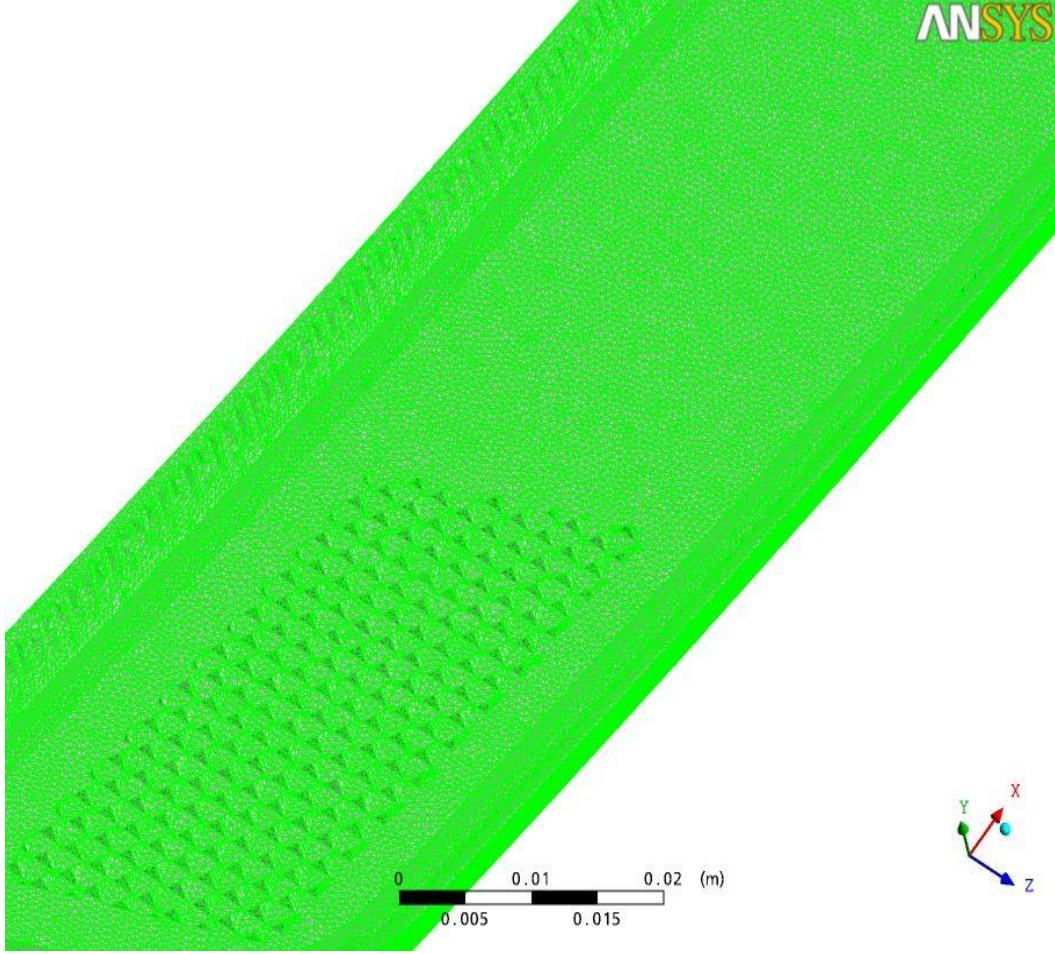
Şekil 53. Çözüm alanı genel mesh yapısı



Şekil 54. Gövde yüzeyleri mesh yapısı



**Şekil 55. Duy ve ampul yüzeyleri mesh yapısı**



**Şekil 56. Lens yüzeyleri mesh yapısı**

Bu kısımda verilen hesaplama sonuçlarında ampulün sürekli yandığı ve 5 W gücünde olduğu kabul edilmiş ve ortam havasının 300 K sıcaklıkta olduğu durum ele alınmıştır.

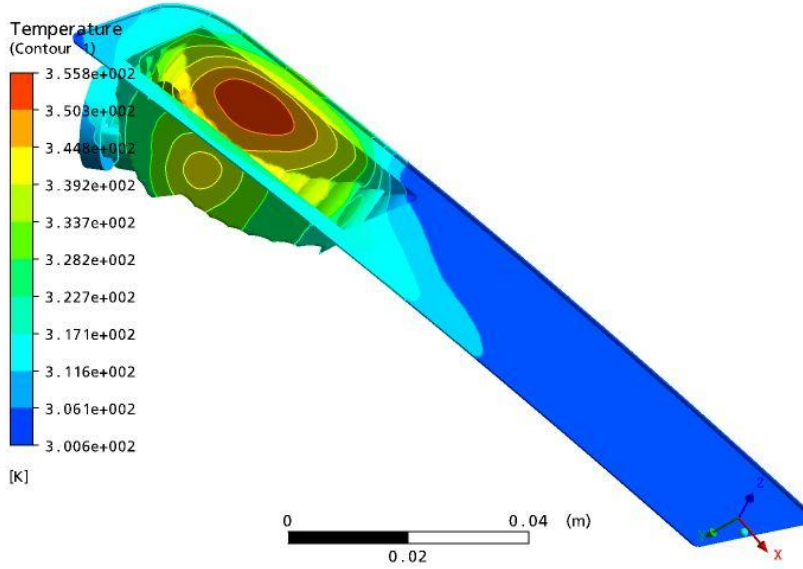
Şekil 57 ve 58 de görüldüğü gibi gövde üzerinde ampulün üst kısmında duvar üzerinde sıcaklık 89 °C kadar çıkmaktadır. Diğer kısımlarda yüzey sıcaklığının 51 °C ile 78 °C arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 59 ve 60'da gövdenin arka kısımlarında sıcaklığın 40 °C civarına kadar yükseldiği görülmektedir.

Şekil 61 ampul üzerindeki sıcaklık dağılımını vermektedir. Burada ampul yüzey sıcaklığını 240 °C kadar çıktığı hesaplanmıştır. Şekil 62 de ampul yüzeyi

üzerindeki havanın sıcaklık değişimini göstermektedir. Ampul üzerinde havanın 110 °C kadar ısındığı görülmektedir.

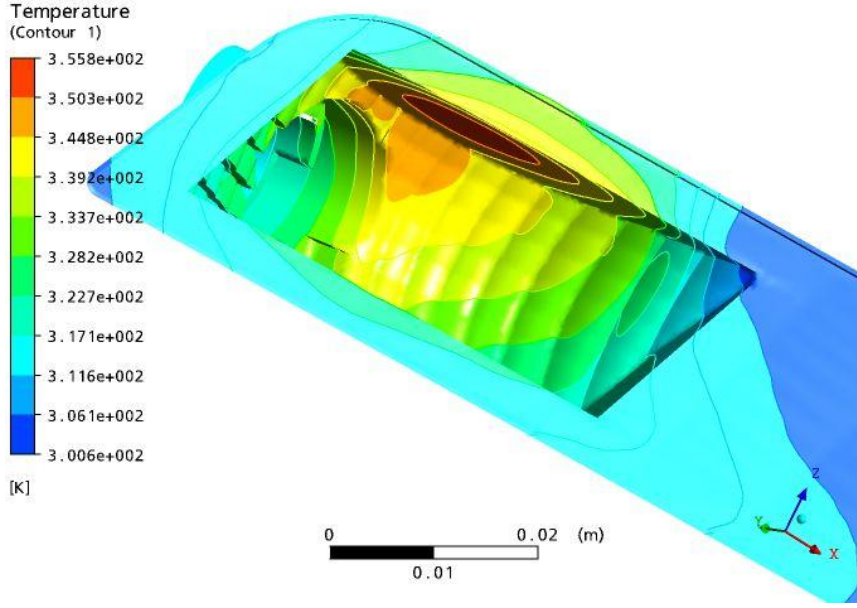
Şekil 63 de lens iç yüzeyi üzerinde hava sıcaklığı ve Şekil 64 ve 65 de lens yüzeyindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Lens malzemesinde sıcaklık odak noktasında 68 °C kadar çıkmaktadır. Şekil 66 ve 67 lensin dış yüzeyindeki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Burada da odak bölgesinde sıcaklığın 60 °C kadar çıktığı görülmektedir. Şekil 68 de lens dış yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı görülmektedir.

ANSYS

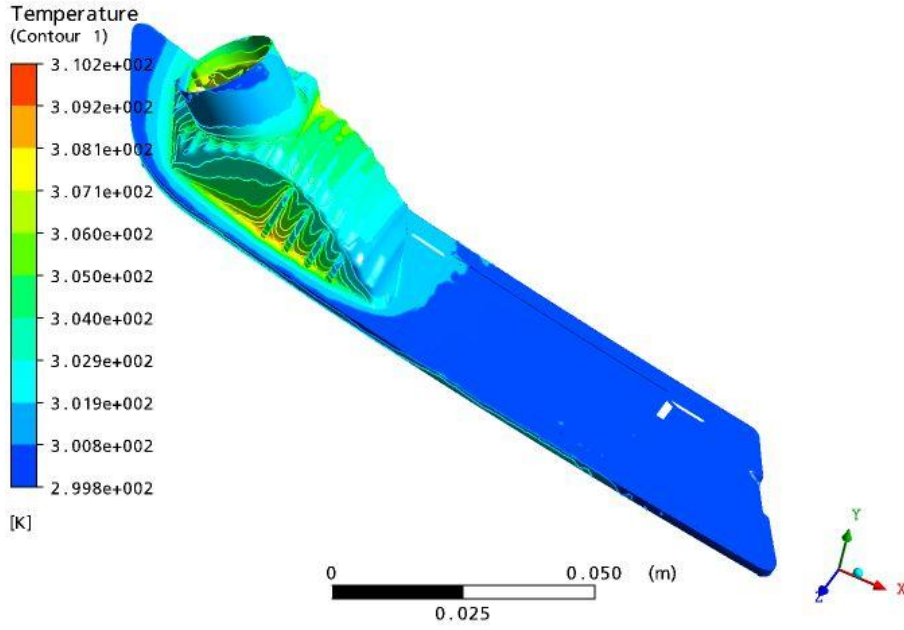


Şekil 57. Gövde iç yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 1

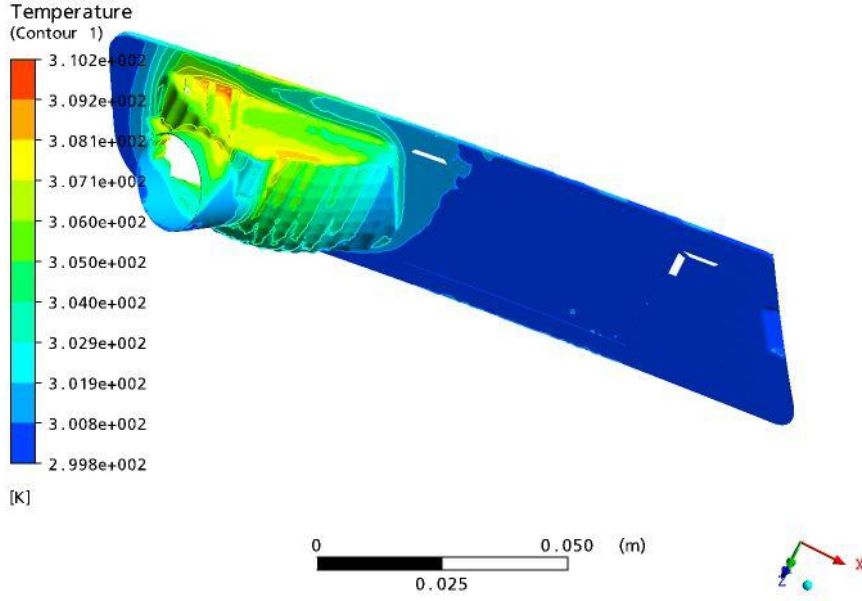




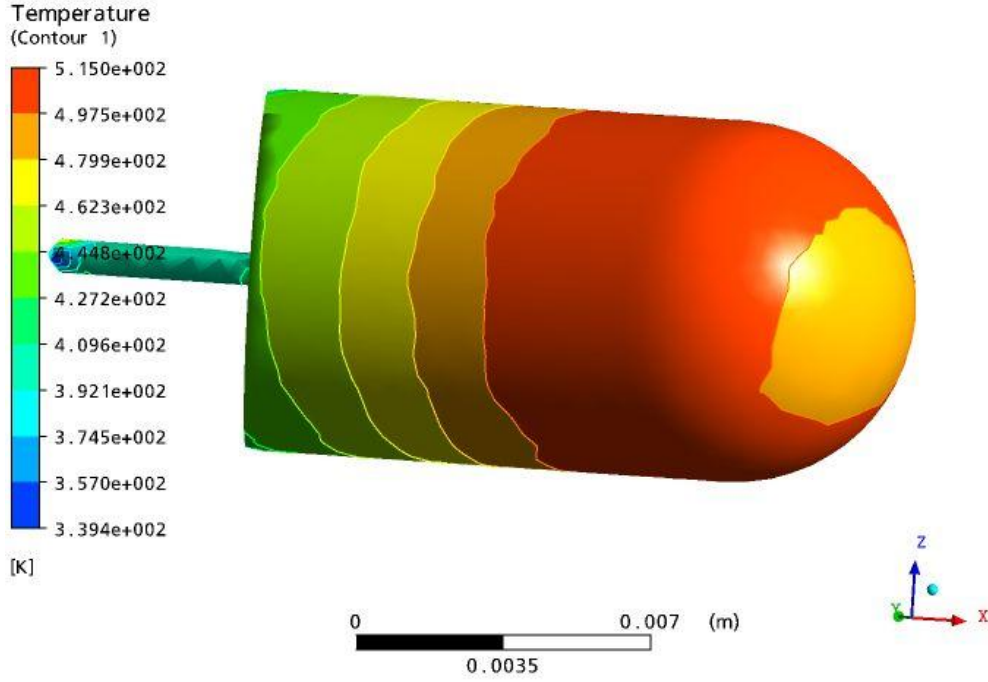
Şekil 58. Gövde iç yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 2



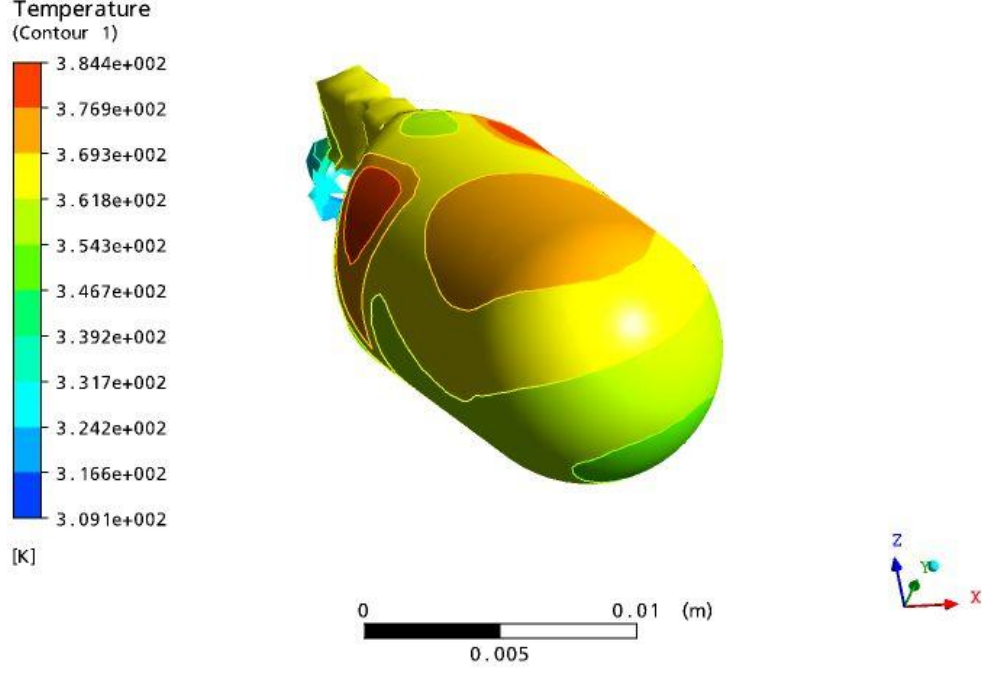
Şekil 59. Gövde dış yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 1



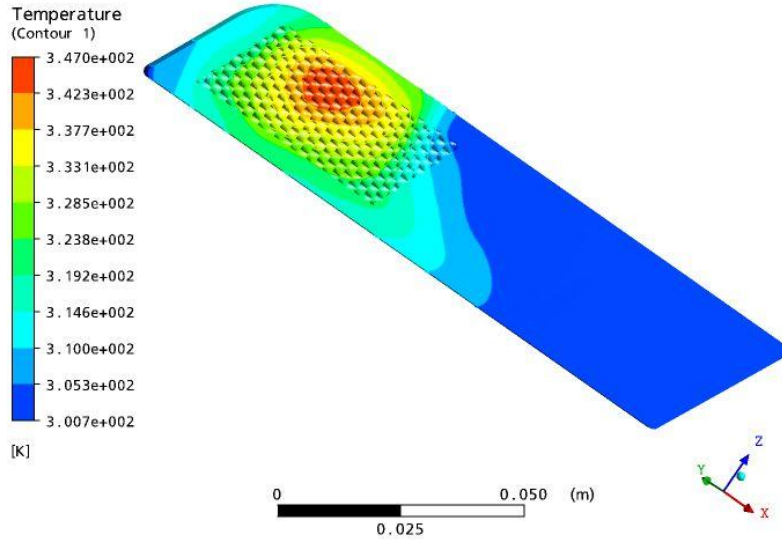
Şekil 60. Gövde dış yüzeyler üzerinde sıcaklık dağılımı: Görünüş 2



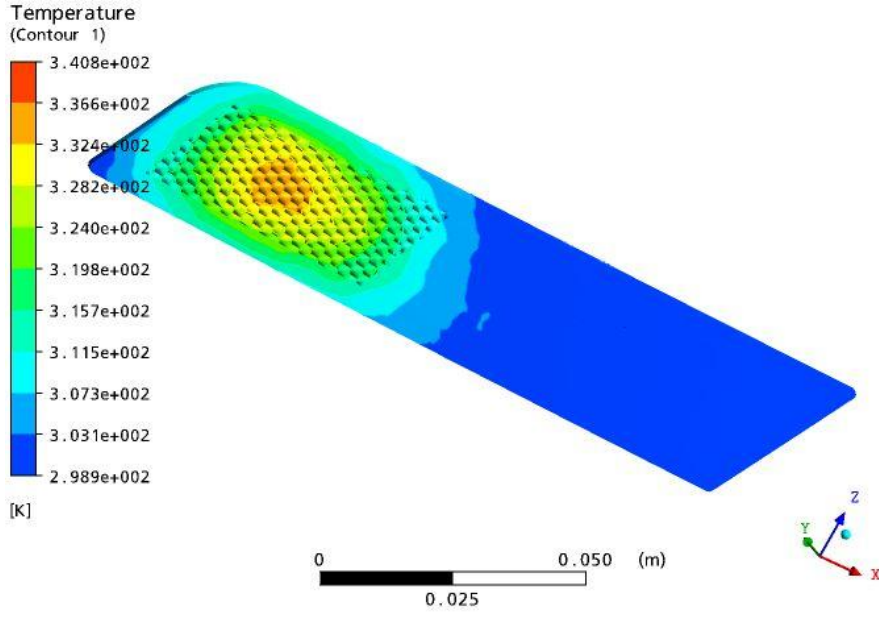
Şekil 61. Ampul üzerinde sıcaklık dağılımı



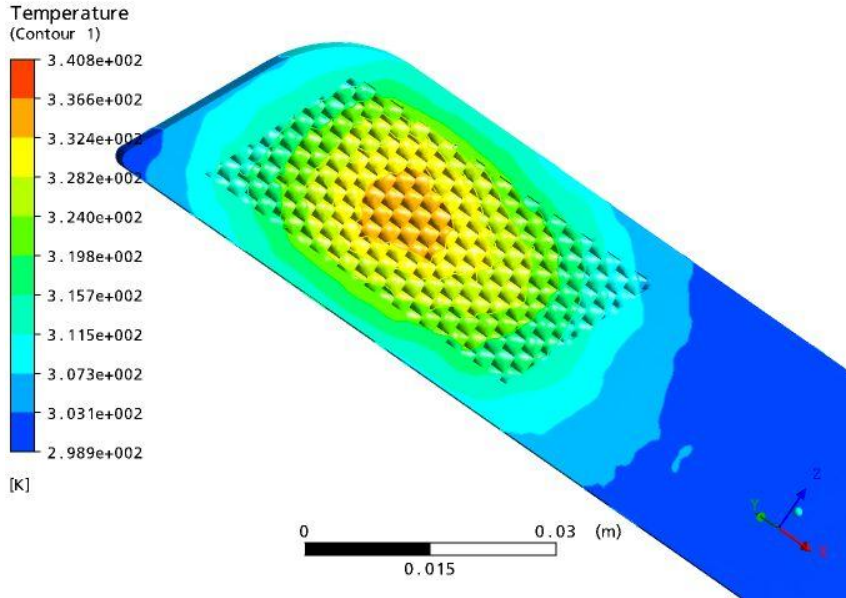
Şekil 62. Ampul üzerinde havanın sıcaklık dağılımı



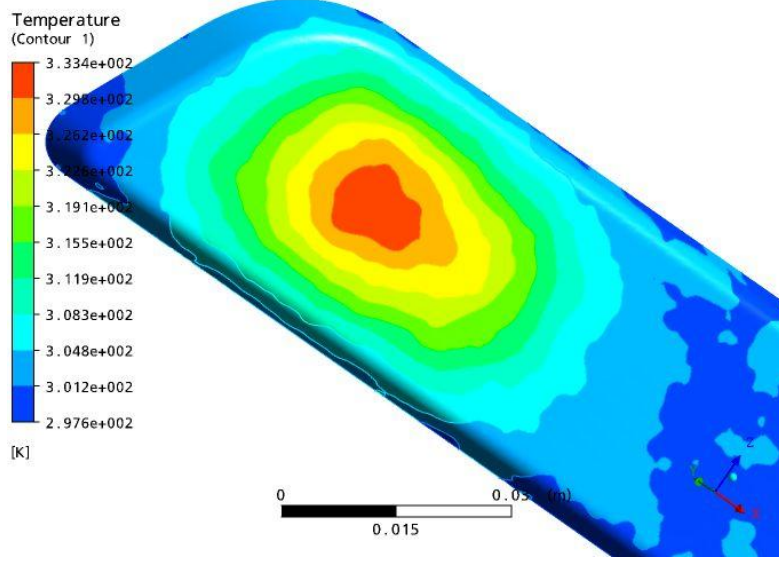
Şekil 63. Lens iç yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı



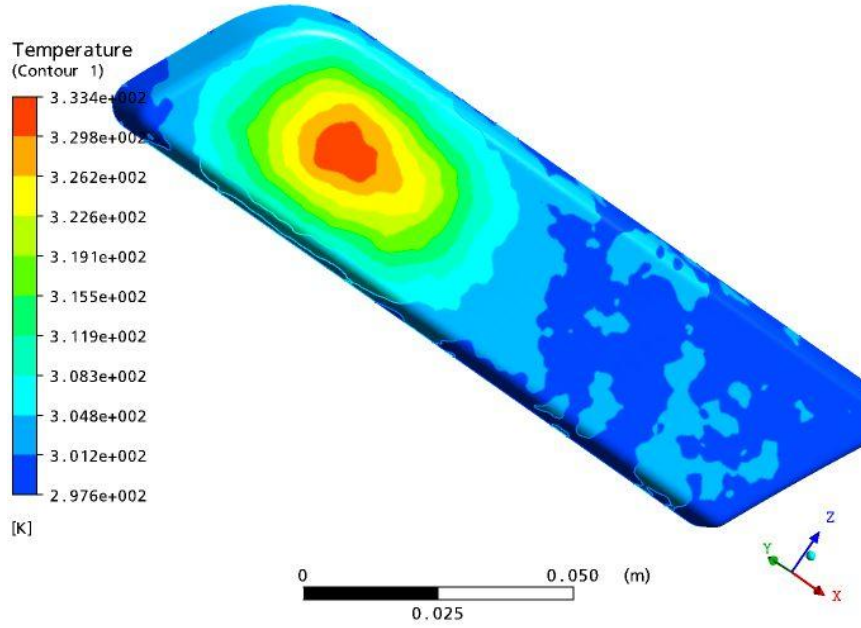
Şekil 64. Lens iç yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı



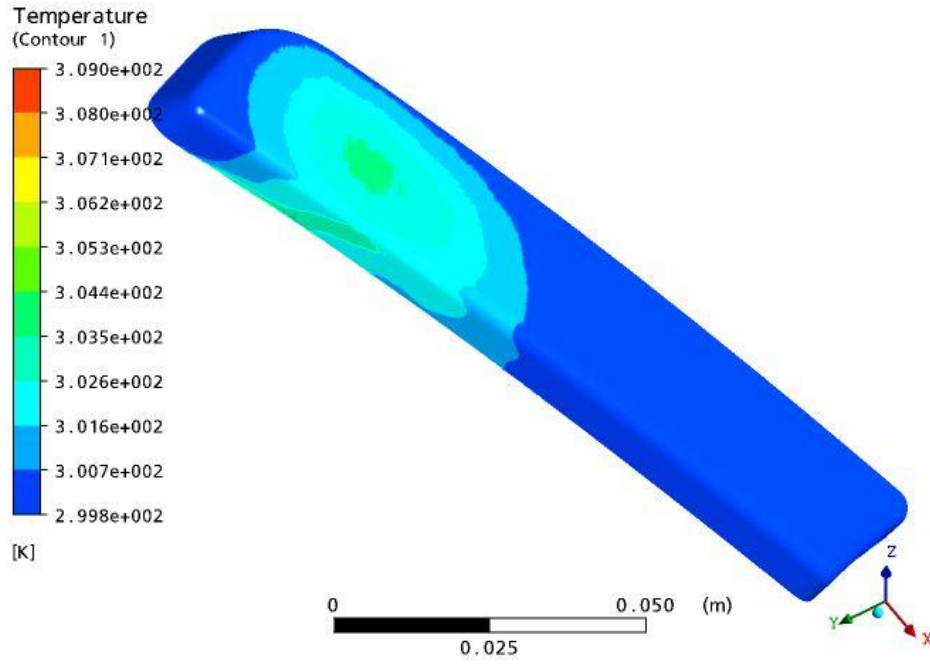
Şekil 65. Lens iç yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 2)



Şekil 66. Lens dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 1)



Şekil 67. Lens dış yüzeyi üzerinde sıcaklık dağılımı (Görünüş 2)



Şekil 68. Lens dış yüzeyi üzerinde havanın sıcaklık dağılımı

#### 4.4. Değerlendirme ve Sonuç

özüm metodolojisini oluşturmak için nispeten daha kolay bir sonlu hacimler modeli oluşturulabilecek bir sis farı geometrisi üzerinden çalışmalara başlanmıştır. Burada iletim, taşınım ve ışınım ile olan ısı transferleri hesaba katılarak çözümüne gidilmiştir.

Buradan elde edilen tecrübelerden yola çıkılarak daha kompleks bir model olan stop lambası analizlerine başlanmıştır. Bilindiği üzere sonlu hacimler modelinin düzgün olması doğru sonuçlar elde etme açısından çok önemlidir. Geometrinin karmaşık yapısından dolayı bu işlem için oldukça vakit ve emek harcanmaktadır. Sonlu hacimler modeli bittikten sonra parçaları birbirinden malzeme ve özellik olarak ayırabilmek için farklı alanlar (domain) oluşturulmuştur. Bu alanlara gerekli atamalar yapıldıktan sonra çözümüne verilmiştir. özüm süresi sonlu hacimler modelinin büyüklüğü ile orantılı olarak artmaktadır. 4 çekirdekli ve 8 GB RAM olan bir bilgisayarda çözüm yaklaşık 30 saat sürmüştür.

Sonuçların doğruluğunun karşılaştırılabilmesi için daha önce bu çalışmadaki senaryonun uygulandığı bir test düzeneğinde kızılötesi kamera ile çekimler yapılarak sıcaklık değerleri okunmuştur.

Analiz ve test sonuçlarının karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların ne kadar isabetli olduğu görülmektedir. Termal kamera ile lens üzerindeki karşılaştırmanın eşleşmesinden dolayı analize güvenilebileceğine karar verilerek, diğer parçalar üzerindeki değerler analizlerdeki ile aynı olacak şekilde alınmıştır.

Bu alışma ile tasarım aşamasında, çok maliyetli olan kalıp ve prototip üretimi yapılmadan bir farın termal davranışı hakkında fikir elde edilebilmektedir. Bu sayede proje takvimi küçülmekte, deneme yanılma mantığı yerine bilimsel verilere dayalı bir ürün geliştirme yapma imkanına kavuşulmaktadır. ıkabilecek aşırı ısınma hatta erimeye kadar varabilecek problemler erken safhada tespit

edilerek etkin bir ürün geliştirme sağlanabilecektir. Böylece yukarıda sayılan maliyetlerden ciddi kazançlar sağlanacaktır.

Bu çalışmanın bir sonraki aşaması yine farlarda çok sık karşılaşılan yoğuşma ve buğuyu engelleme ile ilgili inceleme ve testleri konu alan çalışmalar olacağı öngörülmektedir. Bu aşamada da duyların oksitlenmesinden, lens renginin değişmesine kadar çeşitli problemler ile karşılaşılmaktadır. Bu problemlerin çözümü için yine hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımlarından faydalanılabilir.

Bu çalışmada farın test düzeneğindeki durumu incelenmiştir. İncelenen düzende araç üzerinde mesafe kat ederken gelen hava bu hava ile olacak ısı transferi hesaplamalarda yoktur. Farklı ortam ve sürüş koşulları altında aynı modelin araç üzerindeki ısı dağılımları incelenebilir. Güneşten gelecek solar ısı akısı da analizlere ilave edilebilir.

Ayrıca bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli mühendislik yazılımları arasında bir optimizasyon programı kullanılarak verilen parametrelere göre optimum tasarımlar elde edilebilir, aynı zamanda tasarım sürelerinin azalması da sağlanabilir.



## KAYNAKLAR

- Abib, A.H., Jaluria, Y., 1995. Penetrative convection in a stably stratified enclosure. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 38 (13), 2489–2500.
- Albrecht, H.-E., Borys, M., Damaschke, N., Tropea, C., 2003. *Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- A. Filipuzzi, O. Cotula, A. Pipino, F. Zanoletti, S. Paroni, “Thermal Behavior of Bulb and LED based Automotive Rear Lamps”, 3rd EACC, 2007
- A. Mortara, F. Roux, P. Repetto, S. Sinesi, “The chip on board LED with micro-optics for an ultra thin rear light”, ISAL 2005 Symposium Proceedings
- ANSYS CFX-Manual, Release 11.0
- Barozzi, G.S., Corticelli, M.A., 2000. Natural convection in cavities containing internal sources. *Heat and Mass Transfer* 36 (6), 473–480.
- Bejan, A., 1984. *Convection Heat Transfer*. Wiley, New York.
- Bielecki, J.W., Chang, M., Poorman, T., 2003. The effect of environmental conditions on moisture clearing time in automotive lamps. SAE Paper No. 2003-01-0646.
- Bensler, H.P.; Freek, C.; van Vlaardingen, H.; Heath, D.; Leefken, A.; „Experimentelle und numerische Untersuchungen von Enttauungsprozessen im Scheinwerfer“, VDI-Tagung „Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau“, 27.-28.9.2006
- Buchhave, P., George Jr., W.K., Lumley, J.L., 1979. The measurement of turbulence with the laser-Doppler anemometer. *Annual Review of Fluid Mechanics* 11, 443–504.
- Chenevier, C., 2001. Thermal simulation in lighting systems—5 days/5 degrees. In: *Proceedings of the Fourth International Symposium Progress in Automotive Lighting*, Darmstadt, Germany, pp. 109–118.
- Erdmann, J.C., Tropea, C.D., 1981. Turbulence-induced statistical bias in laser anemometry. In: *Proceedings of the Seventh Biennial Symposium on Turbulence*, Rolla, Missouri.
- E. Preihs, “Automotive Headlamp - Analytic Solution and Measurements of Condensation inside a Headlamp.” *Proceedings of the Nordic COMSOL Conference*, 2006

F. Incropera, D.P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Willey and Sons, Inc., 2001.

Halgren, C.T., Hilburger, F.K., 2003. Development and correlation of internal heat test simulation using CFD. SAE Paper No. 2003-01-0647.

Haring, S.: "Verfahren zur Visualisierung des Tagdesigns und der Nachtfunktion von Leuchten", LUX Junior, Dornfeld, 2005

Huhn, W., 2002. Proposal for a lighting strategy—The car makers point of view. SAE Paper No. 2002-01-0528.

Incropera, F.P., 1988. Convection heat transfer in electronic cooling. ASME Journal of Heat Transfer 110 (11), 1097–1111.

Jue, T.C., 2003. Analysis of thermal convection in a fluid-saturated porous cavity with internal heat generation. Heat and Mass Transfer 40 (1–2), 83–89.

K. Kikuchi, Y. Hamashima, Y. Kobayashi, "Prediction of LED junction temperatures with CFD for headlamp application", ISAL 2005 Symposium Proceedings.

Kiel, H: "Simulation and Measurement of Photometry in Headlamps and Tail Lamps: an analysis of selected aspects." International Symposium on Automotive Lighting, 2007

Kiel, H: „Anwendungen der Lichtsimulation in der Scheinwerfer- und Leuchtenentwicklung.“, LUX Junior, Dornfeld, 2005

Ku"pper, L., Schug, J., 2002. Active night vision systems. SAE Paper No. 2002-01-0013.

Lund, C; Beyer, B.; Maister, W.; Giffhorn, U.; Muller, J.; „Ganzheitliche Betrachtung der Motorku"hlung durch entwicklungsübergreifende Integration von Versuch und Berechnung“; VDI-Tagung „Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau“, 29.9.2004, VDI-Bericht 1864, S.735-790

M. F. Modest, Radiative heat transfer, McGraw-Hill series in mechanical engineering, ISBN 0-07-042675-9, 1993.

Moore, W.I., Powers, C.R., 1999. Temperature predictions for automotive headlamps using a coupled radiation and natural convection model. SAE Paper No. 1999-01-0698.

Moore, W.I., Donovan, E.S., Powers, C.R., 1999. Thermal analysis of automotive lamps using ADINA-F coupled specular radiation and natural convection model. *Computers and Structures* 72 (1), 17–30.

Okada, Y., Nouzawa, T., Nakamura, T., 2002. CFD analysis of the flow in an automotive headlamp. *JSAE Review* 23 (1), 95–100.

Peter Fischer, “Radiative heat redistribution and natural convection flow inside an automotive fog lamp”, ISAL 2005 Symposium Proceedings.

R. Huber, “Thermal management of automotive lamps based on LED technology”, ISAL 2005 Symposium Proceedings.

R.Siegel, J. Howell, *Thermal radiation heat transfer*; 4th edition , ISBN 1-56032-839-8, Taylor & Francis, New York, USA, 2002.

Shiozawa, T., Yoneyama, M., Sakakibara, K., Goto, S., Tsuda, N., Saga, T., Kobayashi, T., 2001. Thermal air flow analysis of an automotive headlamp: the PIV measurement and the CFD calculation for a mass production model. *JSAE Review* 22 (2), 245–252.

S. Senin, E. Wachsmann, C. Karcher, “Thermal analysis in automotive components”, ISAL 2005 Symposium Proceedings.

Sun, Y.S., Emery, A.F., 1997. Effects of wall conduction, internal heat sources and an internal baffle on natural convection heat transfer in a rectangular enclosure. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40 (4), 915–929.

Wulf, J., Reich, A., 2002. Temperature loads in headlamps. SAE Paper No. 2002-01-0912.

Yerkes, K.L., Faghri, A., 1992. Mixed convection analysis in large baffled rectangular chambers with internal heat-sources. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 35 (5), 1209–1228.

## EKLER

### Ek1. Gövde Malzemesi Özellikleri Tablosu, Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Density	0.890 - 1.09 g/cc
Water Absorption	0.300 - 1.00 %
Moisture Absorption at Equilibrium	0.20%
Linear Mold Shrinkage	0.00300 - 0.00800 cm/cm
Melt Flow	0.200 - 21.0 g/10 min
<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Hardness, Rockwell R	101 - 115
Tensile Strength, Ultimate	31.0 - 49.0 MPa
Tensile Strength, Yield	33.0 - 54.0 MPa
Elongation at Break	10.0 - 70.0 %
Elongation at Yield	2.10 - 4.00 %
Modulus of Elasticity	1.70 - 2.70 GPa
Flexural Modulus	2.07 - 2.71 GPa
Flexural Yield Strength	62.7 - 82.7 MPa
Charpy Impact Unnotched	8.00 J/cm <sup>2</sup> - NB
Charpy Impact, Notched, Low Temp	0.300 - 1.60 J/cm <sup>2</sup>
Charpy Impact, Unnotched Low Temp	5.00 J/cm <sup>2</sup> - NB
Charpy Impact, Notched	0.600 - 6.30 J/cm <sup>2</sup>
Impact Test	42.0 - 55.0 J
Izod Impact, Notched	0.534 - 5.34 J/cm
<b>Elektriksel Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Electrical Resistivity	1.00e+15 ohm-cm
Surface Resistance	1.00e+14 - 1.00e+15 ohm
Dielectric Constant	2.90 - 3.20
Dielectric Constant, Low Frequency	2.70 - 3.10
Dielectric Strength	30.0 - 38.0 kV/mm
Dissipation Factor	0.00500 - 0.0100
Dissipation Factor, Low Frequency	0.00600 - 0.0100
Comparative Tracking Index	600 V
<b>Termal Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
CTE, linear 20°C	0.700 - 102 µm/m-°C
Specific Heat Capacity	1.89 - 2.03 J/g-°C
Thermal Conductivity	0.128 - 0.150 W/m-K
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	91.0 - 122 °C
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	76.7 - 130 °C
Vicat Softening Point	100 - 165 °C
Glass Temperature	108 - 127 °C
Flammability, UL94	HB
<b>Optik Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Gloss	40.0 - 95.0 %
<b>İşleme Özellikleri</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Processing Temperature	220 - 274 °C
Rear Barrel Temperature	190 - 210 °C
Middle Barrel Temperature	200 - 250 °C
Front Barrel Temperature	227 - 254 °C
Mold Temperature	40.0 - 82.2 °C
Drying Temperature	80.0 - 194 °C
Dry Time	2.00 - 24.0 hour
Injection Pressure	4.83 - 108 MPa
Back Pressure	0.689 - 1.38 MPa
Screw Speed	50.0 - 80.0 rpm

## Ek2. Lens Malzemesi Özellikleri Tablosu (Acrylic)

Fiziksel Özellikler	Metrik Değerler
Density	0.940 - 1.21 g/cc
Water Absorption	0.300 - 2.00 %
Moisture Absorption at Equilibrium	0.300 - 0.600 %
Water Absorption at Saturation	1.20 - 2.20 %
Linear Mold Shrinkage	0.00200 - 0.00800 cm/cm
Melt Flow	0.112 - 27.0 g/10 min
Mekanik Özellikler	Metrik Değerler
Hardness, Rockwell L	40.0 - 54.0
Hardness, Rockwell M	18.0 - 99.0
Hardness, Rockwell R	69.0 - 95.0
Tensile Strength, Ultimate	19.3 - 90.0 MPa
Tensile Strength, Yield	5.72 - 85.0 MPa
Elongation at Break	1.00 - 85.0 %
Elongation at Yield	2.00 - 6.00 %
Modulus of Elasticity	0.950 - 4.50 GPa
Flexural Modulus	1.17 - 3.59 GPa
Flexural Yield Strength	33.1 - 143 MPa
Compressive Yield Strength	36.5 - 124 MPa
Charpy Impact Unnotched	0.600 J/cm <sup>2</sup> - NB
Charpy Impact, Notched	0.200 - 1.30 J/cm <sup>2</sup>
Gardner Impact	1.40 J
Falling Dart Impact	2.17 - 18.6 J
Tensile Creep Modulus, 1 hour	1800 - 2700 MPa
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	1200 - 1800 MPa
Taber Abrasion, mg/1000 Cycles	16.5
Izod Impact, Notched	0.107 - 1.39 J/cm
Elektriksel Özellikler	Metrik Değerler
Electrical Resistivity	1.00e+10 - 1.00e+17 ohm-cm
Surface Resistance	1.00e+9 - 1.00e+16 ohm
Static Decay	0.0100 - 0.0400 sec
Dielectric Constant	2.80 - 4.00
Dielectric Constant, Low Frequency	3.00 - 3.80
Dielectric Strength	17.7 - 60.0 kv/mm
Dissipation Factor	0.0300 - 0.0600
Dissipation Factor, Low Frequency	0.0200 - 0.0500
Comparative Tracking Index	600 V
Termal Özellikler	Metrik Değerler
CTE, linear 20°C	54.0 - 150 µm/m-°C
CTE, linear 100°C	61.2 - 95.4 µm/m-°C
Specific Heat Capacity	1.46 - 2.05 J/g-°C
Thermal Conductivity	0.187 - 0.216 W/m-K
Melting Point	130 - 157 °C
Maximum Service Temperature, Air	71.0 - 98.0 °C
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	73.0 - 166 °C
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	51.7 - 106 °C
Vicat Softening Point	58.3 - 170 °C
Annealing Point	60.0 - 90.0 °C
Glass Temperature	100 - 122 °C
Flammability, UL94	HB
Oxygen Index	18.00%
Glow Wire Test	700 °C
Optik Özellikler	Metrik Değerler
Refractive Index	1.38 - 1.54
Haze	0.500 - 98.0 %
Yellow Index	-1.015
Transmission, Visible	77.0 - 93.0 %
UV Transmittance	0.190 - 2.50 %
İşleme Özellikleri	Metrik Değerler
Processing Temperature	-48.0 - 265 °C
Feed Temperature	200 - 220 °C
Rear Barrel Temperature	150 - 230 °C
Middle Barrel Temperature	180 - 240 °C
Front Barrel Temperature	210 - 240 °C
Nozzle Temperature	220 - 245 °C
Adapter Temperature	230 - 240 °C
Die Temperature	220 - 260 °C
Head Temperature	225 - 240 °C
Mold Temperature	32.2 - 107 °C
Roll Temperature	80.0 - 100 °C
Drying Temperature	60.0 - 109 °C
Dry Time	2.00 - 6.00 hour
Injection Pressure	58.8 - 147 MPa
Back Pressure	0.276 - 0.689 MPa
Screw Speed	20.0 - 80.0 rpm

### Ek3. Duy Malzemesi Özellikleri Tablosu (Polyimide)

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Density	10.0 - 40.0 %
Filler Content	0.0100 - 3.10 %
Water Absorption	0.0700 - 0.240 %
Moisture Absorption at Equilibrium	0.800 - 1.30 %@Temperature 23.0 - 23.0 °C
Water Absorption at Saturation	0.400 - 1.30 %
Linear Mold Shrinkage	0.000100 - 0.0120 cm/cm
Linear Mold Shrinkage, 6.35 mm section	0.00300 - 0.0140 cm/cm
Melt Flow	2.00 - 37.0 g/10 min
<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Hardness, Rockwell M	82.0 - 115
Hardness, Rockwell R	120 - 129
Tensile Strength, Ultimate	0.0480 - 830 MPa
Tensile Strength, Yield	87.0 - 230 MPa
Elongation at Break	1.00 - 110 %
Elongation at Yield	1.50 - 90.0 %
Modulus of Elasticity	2.32 - 47.0 GPa
Flexural Modulus	1.378 - 38.0 GPa
Flexural Yield Strength	31.0 - 490 MPa
Compressive Yield Strength	0.00217 - 207 MPa
Compressive Modulus	1.57 - 4.00 GPa
Shear Strength	60.8 - 91.2 MPa
Izod Impact, Unnotched	1.09 - 5340 J/cm
Coefficient of Friction	0.230 - 0.310
Tear Strength	1.75 - 26.3 kN/m
Limiting Pressure Velocity	1.14 - 3.53 MPa-m/sec
Compression Set	30.0 - 40.0 %
Izod Impact, Notched	0.0700 - 1.60 J/cm
<b>Elektriksel Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Electrical Resistivity	100000 - 4.00e+19 ohm-cm
Surface Resistance	1000 - 1.00e+18 ohm
Dielectric Strength	2.50 - 3.80
Dielectric Breakdown	4000 - 17000 V
Dissipation Factor	0.000900 - 0.00380
Arc Resistance	123 - 135 sec
Comparative Tracking Index	175 - 399 V
<b>Termal Özellikler</b>	<b>Metrik Değerler</b>
CTE, linear 20°C	5.94 - 60.0 µm/m-°C
CTE, linear 20°C Transverse to Flow	47.0 - 55.0 µm/m-°C
CTE, linear 250°C	6.00 - 82.5 µm/m-°C
Specific Heat Capacity	0.920 - 1.42 J/g-°C
Thermal Conductivity	0.0420 - 0.488 W/m-K
Melting Point	388 - 388 °C
Maximum Service Temperature, Air	177 - 486 °C
Transformation Temperature, Tg	250 °C
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	-500 - 271 °C
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	160 - 417 °C
Minimum Service Temperature, Air	-73.3 - -28.9 °C
Glass Temperature	250 - 323 °C
Decomposition Temperature	548 - 623 °C
UL RTI, Electrical	50.0 - 130 °C
UL RTI, Mechanical with Impact	50.0 - 130 °C
UL RTI, Mechanical without Impact	50.0 - 130 °C
Flammability, UL94	V-0 - 5VA
Flammability Test	0.000 - 10.0
Flame Spread Index	0.000 - 5.00
Oxygen Index	30.0 - 47.0 %
<b>İşleme Özellikleri</b>	<b>Metrik Değerler</b>
Processing Temperature	371 - 420 °C
Mold Temperature	177 - 232 °C
Drying Temperature	204 °C
Moisture Content	0.01%
Dew Point	-40.0 °C
Injection Pressure	138 - 193 MPa

## **ÖZGEÇMİŞ**

1984' de Isparta' da doğdu. 2002 yılında, Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı yüksek öğrenimini 2006 yılında bitirdi.

2006 Temmuz ayı itibari ile özel sektörde Araştırma ve Geliştirme faaliyetleri çerçevesinde çalışmalarda bulunmakta olan H. Emre ÇUBUKLUSU 2008 yılından beri otomotiv yan sanayi sektöründe Ar-Ge çalışmalarına devam etmektedir.