



Örnek Bir Sis Farında LED Soğutulmasında Özgün Tasarım ve Kanatçıklı Yapılı Doğal Taşınımın Zorlanmış Taşınım ile Nümerik Karşılaştırılması

M. Emre Bayraktar¹, İrfan Karagöz², K. Furkan Sökmen^{3*}, Erol Kocabıyık⁴, Mehmet Mercan⁵, Ali Ergin⁶

Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ş., (ORCID: 0000-0001-6164-6447), emrbayraktar@gmail.com

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7442-2746), karagoz@uludag.edu.tr

^{3*} Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri ve Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8647-4861), furkan.sokmen@btu.edu.tr

⁴Feka Otomotiv Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1573-0693), erol.kocabiyik@fekaautomotive.com,

⁵Feka Otomotiv Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9066-9490), mehmer.mercan@fekaautomotive.com

⁶Rubida Mühendislik Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1682-6961), ali.ergin@rubida.com.tr

(1st International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2022, September 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1173709)

ATIF/REFERENCE: Bayraktar, M. E., Karagöz, İ., Sökmen, K. F., Kocabıyık, E. Mercan, M. & Ergin, A.. (2022). Örnek Bir Sis Farında LED Soğutulmasında Özgün Tasarım ve Kanatçıklı Yapılı Doğal Taşınımın Zorlanmış Taşınım ile Nümerik Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 41-48.

Öz

Aydınlatma ürünlerinde kullanılan elektronik bileşenler ve LED'ler estetik kaygılara ve tasarıma bağlı olarak giderek daha sınırlı hacimlerde çalışmaya başlamıştır. Bu durum LEDlerden giderek daha yüksek ışık şiddeti talep edilmesine yol açmıştır. Bu da LED'lerin çalışma sıcaklığının yükselmesine sebep olmaktadır. Bu yüzden yüksek güçlerde çalışan LED'ler için ısı yönetim konusu önemli hale gelmiştir. LED'lerin soğutulmasında ısı kanatçığı kullanılarak doğal taşınım yönteminden sıkça yararlanılabilmektedir Ancak sis farı gibi ürünlerde hacmin küçülmesi doğal taşınım yöntemini yetersiz bırakmaktadır. Böyle durumlarda zorlanmış taşınım alternatif bir çözümdür. Bu çalışmada örnek bir sis farında doğal taşınım ve zorlanmış tasarım karşılaştırılması nümerik olarak yapılmıştır. Doğal taşınımında sis farında dış havadan faydalanacak şekilde kanatçıklı tasarım ve hiçbir tasarım değişikliğinin olmadığı doğal taşınım çözümlenmesi yapılırken zorlanmış tasarımda fan tanımı ile 10 m/s'lik hava hızı oluşturularak analiz sonuçları alınmıştır. Ayrıca farklı fan hızlarında ısı tranfer katsayısı ve sıcaklık sonuçları alınmış ve literatürle doğrulanmıştır. Çalışmada analizlerimiz farklı bir geometri üzerinde testlerle doğrulanarak yapılmıştır. Analizlerde eleman sayısından bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Nümerik analizler ANSYS 2022 R2 yazılımı ile yapılmıştır. Zorlanmış taşınımında farklı fan hızları içinde sonuçlar alınmıştır. Zorlanmış taşınımında elde edilen sonuçlar literatürle doğrulanırken. Özgün tasarım ve kanatçık ile LED soğutulmasında zorlanmış taşınım performansının yakalandığı hatta kanatçık etkisi ile daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Doğal taşınımında LED T_j sıcaklığı 170 °C iken zorlanmış taşınımında 149 °C fakat tasarım değişikliği ve kanatçık ilavesi ile T_j değeri doğal taşınımında 133 °C'ye kadar düşürülebildiği çalışmada tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LED soğutması, Doğal taşınım, Zorlanmış Taşınım, Nümerik Analiz, CFD, Kanatçık, Tasarım.

Numerical Comparison of Original Design and Finned Natural Convection with Forced Convection in LED Cooling in a Sample Fog Light

Abstract

Electronic components and LEDs used in lighting products have started to work in more and more limited volumes due to aesthetic concerns and design. This has led to the demand for increasingly higher luminous intensity from LEDs. This causes the operating temperature of the LEDs to increase. Therefore, thermal management has become important for LEDs operating at high power. Natural convection method can be used frequently by using heat fins for cooling LEDs. In such cases, forced convection is an alternative solution. In this study, the comparison of natural convection and forced design in a sample fog light was made numerically. In natural

* Sorumlu Yazar: furkan.sokmen@btu.edu.tr

convection, the design with fins to benefit from the outside air in the fog lights and the natural convection analysis where there is no design change, the analysis results were obtained by creating the fan definition in the forced design and the air velocity of 10 m/s. In addition, the heat transfer coefficient and temperature results at different fan speeds were obtained and verified with the literature. In the study, our analyzes were carried out by verifying with tests on a different geometry. In the analysis, independence from the number of elements was studied. Numerical analyzes were performed with ANSYS 2022 R2 software. Results were obtained at different fan speeds in forced discharge. While the results obtained in forced transport are confirmed by the literature. It has been determined that the forced convection performance is achieved in LED cooling with the original design and fin, and even better results are obtained with the fin effect. It has been determined in the study that while the LED T_j temperature is 170 °C in natural convection, it is 149 °C in forced convection, but with the design change and the addition of fins, the T_j value can be reduced to 133 °C in natural convection.

Keywords: LED cooling, Natural convection, Forced Convection, Numerical Analysis, CFD, Fin, Design.

1. Giriş

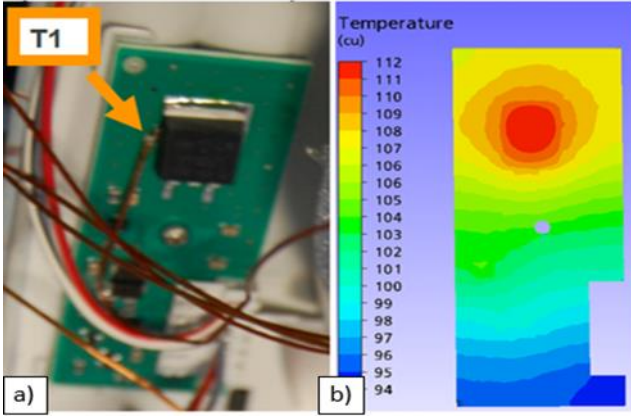
LED'ler sahip oldukları yüksek verimlilikleri, uzun ömürlü olmaları ve düşük güç tüketimleri gibi önemli avantajları sayesinde günümüzde birçok aydınlatma uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur (Mills, 2003). Cep telefonlarının ekran aydınlatması, LCD ekranların aydınlatılması, büyük işaret lambaları ve göstergeler ve otomobil iç ve dış aydınlatma üniteleri kullanım alanlarına örnek verilebilir. Günümüzde LED'lerden giderek daha yüksek ışık şiddeti elde edilmek istenmektedir. Böyle bir sistemden yüksek verim elde edilebilmesi için de optik ve termal tasarım giderek önemli hale gelmektedir. Üretilen ısı verimli bir yöntemle uzaklaştırılmadığı sürece LED'lerdeki ışık yayma verimliliği düşecektir. LED'in çalışma sıcaklığı düşürüldüğünde ise daha yüksek verim elde edilecektir. Ancak artan talepler doğrultusunda daha yüksek güç tüketen LED'ler daha küçük hacimler içerisinde kullanılmak istenmektedir. Bu da LED'ler için ısı tasarımı zorlaştırmaktadır (Lui ve diğ., 2016). Arık ve diğ. (2006) LED'lerde meydana gelen ısı problemleri anlamak için sonlu elemanlar yöntemini kullanarak LED üzerindeki bölgesel sıcak noktaların etkisini incelemişlerdir [3]. Arık ve diğ. (2006) LED'lerin sistem düzeyinde ısı tasarımını araştırdığı diğer çalışmada ise farklı malzemeden üretilmiş LED'lerin termal performanslarını incelemişlerdir. Yüksek iletim katsayısına sahip malzeme olan silisyum karbürün, safire göre 2 kat daha iyi ısı performansına sahip olduğu bulunmuştur (Arık ve diğ., 2006). Bir diğer çalışmada ısı dağıtıcısına sahip LED'li spot modülü geliştirmişlerdir. Doğal taşınım ile soğutma yapılan bu çalışmada silindirik boruda dikey kanatlara sahip ısı dağıtıcısı kullanılarak LED'in konumlandırılma problemi çözülmüştür (James, 2013). Bir diğer çalışmada doğal taşınım ile soğutmanın olduğu LED'li bir sistemde PCB'nin değişik açılarda bulunmasının ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir (Yung ve diğ., 2010). Bazı araştırmacılar termoelektrik soğutucu kullanarak LED soğutma sistemi tasarımlarını incelemişlerdir. Literatürde başka bir çalışmada termoelektrik soğutucuya sahip sistemi ısı dağıtıcısı ve fan bulunan soğutma sistemi ile karşılaştırılmıştır (Daliang, 2010). Buna göre termoelektrik soğutucunun, ısı dağıtıcısı ve fan içeren sisteme göre hava hızının 3,6m/s olduğu durumda ve LED gücünün 35W'dan az olduğu durumlarda daha verimli olduğu görülmüştür (Chun ve diğ., 2007). Termoelektrik soğutucu kullanılan bir diğer çalışmada ise silikon esaslı termoelektrik soğutucu bulunan LED soğutma sisteminin ısı direnci düşüreceği görülmüştür (Yi, 2017). LED'li sistemlerde ısı tasarım yapılırken sonlu elemanlar yönteminden sıklıkla yararlanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada 10 adet LED, PCB'nin arkasında kapalı bir hacim ve dikey kanatçıkların bulunduğu bir sistemde farklı ısı taşınım katsayıları ile ısı dağılımının değişimini incelemişlerdir. Isı taşınım katsayısını arttırmak için bir fanın kullanılmasıyla LED sıcaklığının düşürüldüğü görülmüştür (Yi, 2017). Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada ise ısı

dağıtıcısında bulunan kanatçıkların sayısı, genişlikleri ve uzunluklarının ısı tasarıma etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre kanatçıkların uzunlukları artırıldığında LED sıcaklığının düştüğü, ancak kanatçık kalınlığı artırıldığında ise arttığı görülmüştür. Kanatçık sayısı ve uzunluğunun artırılmasıyla LED sıcaklığının belirli bir değere kadar düşürülebileceği ancak bu değerden sonra çok küçük değişiklik gözlemlendiği tespit edilmiştir (Yi, 2017). Jen (2009) çalışmasında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak LED'li sistemlerin termal performanslarını araştırmıştır (Jen, 2009). Literatürde soğutma sisteminde akışkan olarak hava yerine sıvı kullanılan çeşitli çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmaların birinde çalışmada sıvı soğutmalı bir sistem geliştirmişlerdir. Yaptıkları karşılaştırmada hava ile soğutmanın yetersiz kalabildiğini göstermişlerdir. Çalışmada ısı verimi iyileştirebilmek için sıvı akışımı ve soğutma sisteminde kullandıkları ısı dağıtıcısını optimize etmişlerdir (Lai ve diğ., 2009). Su soğutmalı bir diğer sistemde ompa ile suyun sirkülasyonun sağlandığı sistemde LED'lerin bulunduğu yüzey ile temas edip ısınan su ısı dağıtıcısı ve fan yardımı ile soğutulmaktadır (Lui, 2012). Literatürde yapılan elektronik soğutma teknikleri üretim ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında doğal taşınım ile soğutmanın ilk tercih olduğu yetersiz soğutmaya karşın fan ile zorlanmış taşınım metoduna başvurulduğu görülmektedir. Bu çalışmada örnek bir LED aydınlatma sisteminin zorlanmış taşınım ve doğal taşınım ile soğutulması incelenmiştir. Her iki soğutma sisteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca zorlanmış taşınım ile kullanılan fanın hızı artırılarak soğutma performansının etkileri inceleniş ve literatürle karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Doğrulama Çalışması

Yapılacak analizlerden önce çalışmada kullanılan LED'in aynısının kullanıldığı farklı bir devre üzerinde analiz doğrulama çalışması yapılmıştır. Şekil.1'de görülen 1,3 W güce sahip LED üzerine bağlanan ve ölçüm parametreleri Tablo.1'de verilen K tipi termokupl (T1) Şekil.1 a'daki konuma bağlanmıştır. Şekil 2.a'daki iklimlendirme fırınında yapılan test ve analiz sonuçları Tablo.2'de verilmiştir.



Şekil 1 a) Led devresi b) Analiz doğrulama çalışması

Tablo 1 Ekipmanların çalışma aralıkları

Ekipman	Marka	Çalışma Aralığı °C	Hata
Climatic Oven	Angelantoni CST 157 2T	-80 +220	+/-0,1 °C
Thermometrler	APPA-50	-40 +204	+/-2,2 °C
Thermocouples	Standart (K type)	0 1000	+/-2,2 °C

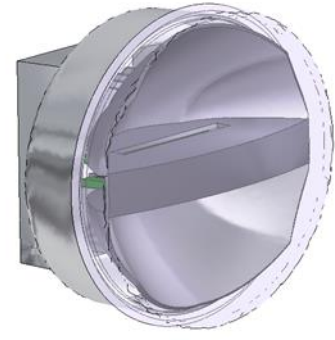


Şekil 2 a) İklemlendirme fırını b) Termometre

Tablo 2 Termokupl bağlanan noktadaki test ve analiz sonuçları

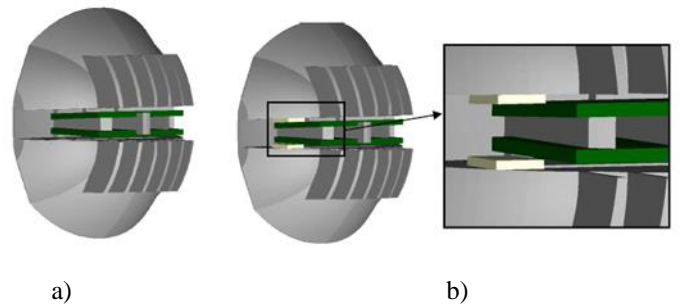
Test Temperature	CFD Result
110,45 °C	110-111 °C

Yapılacak analizlerde soğutulmak istenen LED, araçlarda yüksek güç gerektiren sis farı içinde konumlandırılmıştır. Genel manada sis farlarında klasik ampuller kullanılmaktadır. Sis farlarında kullanılan ampullerin güçleri yüksektir. Bu yüzden kullanılacak LED'in powerled olarak bilinen yüksek güce sahip LED olması gerekmektedir. Sis far geometrisi Şekil 3'de verilmiş olduğu gibi gövde, lens, reflektör ve iki adet baskılı devre kartından (PCB) oluşmaktadır.



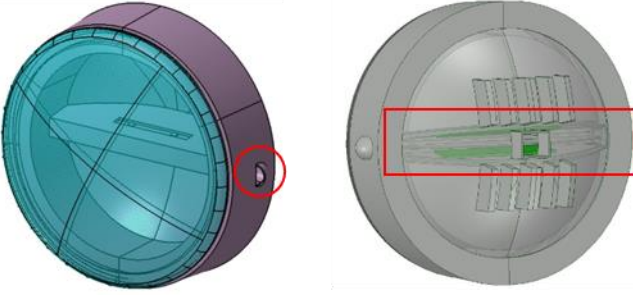
Şekil 3 Sis farının geometrisi

Gövde farın bütün iç komponentlerini taşıyan parçasıdır. Malzemesi krom kaplamalı PC-ABS'dir. Lens, şeffaf ve genellikle ampul kullanıldığında cam olarak üretilen fakat LED kullanımı ile plastikten üretilmesi planlanan parçadır. Bu çalışmada lens malzemesi PC olarak kabul edilmiştir. Reflektör, ışığın kontrollü olarak yol üzerine dağıtılmasını sağlayan parçadır. Malzemesi alüminyum seçilmiştir. Reflektörün arka bölümünde ısı transferinin olacağı toplam yüzey alanını arttırabilmek için kanatçıklar kullanılmıştır. PCB, LED'ler ile doğrudan temas halinde olan, LED devrelerini taşıyan ve iletimle ısı transferi ile sıcaklığı dağıtan önemli bir parçadır. Tasarımı yapılırken ısı transferi yüzey alanı göz önünde bulundurulmuştur. Gerçek uygulamada devre üzerinde bulunan sürücü entegreler, kondansatörler, dirençler ve diğer devre elemanlarının akış üzerindeki etkisinin çok küçük olduğu kabul edilerek geometrik tasarımda ihmal edilmiştir ve basitleştirilmiş PCB geometrisi kullanılmıştır. PCB malzemesi, çift tarafı bakır ile kaplanmış FR4 malzemedir. LED'ler basitleştirilerek ve OSRAM firmasına ait OSLOM Black Flat modelindeki büyüklükler dikkate alınarak 2 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Analizlerde 2 adet PCB ve her PCB'de 2 adet LED olmak üzere toplam 4 adet LED kullanılmıştır. Zorlanmış taşınım durumunun araştırıldığı analizlerde kullanılan fanlı tasarım Şekil 4 b'de görülmektedir. Burada kullanılan 12x12x2mm boyutlarındaki radyal fanlar PCB üzerinde LED'lerin bulunduğu yüzeye paralel yönde hava akımı oluşturmaktadırlar.



Şekil 4. (a) Fansız tasarım (b) Fanlı tasarıma ait görünüş

Ayrıca çalışmamızda zorlanmış taşınımına alternatif olması hedeflenen Şekil 5 a'da görülen kırmızı daire işaretli kulakçıklardan araç hızıyla beraber dış havayı kapalı hacim içine alan yeni tasarım yapılmıştır. İçeri alınan hava Şekil 5 b'de kırmızı dikdörtgen içinde gösterilen PCB'lere temaslı tasarlanan kanatçıkların üzerinden akıtılmakta ve LED soğutması hedeflenmektedir.



Şekil 5 a) Yeni kulakçıklı tasarım (b) Kanatçık tasarımı

2.2. Hesaplamalı Çalışma

Bu çalışmada analizi için ANSYS 2022 R2 genel amaçlı HAD ticari kodu kullanılmıştır. Doğal taşınım analiz için hacim içi laminer doğal taşınım, üç boyutlu ve sürekli rejimde hava akışı kabul edilmiştir. Far bileşenlerindeki iletim etkileri (conjugate effects) dikkate alınmıştır. Doğal taşınım için Boussinesq yaklaşımı, radyasyon etkilerinin dikkate alınmasında da Monte Carlo yaklaşımı kullanılmıştır. Zorlanmış taşınım analizde radyal fandan yararlanılmıştır. Fan momentum kaynağı olarak tanımlanmıştır. Akışta türbülans etkilerini hesaplayabilmek için SST türbülans modeli kullanılmıştır. Çözüm ağından bağımsızlık araştırması için yaklaşık 499523, 1102564, 2048621 ve 3086472 hücreye sahip 4 farklı çözüm ağı oluşturulmuştur. Her bir çözüm ağı için doğal taşınım durumu analizi yapılmıştır. Sonuçlar çözüm ağı karşılaştırma amacı için kullanılacağından zorlanmış taşınım durumu için bu analizlerin tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Karşılaştırma, ısı transferi için kritik olan LED'ler üzerindeki sıcaklıklar değerlendirilerek yapılmıştır. Analizlerden elde sonuçlarda 2048621 eleman sayısından sonra LED sıcaklığının çok değişmediği tespit edilmiştir. Bu sebeple analizlerde yaklaşık 2.000.000 elemana sahip çözüm ağı kullanılmıştır. Şekil 6.a'da reflektör ve gövdenin üzerindeki yüzey elemanlarının gösterimi bulunmaktadır. Şekil 6.b'de ise hacim elemanları görülmektedir. Çalışmada çözüm ağı oluşturulurken hacimde tetrahedral tipi elemanlardan, yüzeyde ise üçgen elemanlardan yararlanılmıştır. Bunun temel sebebi geometrinin nispeten kompleks yapıda olması ve tetrahedral elemanlı çözüm ağının oluşturulmasının bu tip geometrilerde çok daha hızlı ve işlevsel olmasından kaynaklanmaktadır. Amaç çözüm ağının sonuca etkisini minimuma indirmektir. Farklı çözüm ağları ile tekrarlanan analizlerin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 6 a) Yüzey elemanlar b) Hacim elemanlarının bulunduğu çözüm ağı

Tablo 3 LED üzerindeki en yüksek sıcaklık

Hücre Sayısı	CFD Sıcaklık (°C)
499523	168,09

1102564	169,02
2048621	170
3086472	170,61

Analizler ANSYS 2022 R2 yazılımı ile yapılmıştır. Bu yazılım hesaplamalı akışkanlar mekaniğinin temeli olan kütle, momentum ve enerji korunumu yasalarının formülasyonu olarak bilinen Navier-Stokes denklemlerini çözmektedir. Denklemler, akışkanın yapısını tanımlayan akışkan durumu denklemleriyle ve akışkan yoğunluğunun, viskozitenin ve ısı iletkenliğinin empirik bağımlılıkları ile desteklenir. Kararlı hal koşulları için geçerli denklemler kütle korunum denklemi, momentum denklemi ve termal enerji korunum denklemdir (Raypah ve diğ., 2016).

2.3. Sınır Şartları

Analizlerde akışkan olarak hava kullanılmış olup akışın sıkıştırılmaz ve kararlı rejimde olduğu kabulü yapılmıştır. Kullanılan sınır şartları da bu doğrultuda zamandan bağımsız olarak tanımlanmıştır. Analizler sabit sıcaklıkta bir ortam içerisinde yapılmıştır. Bu benzetimin yapılabilmesi için far dışındaki hava hacmini çevreleyen küre şeklinde bir hesaplama hacmi oluşturulmuştur. Bu hacim çevreyi temsil etmektedir. Bu hacme otomotiv üreticilerinin şartnamelerinde LED'li tasarımlar için test parametresi olarak koyduğu 80 °C ortam sıcaklığı tanımlanmıştır. Analizlerde ısı kaynağını olan LED için yüzeylere 1,3 W güç tanımlanmıştır. Her bir LED için sabit ısı akısı sınır şartı olarak tanımlanmıştır. LED üzerinde ve gövde, reflektör, lens ve PCB gibi diğer bütün katı yüzeylerde kayma olmayan duvar sınır şartı kullanılmıştır (Tablo 4).

Zorlanmış taşınım durumunu araştırmak için yapılan analizlerde kullanılan radyal fanın tek yönde hava akımı oluşturduğu kabulü yapılmıştır. Bunun amacı çalışmada çözüm süresini kısaltmak ve çözümü basitleştirmektir. Bu doğrultuda fandan dolayı akışta oluşacak girdap (swirl) etkisi ihmal edilmiştir. Fan, ANSYS 2022 R2 içerisindeki momentum kaynağı koşullandırılması ile modellenmiş olup fan çıkış yüzeyinde yüzeye dik yönde ortalama 10 m/s hava akımı oluşturmaktadır.

Tablo 4 Sınır şartları

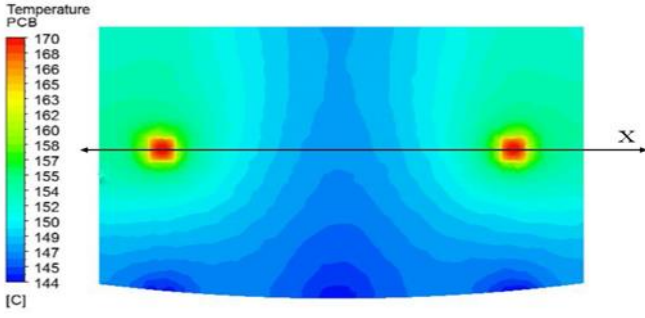
Ambient Temperature	80 °C
LED Power (Each Led)	1,3 W
Fan (Air velocity)	≈10 m/s

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

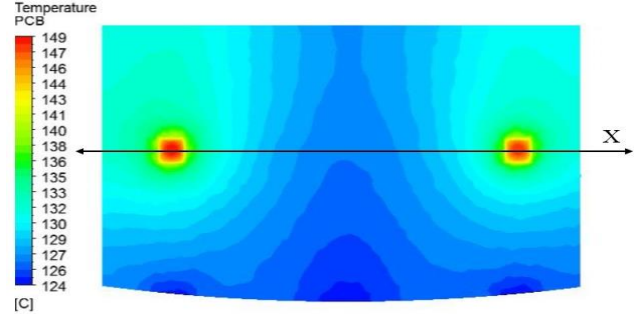
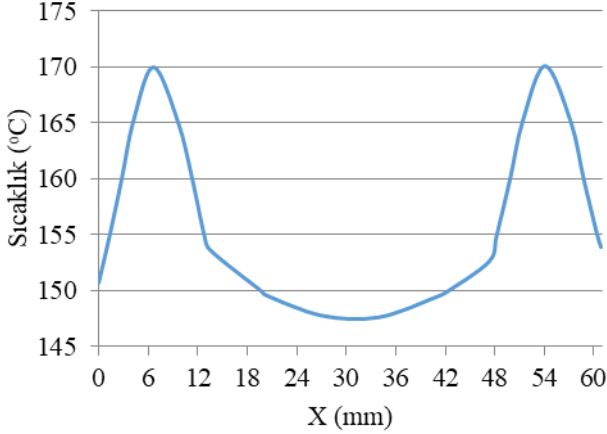
3.1. Araştırma Sonuçları

3.1.1. Doğal Taşınım Sonuçları

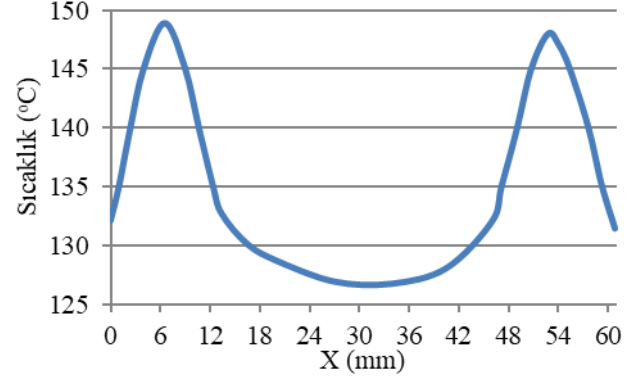
LED'lere tanımlanmış olan ısı kaynağı koşullandırmasından dolayı LED'lerin üzerinde bulunduğu PCB'de sıcaklık artışı olmuştur. PCB üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7 Doğal taşınımda PCB üzerinde sıcaklık dağılımı



Şekil 9 Zorlanmış taşınımında PCB üzerindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 10 Zorlanmış taşınımında x doğrusu üzerinde sıcaklık değişimi

Şekil 8 Doğal taşınımında X doğrusu üzerinde sıcaklık değişimi

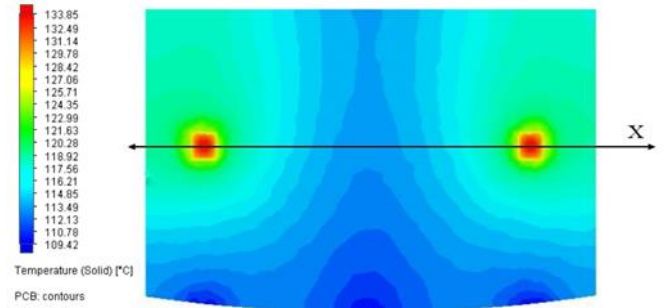
Şekil 8'de PCB üzerinde LED'lerin üzerinden geçen hayali bir x doğrusu üzerinde sıcaklık değişimi grafiği görülmektedir. Buna göre her iki LED üzerinde de sıcaklık yaklaşık 170 °C'ye ulaşırken LED'den uzaklaştıkça sıcaklık azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan LEDlerin Tj sınır değeri 150 °C'dir. Bu sonuçlara göre doğal taşınım ile LED'lerin aydınlatma görevini yapamayacağı anlaşılmıştır. Ürünün çalışması ve aydınlatma görevini yapabilmesi için soğutmanın zorlanmış taşınım ile yapılması düşünülmüştür.

3.1.2. Zorlanmış Taşınım Sonuçları

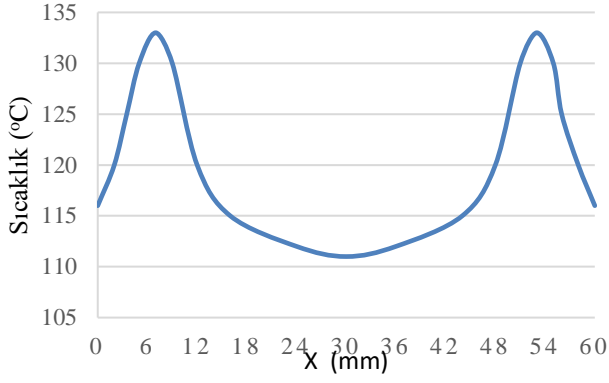
Bu analizde zorlanmış taşınımı oluşturabilmek için 2 adet fan kullanılmıştır. Fanlar LED'lerin bulunduğu yüzeye paralel yönde hava akımı oluşturacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 4 b). PCB üzerinde oluşan en yüksek sıcaklık 149 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 9). X doğrusu üzerindeki sıcaklık değişimine göre akış yönünde PCB üzerindeki sıcaklığın arttığı söylenebilir. Fan tarafında bulunan LED üzerinde sıcaklık 148 °C iken diğer LED üzerinde 149°C olduğu görülmektedir (Şekil 10). PCB üzerindeki en düşük sıcaklık ise Şekil 9'daki ölçekte görüldüğü gibi 124 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 9).

LED'lerin üzerinden geçen hayali bir x doğrusu üzerinde sıcaklık değişimi grafiği Şekil 12'de görülmektedir.

Yeni tasarım ile doğal taşınım ve kanatçıklı yapı ile elde edilen PCB üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 Yeni tasarım ve doğal taşınımında x doğrusu üzerinde sıcaklık değişimi

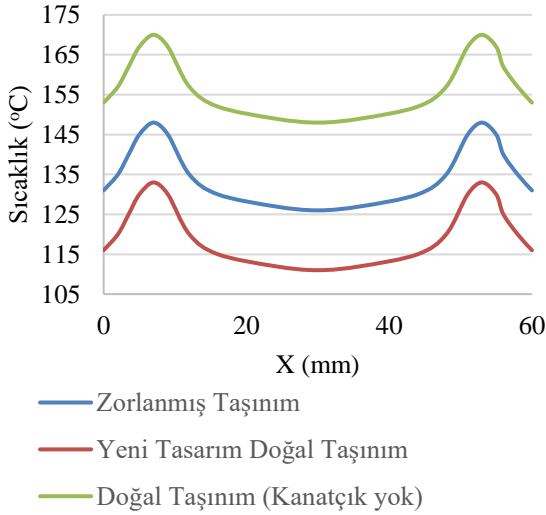


Şekil 12 Yeni tasarım doğal taşınımında x doğrusu üzerindeki sıcaklık değişimi

3.2. Tartışma

3.2.1. Zorlanmış ve Doğal Taşınımın Karşılaştırılması

Analizler sonucunda üç durum arasındaki sıcaklıklar açısından en büyük fark LED'ler üzerinde çıkmıştır. Doğal taşınım durumunda 170 °C'yi bulan LED sıcaklığı, zorlanmış taşınımın etkisi ile 21 °C kadar düşürülerek 149 °C olarak hesaplanmıştır. Tasarım değişikliği yapılan doğal taşınımında ise ledler 133 °C ile en düşük sıcaklık değerine ulaşmıştır. Her iki doğal taşınım durumunda 2 LED sıcaklığı birbirine eşit hesaplanmıştır ancak zorlanmış taşınımında fana daha yakın bulunan LED üzerinde sıcaklık yaklaşık 1 °C daha düşük hesaplanmıştır. LED'ler üzerinden geçen x doğrusundaki sıcaklıkların karşılaştırılması Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13 PCB üzerinden geçen x doğrultusundaki sıcaklık değişimi karşılaştırılması

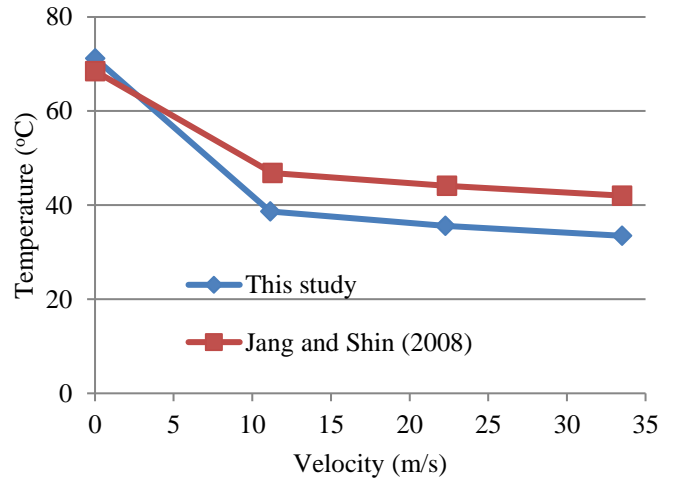
Tablo 5'de iki taşınım durumu için PCB üzerinde hesaplanan en yüksek sıcaklık, ortalama ısı taşınım katsayısı ve ortalama Nusselt sayısı verilmiştir. Ortalama ısı taşınım katsayısı doğal taşınım durumunda 3,57Wm²/K iken zorlanmış taşınımında 35,59Wm²/K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5 Isı transferi ile ilgili parametreler

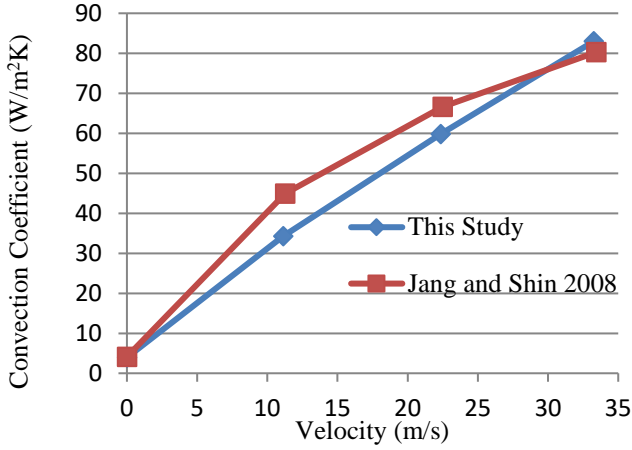
	Temp. (°C)	Conv. Coeff. (W/m ² K)	Nu
Natural Convection	170	3,57	6,09
Forced Convection	149	35,9	99,74

3.2.2. Farklı Fan Hızlarının Değerlendirilmesi

Zorlanmış taşınım durumunda farklı fan hızlarının ısı transferine etkisinin araştırılması amacıyla üç farklı fan hızı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde Jang ve Shin (2008) LED'li otomobil farı için yaptıkları termal analizler çalışması referans alınmıştır. Fan hızı olarak makalede yer alan 3 farklı değer kullanılmıştır. Jang ve Shin (2008) hava akımını aracın hareketinden elde ederken bu çalışmada fan kullanılmıştır [14]. Analizler Jang ve Shin (2008) çalışmasında olduğu gibi sadece PCB ve LEDler üzerinde yapılmış analize sis farı dahil edilmemiştir. Şekil 12'de LED sıcaklığının fan hızının değişimi görülmektedir. İki çalışmada da hızın artması ile sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Bu çalışmada yapılan analizlerde 11 m/s hızına kadar sıcaklık yaklaşık 22°C azalmıştır. Jang ve Shin (2008)'e ait çalışmada ise 11m/s hızında bu çalışmaya kıyasla, sıcaklıkta 30°C'nin üzerinde düşüş olmuştur. Bunun nedenin LEDlerin konumları aralarındaki mesafe, analiz eleman yapısı farklılığı gibi sebeplere bağlandığı düşünülmektedir. İki çalışmada da belirli bir hızdan sonra sıcaklık düşüşü azalmıştır. Şekil 15'de ise her iki çalışma için ısı taşınım katsayısının hız ile değişimi verilmiştir.



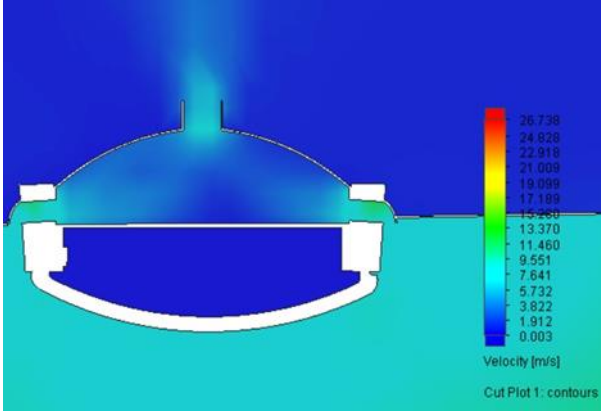
Şekil 14 Hız - sıcaklık değişim grafiği



Şekil 15 Hız ısı taşınım katsayısı değişim grafiği

3.2.2. Kanatçıklı Yeni Tasarım ile Doğal Taşınım ile Zorlanmış Taşınım Karşılaştırılması

Şekil 5 a ve b’de görülen kulakçıklı ve kanatlı tasarımda LED sıcaklıklarının kanatçiksız doğal taşınımına göre ve zorlanmış taşınım uygulamasına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yeni tasarımda kulakçıklardan içeri giren havanın içeri girme hızının 7,5-9,5 m/s arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16 Yeni tasarımda kulakçıklardan giren hava hızı

Yeni tasarımda dikkat çeken nokta havanın iç hacme giriş hızı 7,5-9,5 m/s iken zorlanmış taşınım analizlerinde hava hızı 10 m/s olarak tespit edilmiştir. Beklenen zorlanmış taşınımında led sıcaklıklarının daha düşük çıkmasıdır. Zorlanmış taşınımında ısı taşınım katsayısı 35,59 W/m²K iken yeni tasarımda ısı taşınım katsayısı 15,17 W/m²K olarak hesap edilmiştir. Buna rağmen kanatçıklı yapıda led sıcaklıkları en düşük değerdedir. Bunun nedeninin kanatçık tasarımı ve kanatçıkların PCBlerin arka yüzeyine temas edecek şekilde tasarlanmasıdır.

4. Sonuç

Çalışmada zorlanmış taşınım ile soğutmanın LED’li bir otomobil sis farı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı otomobil doğal taşınım (kanatçiksız-kulakçiksız) ve kanatçıklı ve kulakçıklı tasarımda da incelenerek üç durum arasındaki farklar araştırılmıştır. Zorlanmış taşınım durumunda farklı fan hızlarının LED sıcaklıkları üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Zorlanmış taşınımın LEDlerin ömrü ve aydınlatma şiddetini koruması manasında doğal taşınımına (kanatçiksız-kulakçiksız) göre daha etkili olduğu görülmüştür. Fakat zorlanmış taşınımın oluşturulması maliyet açısından ve tasarım açısından pek tercih

edilmemektedir. Bu sebeple kulakçıklı ve kanatçıklı tasarım ile dış hava hızından faydalanan, ısınan kanatçıkları soğutma mantığına dayanan yeni tasarımda soğutmanın daha verimli yapıldığı tespit edilmiştir. Fan tipi ve hızının değiştirilmesi zorlanmış taşınımını ne kadar avantajlı hale getirişe getirsin tasarım değişiklikleri, doğal taşınımın yüksek ısı iletkenliğine sahip malzeme kullanımı ile birleştirilmesi ile daha iyi sonuçlar alındığı çalışmada elde edilen önemli bir çıkarımdır.

5. Teşekkür

Bu yayında test imkanlarını kullanmamıza izin veren Feka Otomotiv Mamulleri Sanayi ve Ticaret A.Ş’ne ve analiz imkanlarını kullanmamıza izin veren Rubida Mühendislik Enerji San. ve Tic. LTD.ŞTİ’ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Arik. M., and Weaver. S., (2006), “Chip-Scale Thermal Management of High-Brightness LED Packages”. Fourth International Conference on Solid State Lighting.
- Arik. M., Becker. C.A., Weaver. S. E., and Petroski. J., (2004) “Thermal Management of LEDs: Package to System”. Third International Conference on Solid State Lighting 5187:64.
- Bayraktar.M.E., (2013), “Otomobil Led Aydınlatma Ürünlerinin Zorlanmış Taşınım İle Soğutulması” Yüksek Lisans Tezi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Chun.K. L J., Ming. D., Yu. C. K., and Kuo. S. L., (2007), “High Efficiency Silicon-Based High Power LED Package Integrated with Micro- Thermoelectric Device”. in Proceedings of Technical Papers - International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference, IMPACT.
- Daliang. Z., Wang. H.Q.C., and Xiao. Z., (2010). “Thermal Performance of Heatsink and Thermoelectric Cooler Packaging Designs in LED.” 11th International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, ICEPT-HDP.
- James. P., (2013), “Understanding Longitudinal Fin Heat Sink Orientation Sensitivity for Light Emitting Diode (LED)”, Lighting Applications.
- Jang. S., and Shin. M. W., (2008), “Thermal Analysis of LED Arrays for Automotive Headlamp With a Novel Cooling System”. IEEE Transactions On Device And Materials Reliability, Vol. 8, No. 3.
- Jen. W.C., (2009),“Advanced Thermal Enhancement and Management of LED Packages.” International Communications in Heat and Mass Transfer.
- Lai. Y., Cordero. N., Barthel. F., Tebbe, F., Kuhn. J., Apfelbeck. R., and Würtenberger. D., (2009), “Liquid Cooling of Bright LEDs for Automotive Applications”. Applied Thermal Engineering.
- Liu. S., Lin. T., Luo. X., Chen. M., and Jiang.X, (2006)“A Microjet Array Cooling System For Thermal Management of Active Radars and High-Brightness LEDs.”. Electronic Components and Technology Conference.
- Lui. Y. B., (2012), “On Thermal Structure Optimization of a Power LED Lighting.” Procedia Engineering 29:2765–69.
- Mills A., (2003), “Solid State Lighting”. World of Expanding Opportunities at LED 2002.” III-Vs Review.
- Raypah. M., Dheepan. E., Devarajan. M., and Sulaiman. F. (2016), “Investigation on Thermal Characterization of Low Power SMD LED Mounted on Different Substrate Packages.” Applied Thermal Engineering 101:19–29.

- Yi. B. L., (2012), “*On Thermal Structure Optimization of a Power LED Lighting*”. *Procedia Engineering* 29:2765–69.
- Yung. K. C., Liem. H., Choy. H. S., and Lun. W. K., (2010) “*Thermal Performance of High Brightness LED Array Package on PCB.*” *International Communications in Heat and Mass Transfer*.