

OTOMOTİV AYDINLATMA ÜRÜNLERİNDEKİ ISI TRANSFERİNİN SAYISAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Mustafa Emre BAYRAKTAR*, İrfan KARAGÖZ**, Mehmet AKTAŞ*, Teoman ŞENYILDIZ*

*Magnet Marelli Mako Elektrik San. Tic. A.Ş., BURSA,
mustafaemre.bayraktar@magnetimarelli.com

** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, BURSA,
karagoz@uludag.edu.tr

*Magnet Marelli Mako Elektrik San. Tic. A.Ş., BURSA, mehmet.aktas@magnetimarelli.com

*Magnet Marelli Mako Elektrik San. Tic. A.Ş., BURSA, teoman.senyildiz@magnetimarelli.com

ÖZET

Bu çalışmada araç aydınlatma sistemlerinde gerçekleşen ısı transferi sayısal analiz yöntemi yardımı ile incelenmiştir. Yapılan sayısal çalışmaların deney ile doğrulanması aşamasında dikdörtgen kesitli saydam polikarbonat (PC) malzemeden üretilen ve aydınlatma aracı olarak P21W tipindeki ışık kaynağının yerleştirildiği ürün kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümü için ürün üzerine yerleştirilmiş termokupllardan yararlanılmıştır. Aynı ürün içerisindeki ısı transferi ile ilgili parametreler ANSYS CFX yazılımı ile hesaplanmıştır. Yapılan sayısal analizlerde akışın sürekli rejimde ve laminer olduğu kabul edilmiş ve çözümlemelerde 3 boyutlu Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. Hesaplama ile deneysel ölçüm sonucunun sıcaklıklar açısından uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca geometrik boyutlandırmanın aydınlatma ürünündeki sıcaklıklar üzerindeki etkisi de sayısal analizler yardımı ile ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Otomotiv, aydınlatma, ısı transferi, doğal taşınım, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD)

1. GİRİŞ

Araç dış aydınlatma ürünlerinde kullanılan plastik komponentler sistemin çalışması sırasında oluşan ısı ile deformasyona uğrayabilmektedir. Oluşan deformasyonlar estetik düzeyde olabileceği gibi, bazı durumlarda reflektör yüzeyinin yansıtma özelliğini değiştirerek ürünün aydınlatma performansını da etkileyebilecek seviyede olabilir. Tasarım aşamasında sıcaklık etkileri göz önüne alınarak gerekli aksiyonların alınması, ürünün çalışması sırasında bu tip problemlerin yaşanmaması için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle aydınlatma ürünlerinin tasarımında komponentlerde görülecek sıcaklıkların öngörülebilmesi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemine başvurulmaktadır.

Literatürde araç aydınlatma ürünlerinde HAD kullanılarak sıcaklıkların hesaplanmasına yönelik çalışmalar mevcuttur [1] [2]. Sıcaklık dağılımı ve aynı zamanda far içerisindeki akışın incelendiği

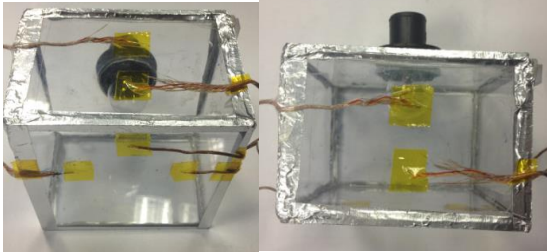
deneysel bir çalışma ise Sousa ve ark. [3] tarafından sunulmuştur. Liang ve ark. [4] ise otomobil sis aydınlatma ünitesindeki reflektörün termal davranışını HAD yöntemi ile inceleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Senin ve ark. da [5] otomobil sis lambasının lens ve gövdesi üzerinde oluşan sıcaklık dağılımlarını nümerik yöntem ile incelemişlerdir. Otomotiv aydınlatma ünitesinin komple termomekanik analizi için HAD ve yapısal dayanım analizi yardımı ile yöntem geliştirmeyi amaçlayan bir çalışma ise Cimolin ve ark. [6] tarafından sunulmuştur.

Tasarıma doğru yön verebilmek için sıcaklığı etkileyen parametrelerin incelenmesi önemlidir. Kullanılan ışık kaynağı tipi bu parametreler arasındadır. Yüksek güç tüketen ışık kaynakları daha fazla ısı üreteceğinden üründe kullanılacak malzemelerin yüksek ısıl dayanıma sahip olması gerekecektir. Sıcaklığı etkileyecek bir diğer husus üründe kullanılacak ısı kalkanı gibi ek malzemelerdir. Genellikle metalden üretilen ısı kalkanları, ısı kaynağı

ve plastik komponent arasında konumlandırılarak plastik komponentlerde yüksek sıcaklık oluşumunu engelleyebilirler. Bir diğer etken ise komponentlerin ısı kaynağı ile arasındaki uzaklıktır. Bu çalışmada da ışık kaynağının gövde ve lens ile arasındaki uzaklığının sıcaklık üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Aynı zamanda kullanılan sayısal yöntem deneysel bir çalışma ile de karşılaştırılmıştır.

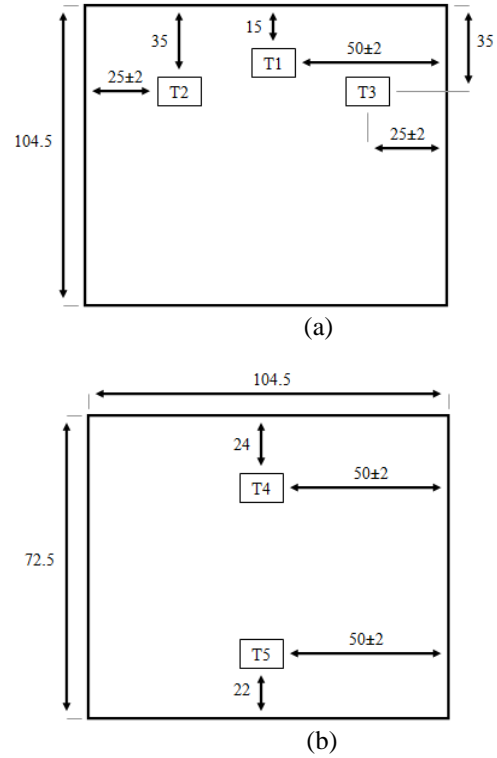
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada şeffaf PC-CLEAR malzemeden üretilmiş bir kutu kullanılmıştır (Şekil 1). Kutu içersine P21W tipinde bir ışık kaynağı yerleştirilmiştir. P21W lamba filamanı dikey konumdadır. Deney süresince ortam sıcaklığının sabit tutulabilmesi ve sıcaklıkların dış ortamdaki hava hareketlerinden etkilenmemesi için deney iklimik test kabini içerisinde gerçekleştirilmiştir.



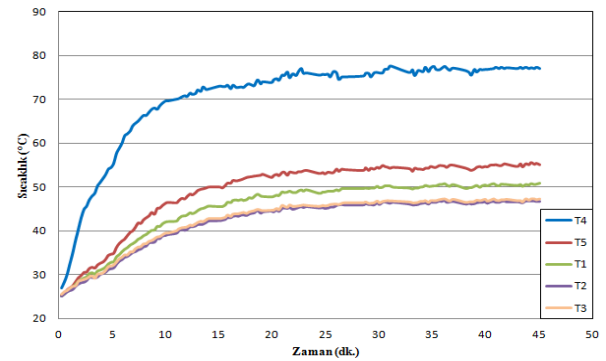
Şekil 1. Deney düzeneği

Kabin içersindeki ortam sıcaklığı 25°C olarak ayarlanmış ve ölçüm hassasiyeti $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'dir. Sıcaklık ölçümü için kutu üst yüzeyinde iki ve ön yüzeyinde üç adet termokupl kullanılmıştır. Termokupl konumları ve kutunun boyutları Şekil 2'de görülmektedir. PC-CLEAR malzeme kalınlığı 3.3 mm olup ışık kaynağının yerleştirilmesi için oluşturulan delik kutu arka yüzeyinin merkezinde bulunmaktadır ve çapı yaklaşık 27.5 mm'dir.



Şekil 2. Kutu boyutları ve termokupl konumları (mm cinsinden) için a) ön ve b) üst görünüş

Deneyde ışık kaynağına 13.5 V gerilim ve 1.82 A akım uygulanmış olup tükettiği güç 24.57 W 'dir. Kutu içersindeki sıcaklıkların 45 dakikada kararlı hale geldiği görülmüştür. Termokupllarda okunan sıcaklık değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

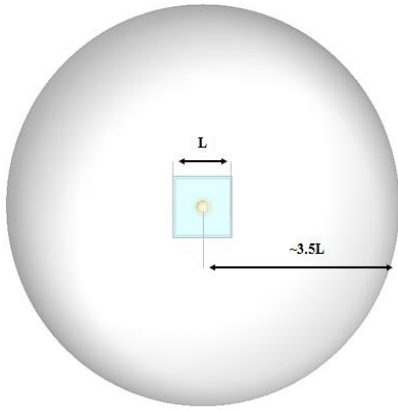


Şekil 3. Sıcaklık - zaman eğrisi

Yerleştirilen termokupllar arasında en yüksek sıcaklık T4 üzerinde 77.5°C olarak ölçülmüştür. Ayrıca üst yüzeyde bulunan T5 üzerinde sıcaklık 56°C 'dir. Ön yüzeyde bulunan T1, T2 ve T3 termokupllarında ölçülen sıcaklıklar ise sırasıyla 51°C , 47°C ve 47.5°C 'dir.

3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Yapılan simülasyonlardan ilki kullanılacak sayısal yöntemin doğrulanması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut geometriye daha uygun olduğu için tetrahedral yapıda ve yaklaşık 1.5 milyon hücreden oluşan çözüm ağı (mesh) kullanılmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan üç boyutlu (3B) geometri; PC-CLEAR kutu, lamba, soket ve kutu dışındaki hava hacmini temsil eden küreden oluşmaktadır. L=106 mm olmak üzere küre yarıçapı filaman merkezli ve yaklaşık 3.5 L olarak seçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Ortam havası için oluşturulan küre

3.1 Doğrulama Aşaması

Kabuller ve Sınır Şartları

Yapılan sayısal çalışmalarda akışın laminar ve sürekli rejimde olduğu kabul edilmiştir. Akış alanının ve ısı transferinin hesaplanması için üç boyutlu süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ANSYS CFX 12.1 yazılımında çözdürülmüştür. İlgili denklemler kartezyen koordinat sisteminde sıkıştırılmaz ve kararlı rejimdeki akış için Bossinesq yaklaşımı kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir [7].

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} +$$

$$v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

(2)

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} +$$

$$v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

(3)

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} +$$

$$v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g\beta(T - T_{\infty}) \quad (4)$$

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

(5)

Burada α ısı yayılım katsayısı, g yerçekimi ivmesi, β ısıl genleşme katsayısı, ν kinematik viskozite, ρ yoğunluk, T ise sıcaklıktır. Lamba, kutu ve diğer tüm duvar cidarlarında hız bileşenleri için kayma olmayan koşullar geçerli olup sınır şartları aşağıdaki gibidir.

Hız; tüm duvar cidarlarında, $u=v=w=0$ m/s

Basınç; küre yüzeyi, $p=1$ atm

Sıcaklık; küre yüzeyi, $T=T_{\infty}=25^{\circ}\text{C}$

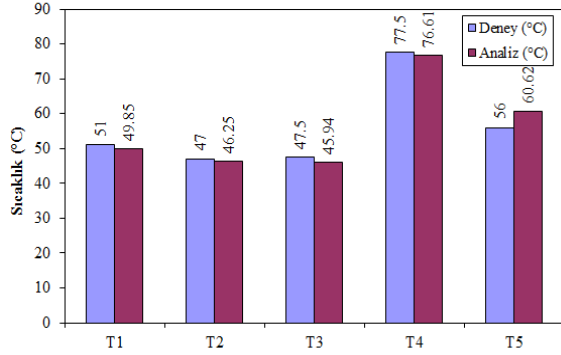
Çalışmada ışıyım ile olan ısı transferinin hesaplanabilmesi için nümerik kararlılığı ve sonuçlardaki hassasiyetinden dolayı literatürdeki benzer çalışmalarda da tercih edilmiş olan Monte-Carlo yöntemi seçilmiştir [8].

Çalışmada PC-CLEAR kutu ve cam ışık kaynağı yarı saydam, soket ise opak olarak tanımlanmıştır. Kutu içinde ve dışında akışkan olarak hava, ışık kaynağı içerisinde ise argon kullanılmıştır. Işık kaynağı içerisinde bulunan filaman tungsten malzeme olarak tanımlanmıştır. $P=24.57$ W ve V_f filaman hacmi olmak üzere filaman P/V_f büyüklüğünde hacimsel ısı kaynağı olarak olarak tanımlanmıştır.

Sonuçlar ve Karşılaştırma

Gerçekleştirilen sayısal çalışmadaki sıcaklıklar deneyde ölçülmüş olan 5 termokupl sıcaklığı ile karşılaştırıldığında simülasyon ve test değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Şekil 5'de

termokupllar için deney ve analiz sıcaklık değerleri verilmiştir.



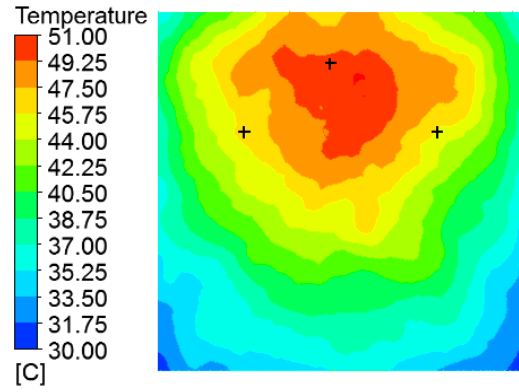
Şekil 5. Deney ve sayısal analizdeki sıcaklık karşılaştırması

Tablo 1. Deney ve sayısal analizdeki yüzde hata hesabı

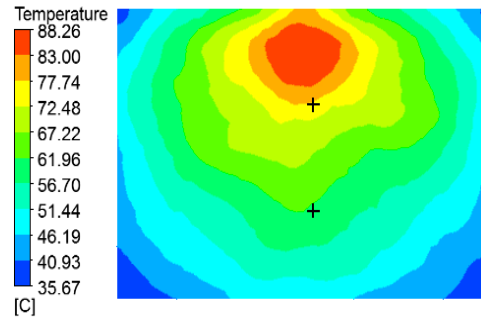
	Deney (°C)	Analiz (°C)	Hata (%)
T1	51	49.85	2.25
T2	47	46.25	1.60
T3	47.5	45.94	3.28
T4	77.5	76.61	1.15
T5	56	60.62	8.25

Deney ve analizlerde en yüksek hatanın T5’de %8.25 olduğu ve en küçük farkın ise T4’de ve %1.15 değerinde olduğu görülmüştür. T1, T2 ve T3 için deney ve sayısal analiz arasındaki farklar ise sırasıyla %2.25, %1.6 ve %3.28 olarak hesaplanmıştır.

Sayısal çalışmada hesaplanan kutu dış yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları ön yüzey ve üst yüzey için sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir. Şekillerde deneydeki ölçüm noktaları “+” işareti ile belirtilmiştir.

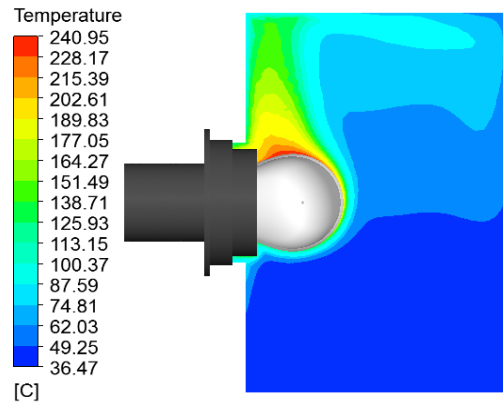


Şekil 6. Ön yüzey üzerinde hesaplanan sıcaklık dağılımı



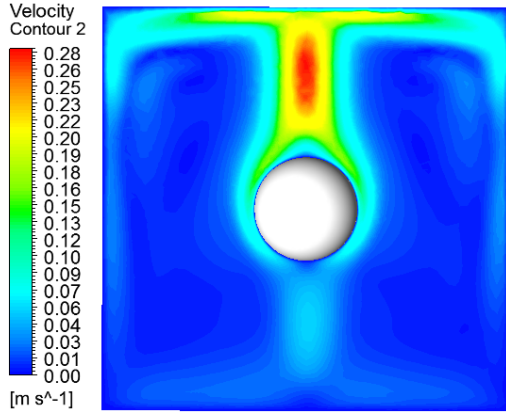
Şekil 7. Üst yüzey üzerinde hesaplanan sıcaklık dağılımı

Kutu dışının üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklık 88°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer deneydeki T4 termokupl konumunun gerisinde olduğu görülmektedir (Şekil 7). Kutu içerisindeki sıcaklık dağılımı incelendiğinde kutu üst yüzeyindeki en yüksek sıcaklığın ışık kaynağından yükselen sıcak havadan kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Kutu içerisinde hesaplanan sıcaklık dağılımı

Işık kaynağı etrafında hız dağılımı incelendiğinde en yüksek hız değerinin 0.28 m/s olduğu görülmektedir (Şekil 9).

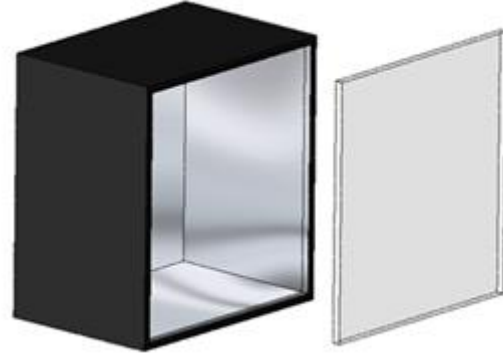


Şekil 9. Işık kaynağı etrafında hesaplanan hız dağılımı

3.2 Geometrinin Etkisi

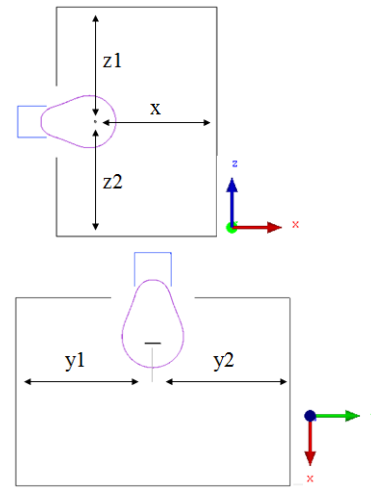
Geometrinin sıcaklık üzerindeki etkisinin incelendiği bu aşamada kutu üst yüzeyi ile lamba; lens ile lamba arasındaki mesafe artırılarak kutu üzerindeki sıcaklıklar simülasyon yardımı ile hesaplanmıştır.

Bu aşamada kutu, otomotiv aydınlatma ürününü daha iyi temsil edebilmesi için gövde ve lens olmak üzere iki ayrı komponent olarak modellenmiştir. Gövde Polikarbonat/Akrilonitril Bütadien Stiren (PC/ABS) malzeme ve opak olarak tanımlanmıştır. Gövde dış yüzeyinin siyah renkte olduğu, iç yüzeyinin ise reflektör özelliğinden dolayı metalize kaplı olduğu kabul edilmiştir. Lens olarak şeffaf PC malzeme seçilmiştir. Şekil 10'da 3B gövde ve lens geometrisi görülmektedir.



Şekil 10. 3B Gövde ve lens geometrisi

Şekil 11'de kullanılan geometrinin şematik gösterimi yer almaktadır. Burada $z1$ filaman ile gövde üst yüzeyi arasındaki uzaklık $z2$ filaman ile gövde alt yüzeyi arasındaki uzaklık, $y1=y2$ filaman ile yan yüzeyler arasındaki uzaklık ve x ise filaman lens arası mesafedir.



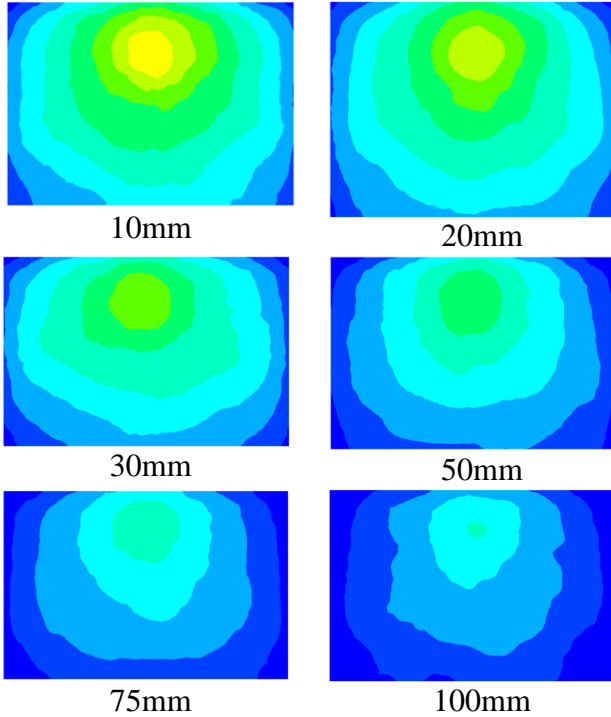
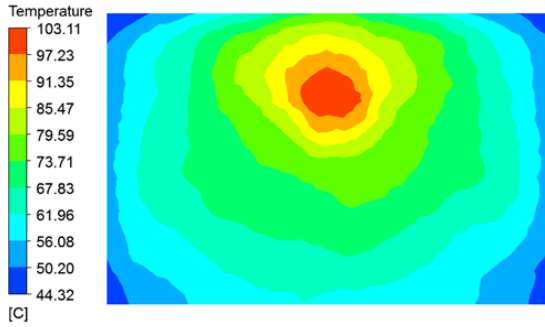
Şekil 11. Geometrinin şematik gösterimi

Gövde Üst Yüzeyi

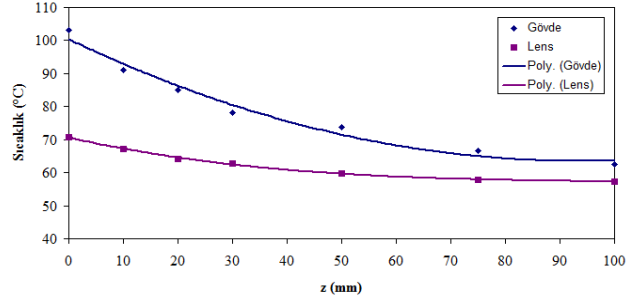
Yapılan ilk hesaplamada filaman merkezi ile gövde üst yüzeyi arasındaki $z1=52.25\text{mm}$ 'dir. $z1$ değerini 10, 20, 30, 50, 75 ve 100mm daha artırarak ve diğer mesafeler ilk hesaplamada kullanılan $x=52\text{mm}$, $y1=y2=53\text{mm}$ ve $z2=52.25\text{mm}$ 'de değerlerinde sabit tutularak simülasyonlar tekrarlanmıştır. Şekil 12'de sadece $z1$ 'in değiştirilmesi ile yapılan hesaplamalarda gövde üst

yüzeyindeki sıcaklık dağılımları gösterilmiştir.

$z_1=52.25\text{mm}$ konumunda gövde üzerindeki en yüksek sıcaklık 103°C ve lens üzerinde 70°C olarak hesaplanmıştır. Gövde üzerindeki sıcaklık z_1 'in 50mm ve 100mm artırılması ile sırasıyla 73°C ve 68°C değerlerinde hesaplanmıştır. Şekil 13'de gövde ve lens üzerindeki en yüksek sıcaklığın z_1 ile değişimi için hesaplanan değerlere ait grafik bulunmaktadır.



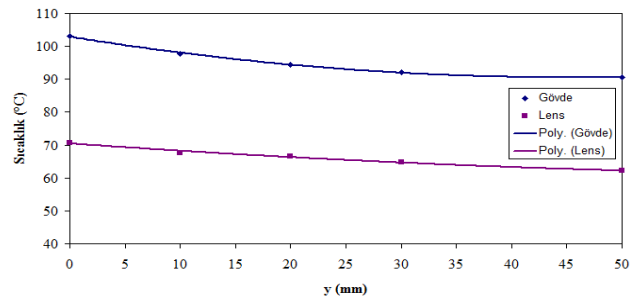
Şekil 12. Farklı z_1 mesafelerinde gövde üst yüzeyinde hesaplanan sıcaklık dağılımı



Şekil 13. z_1 ile sıcaklığın değişimi

Gövde Yan Yüzeyleri

Yapılan hesaplamalarda y_1 ve y_2 mesafeleri eşit büyüklükte değiştirilmiş olup ilk durumda $y_1=y_2=53\text{mm}$ 'dir. Hesaplamalarda diğer uzunluklar sabit tutulmuştur ve değerleri $z_1=z_2=52.25\text{mm}$ ve $x=52\text{mm}$ 'dir. $y_1+y_2=y$ olarak tanımlanırsa ve y ilk duruma göre 50mm arttırıldığında gövde üzerindeki en yüksek sıcaklık 91°C olarak hesaplanmıştır. Lens sıcaklığında ise ilk duruma göre yaklaşık 8°C 'lik düşüş olmuştur. $y_1=y_2$ mesafesinin diğer uzunluklara göre sıcaklık üzerindeki etkisi nispeten daha az olduğundan bu kısımda yapılan analizlerde y yönünde 50mm'ye kadar olan artışın incelenmesi yeterli bulunmuştur. Şekil 14'de gövde ve lens üzerindeki en yüksek sıcaklığın $y_1=y_2$ mesafesi ile değişimi için hesaplanan değerlere ait grafik bulunmaktadır.

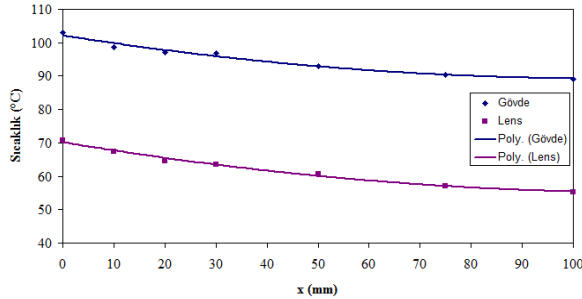


Şekil 14. y ile sıcaklığın değişimi

Lens Yüzeyi

Lensin filaman ile arasındaki uzaklık x ilk durumda 52mm olup bu mesafe 10, 20, 30, 50, 75 ve 100mm daha arttırıldığında gövde ve lens üzerinde hesaplanan en

yüksek sıcaklıklar Şekil 15’de verilmiştir. Buna göre gövde üzerindeki sıcaklık x mesafesinin 100mm artırılması ile ilk duruma göre yaklaşık 14°C düşerken lensteki sıcaklık yaklaşık olarak 16°C düşmüştür.



Şekil 15. x ile sıcaklığın değişimi

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada geometrik boyutların değiştirilmesiyle aydınlatma ürünü üzerinde görülen sıcaklıkların değişimi incelenmiştir. Kullanılan sayısal yöntem deneysel bir çalışma ile desteklenmiştir. Hesaplama ile elde edilen sıcaklıkların deneyde ölçülen sıcaklıklar ile uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 5).

z1’in 100mm artışı ile gövdedeki sıcaklık ilk duruma göre 40°C, lensteki sıcaklık ise 13.5°C düşmüştür. Belirli bir z1 değerinden sonra sıcaklık düşüşünün azaldığı görülmüştür. 50mm’ye kadar gövdede olan sıcaklık düşüşü 30°C iken, 75mm ve 100mm arasındaki düşüş sadece 4°C’dir. Yan yüzeylerin etkisinin nispeten küçük olduğu hesaplanmıştır. y ilk duruma göre 50mm arttırıldığında gövdedeki sıcaklık 12°C düşerken, lens sıcaklığı da 8°C azalmıştır. Lens sıcaklığındaki en yüksek düşüşün x değişimi ile olduğu görülmüştür. x’in 100mm arttırılması ile lens sıcaklığı 15.5°C azalmıştır ve bu değer z1’de elde edilen değere yakın olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak farklı yöndeki mesafeler arttırılarak yapılan çalışma ve incelenen parametreler arasında gövde sıcaklığı üzerindeki en büyük etkinin z1 uzaklığı ile

ve en düşük etkinin ise y mesafesi ile olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Chenevier, C., (2001), “Thermal Simulation in Lighting Systems - 5days/5degrees”, Proceedings of the Fourth International Symposium Progress in Automotive Lighting, Darmstadt, Germany, pp. 109–118.
- [2] Wulf, J., Reich, A., (2002), “Temperature Loads in Headlamps”, SAE Paper No. 2002-01-0912.
- [3] Sousa, J.M.M., Vogado, J., Costa, M., Bensler, H., Freek, C., Heath, D., (2005), “An Experimental Investigation of Fluid Flow and Wall Temperature Distributions in an Automotive Headlight” International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 26, pp. 709-721.
- [4] Liang, E. W., R. D. Lillquist, J. P. Gallo, A. J. Poslinski, A. Grimson, B. R. Strauss, (1997), Predicting the Thermal Performance of An Automotive Fog Lamp Reflector. SAE Publications, 970912.
- [5] Senin, S., E.P. Wachsmann, C. Karcher, (2005), Thermal Analysis in Automotive Components, ISAL 2005, TU Darmstadt.
- [6] Cimolin, F., A. Menotti, M. Rabito, R. Vadori, (2008), “Analisi Termo-Meccanica Con Tecniche Combinata Strutturali e Cfd Del Comportamento Di Un Fanale Autoveicolistico In Condizioni Di Prova e Di Utilizzo”, AIAS - Associazione Italiana Per L’analisi Delle Sollecitazioni, XXXVII Convegno Nazionale, 10-13 Settembre 2008, Università Di Roma “La Sapienza”.
- [7] Çengel Y., (2002), Heat Transfer A Practical Approach, McGraw Hill, 2nd Edition.
- [8] Fischer, P., (2001), “Radiative Heat Redistribution and Natural Convection Flow Inside an Automotive Fog Lamp”, Proceedings of the Sixth International Symposium on Automotive Lighting, Darmstadt, Germany.