

YÜKSEK GÜÇLÜ LED IŞIK KAYNAKLI AYDINLATMA ARMATÜRLERİNİN SOĞUTMASINDA ISI BORUSU KULLANIMI

Seher METE

Sermin ONAYGİL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü,
Ayazağa Kampüsü, 34469, Maslak/İstanbul

smete@itu.edu.tr

onaygil@itu.edu.tr

ÖZET

Yüksek güçlü LED ışık kaynakları, diğer ışık kaynaklarına göre ön plana çıkan olumlu özellikleri sebebiyle günümüzde genel aydınlatmada yaygın olarak kullanılmaktadır. LED'lerde çekilen elektriksel gücün büyük bir kısmı ısısal güce dönüştüğünden, yapıda sıcaklık artışı meydana gelebilmekte ve yüksek sıcaklıklar LED'lerin özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu durumun önüne geçilebilmesi için çeşitli soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Isı borularının LED soğutmasında kullanılması ile ilgili çalışmalar son zamanlarda ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada ısı borularının yapısı, elemanları ve çalışma prensipleri anlatılarak, çeşitli türde ısı borularının LED soğutmasında kullanımıyla ilgili literatürdeki araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanılarak, ısı borulu ve sadece kanatların kullanıldığı ısı borusuz soğutma sistemleri tasarımları karşılaştırılmış ve ısı borulu sistemin yapının maksimum sıcaklığını ısı borusu olmayan sisteme göre 11,2°C daha düşük tutabildiği gözlemlenmiştir.

1. GİRİŞ

Yüksek güçlü LED ışık kaynakları, etkinlik faktörlerindeki artışlar ve beyaz ışığın farklı yöntemlerle verimli bir şekilde elde edilebilmesi ile son yıllarda genel aydınlatma sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. LED ışık kaynakları tarafından çekilen elektriksel gücün bir bölümü optik güce, geriye kalan büyük bir bölümü ise ısısal güce dönüşmektedir (Denklem 1).

$$P_{\text{elektrik}} = P_{\text{optik}} + P_{\text{ısı}} \quad (1)$$

Isıya dönüşen bu enerji LED ışık kaynaklarından sürekli ve düzgün bir şekilde uzaklaştırılmadığında, yapıda sıcaklık artmaktadır. Jonksiyon olarak ifade edilen birleşim bölgelerinde sıcaklık artışının meydana gelmesi ile; LED'leri diğer ışık kaynakları arasında ön plana çıkaran ışık akısı, etkinlik faktörü, verim gibi özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Yurtseven ve diğ.'nin [1], çalışmada sıcaklığın yüksek güçlü LED'lerin özelliklerine olan etkileri ölçümlerle açıklanmıştır.

Yüksek sıcaklıkların LED'lerin özelliklerine olan olumsuz etkilerinin önüne geçilebilmesi için, LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerine soğutma sistemleri ilave edilmektedir. Literatürde LED'lere uygulanabilecek aktif ve pasif soğutma sistemleri ile ilgili çalışmalara çok sayıda örnek bulunmaktadır [2-7]. Pasif soğutma sistemlerine örnek olarak kanatlı tip soğutucular ve ısı boruları; aktif soğutma sistemlerine örnek olarak da fanlar, termoelektrik soğutucular, sıvı soğutmalı sistemler, piezoelektrik fanlar ve sentetik jetler gösterilebilir. Uygulamada kanatlı tip pasif soğutucular; güvenilirlik, tamir bakım gerektirmeme, güç gereksiniminin olmaması gibi sebeplerle LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Genelde elektronik elemanların soğutmasında kullanılan ısı borularının, son zamanlarda LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinde de kullanılması ile ilgili çalışmalar hız kazanmış ve ticarileşmeye de başlamıştır.

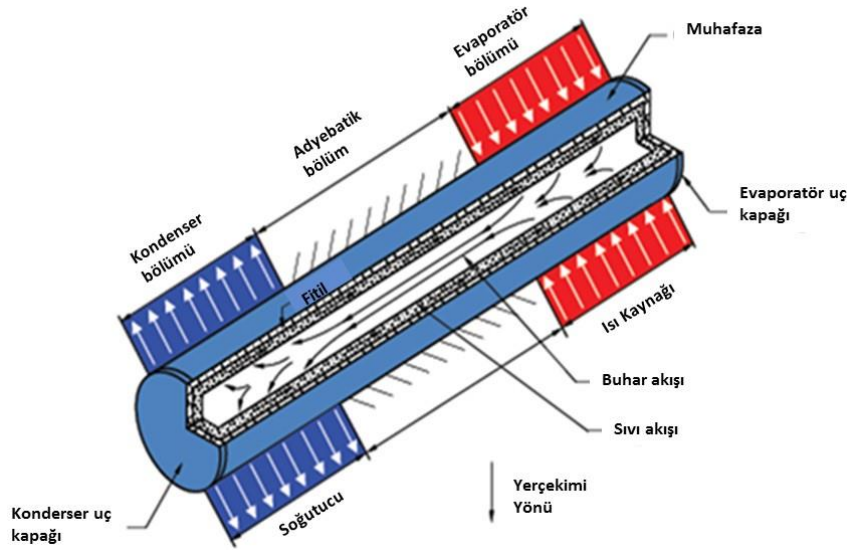
Bu bildiride; ısı borularının yapısı, elemanları ve çalışma prensibi ele alınmış, literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Isı

borulu soğutma sistemlerinin LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerine uygulanması ile ilgili örnek bir basit tasarımın ısı analizisi bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sadece kanatların kullanıldığı pasif bir soğutma sisteminin de ısı analizleri gerçekleştirilerek bu iki sistem, yapıda oluşan maksimum sıcaklık açısından karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın, özellikle yüksek güçlü LED’li armatürlerin soğutma sistemlerinde kullanılabilecek ısı boruları ile ilgili tasarımcı ve üreticilere yol gösterici bilgiler sağlayabileceği düşünülmektedir.

2. ISI BORULARI

Isıyı taşımada kullanılan çok çeşitli sistemlerin içinde ısı boruları en verimli olanlardan biridir. Isı borusu kullanımının diğer geleneksel yöntemlere göre üstünlüğü yüksek miktarlardaki ısıнын, küçük kesit alanı ile uzak mesafelere güç gereksinimi olmadan taşınabilmesidir [8].

Şekil 1’de geleneksel bir ısı borusunun çalışma prensibi ve iş-akışkanının sirkülasyonu [9].



Şekil 1. Isı borusunun çalışma prensibi ve iş-akışkanının sirkülasyonu [9]

Sızdırmaz muhafaza, fitil yapısı ve kendi buharı ile dengede olan az miktardaki iş-akışkanından oluşan ısı borusu; evaporatör, adyabatik ve kondenser kısımları olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır [9].

Isı borusunun evaporatör ucu sıcak bir ortamla temas ettiğinde ya da sıcak bir çevreye yerleştirildiğinde, ısı borusuna ısı akışı gerçekleşmektedir. Isı geçişinin bir sonucu olarak ısı borusunun evaporatör ucunda doymuş halde bulunan sıvı buharlaşıp burada buhar basıncının artmasına sebep olmaktadır. Meydana gelen basınç farkı, buharı ısı borusu boyunca evaporatör bölümünden kondenser bölümüne hareket ettirmektedir. Isı borusunun kondenser ucu daha soğuk bir

çevrede olduğu için, yüzeyi nispeten daha soğuktur. Daha soğuk yüzey ile temas eden buhar yoğunlaşmakta ve açığa çıkan ısı çevre ortama atılmaktadır. Yoğuşan sıvı, fitildeki kapiler hareketin sonucu olarak fitil yoluyla evaporatöre geri dönmekte ve çevrim tamamlanmaktadır [10].

Isı borusu elemanları, ısı borularının çalışması ve performansını etkilemektedir.

Her ısı borusu uygulamasında, ısı borusunun çalışması gereken özel bir sıcaklık aralığı mevcut olup, tasarımda uygun iş-akışkanının seçilebilmesi için istenilen sıcaklık aralığının hesaba katılması gerekmektedir. Tablo 1’de yaygın olarak kullanılan ve önerilen iş-

akışkanlarından bazıları ve bunların atmosfer basıncında erime, kaynama

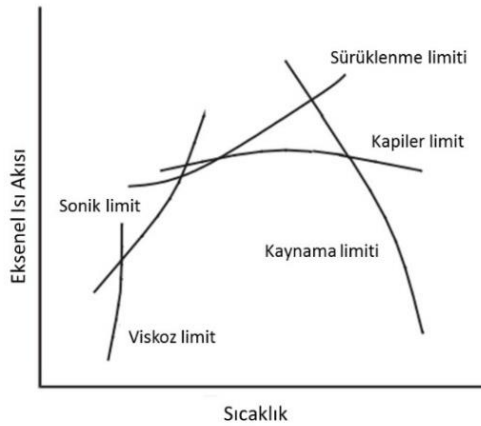
noktaları ve yararlı sıcaklık aralıkları görülmektedir [9].

Tablo 1. Bazı iş akışkanlarının özellikleri [9]

İş-Akışkanı	Erime Noktası [K] (1 atm'de)	Kaynama Noktası [K] (1 atm'de)	Yararlı Aralık [K]
Amonyak	195,5	239,9	213-373
Freon 21	138,1	282,0	233-360
Freon 11	162,1	296,8	233-393
Freon 113	236,5	320,8	263-373
Aseton	180,0	329,4	273-393
Metanol	175,1	337,8	283-403
Heptan	182,5	371,5	273-423
Su	273,1	373,1	303-550

Isı borusundaki fitil yapısı, yoğuşan sıvının evaporatöre geri dönebilmesi için kullanılmaktadır. Kapiler ısı borularının performansını optimize edebilmek için çok çeşitli fitil yapıları geliştirilmiştir. Fitil yapıları; nispeten basit tasarım, üretim ve uygulamaya sahip homojen fitiller ve kapiler limiti önemli ölçüde arttırmasının yanında yüksek üretim maliyetleri olan kompozit fitiller olmak üzere iki gruba ayrılabilirler [8].

Isı boruları; iş-akışkanı, fitil yapısı, ısı borusu boyutları ve çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak çeşitli ısı transferi limitlerine maruz kalabilirler [10]. Isı borularının toplam ısı direnci düşük olmalı, fakat öncelikle işlevini doğru bir şekilde yerine getirmesi sağlanmalıdır. Isı transferi limitleri viskoz limit, sonik limit, kapiler limit, sürüklenme limiti ve kaynama limiti olup Şekil 2’de bu limitler görülmektedir [11].



Şekil 2. Bir ısı borusunda ısı transfer limitleri [11]

3. ISI BORULARI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

LED ışık kaynaklı armatürlerin soğutulmasında kanatlı tip pasif sistemler yaygın olarak kullanılırken, son zamanlarda ısı boruları bu armatürlerin soğutma sistemlerinde yer almaya başlamıştır. Isı borularının çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu bölümde literatürdeki ısı borulu LED soğutma sistemleri ile ilgili çalışmaların bir bölümüne yer verilecektir.

Kim ve diğ.’nin [12] çalışmasında, ısı borulu ve ısı borusu olmayan LED dizileri değişik zorlanmış taşınım ve çevre sıcaklığı koşulları altında karşılaştırılmıştır. Çalışmada, ısı borularının LED dizilerinin toplam ısı direncini azaltmada etkili olduğu bulunmuş ve ısı borularının yüksek güçlü LED’lerin jonksiyon sıcaklığı kontrolünde iyi bir çözüm olabileceği belirtilmiştir.

Lu ve diğ.'nin [13] çalışmasında, yüksek güçlü LED'ler için yeni bir düz ısı borusu geliştirilmiştir. Isıl karakteristikleri deneysel olarak irdelenmiş ve jonksiyon sıcaklığı ile LED sisteminin toplam ısıl direnci belirlenmiştir.

Li ve diğ.'nin [14] çalışmasında, iki paralel kondenseri olan, loop (çevrim) ısı borulu yeni bir sistem LED soğutması için önerilmiş ve bu sistem değerlendirilmiştir. Sistemin ısıl performansının iyi olduğunu deneysel sonuçlar göstermiştir. Çalışmada aynı jonksiyon sıcaklığı kontrol kademesinde çevrim ısı borulu soğutma sisteminin, aynı amaçla kullanılacak diğer geleneksel pasif soğutma çözümlerine göre daha hafif olacağı belirtilmiştir.

Ye ve diğ.'nin [6] çalışmasında, ısı borulu kanatlı bir soğutma sistemi, 80 W gücünde ve çektiği gücün %75'ini ısıya dönüştüren bir LED panelin çalışma sıcaklığını 70 °C'nin altında tutmak hedefiyle tasarlanmıştır. Çalışmada kanat boşlukları ampirik korelasyonlar ile hesaplanmıştır. Belirlenen kanat sayısı ile boşluklarına göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca prototip üretilmiş ve test edilmiştir.

Tang ve diğ.'nin [15] çalışmasında, yeni bir sütun biçimli ısı borusu yüksek güçlü çoğul çipli LED'in soğutulması için geliştirilmiştir. Karşılaştırma için ısı borusu yerine bakır şasili bir sistem seçilmiştir. Bu iki sistem de radyal alüminyum kanatların içine gömülmüştür. Isı borulu sistemin toplam ısıl direncinin ve ortalama jonksiyon sıcaklığının, bakır şasi kullanılan sisteme göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Karşılaştırılan soğutma sistemlerinin LED'lerin ışık akısı, etkinlik faktörü ve renk özellikleri üzerine etkileri de çalışmada ele alınmıştır. Bu kriterler açısından da ısı borulu sistemin performansının daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Lin ve diğ.'nin [16] çalışmasında, yeni bir alüminyum plakalı ve titreşimli ısı

borusunun ısı geçişi karakteristiklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için değişik boyutlar, kesitler ve dönüş sayıları dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmalar ile sistemin ısıl direncine etki eden yerçekimi, soğutma koşulları, ısı borusunun iç yapısı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmada, deneylerden elde edilen en iyi tasarım baz alınarak LED soğutması için plakalı titreşimli ısı borulu soğutucu geliştirilmiştir. Geliştirilen bu soğutucunun performansı, doğal taşınım koşulu altında test edilmiş ve plakalı titreşimli ısı borusu olmayan durum (ısı borusu yerine alüminyum plaka olan durum) ile karşılaştırılmıştır. 60° eğim açısında plakalı titreşimli ısı borusunun LED'lerin sıcaklığını 7°C daha düşük tuttuğu belirlenmiştir.

İncelenen çalışmalardan, ısı borularının farklı türlerinin LED ışık kaynaklı sistemlere uygulanmaya çalışıldığı ve bu sistemlerin geleneksel kanatlı tip pasif soğutma sistemlerine sıcaklık yönetimi, ağırlık gibi açılardan rakip olma potansiyelinin bulunduğu anlaşılmaktadır.

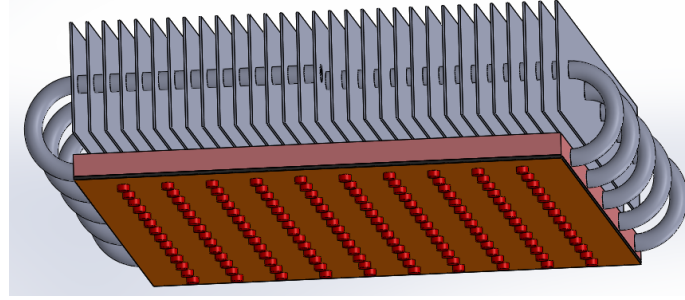
4. ISIL ANALİZ ÇALIŞMALARI

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı'nın Fotometri ve Radyometri Laboratuvarı'nda [17] bulunan 1 metre çaplı sıcaklık kontrollü Ulbricht küresi kullanılarak bir LED çipine ait üç örneğin ışık akısı, çektiği elektiksel güç ile yaydığı optik güçler 25°C plaka sıcaklığında ölçülmüştür. Üç örnekten elde edilen değerlerin ortalaması alınarak ölçüm hataları azaltılmaya çalışılmıştır. Elektriksel ve optik güçlerin farkından ısıl güç elde edilmiştir. Bu ısıl güç değeri, ısı borulu LED ışık kaynaklı basit tasarımın ve soğutma amacıyla sadece kanatlar olan basit tasarımın analizlerinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada ısıl analizler ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem,

140 adet LED çipi içermektedir ve ısı gücü ölçüm sonuçlarından elde edilmiş olup 120 W'tır. LED'ler 300 mm×220 mm'lik PCB üzerine yerleştirilmiştir. PCB; bakır, dielektrik ve alüminyum olmak üzere üç katman olarak tasarlanmıştır. PCB'nin altında ısı borularının konumlandırılacağı alüminyum plaka bulunmaktadır. Sistemde ısı borularından ısıyı çevreye atılmasını

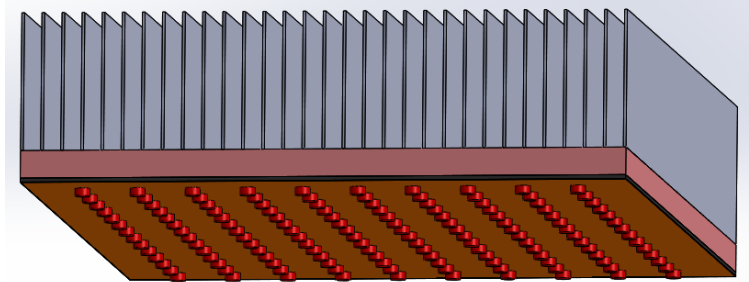
sağlayacak 31 adet kanat alüminyum olarak seçilmiştir. Her bir kanadın kalınlığı 1 mm'dir. Isı borularının çapı 8 mm olup toplamda on tane ısı borusu iki tarafa karşılıklı kaydırılmış beşer adet olarak yerleştirilmiştir. Isı borulu soğutma sistemli basit tasarım Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Isı borulu soğutma sistemli basit tasarım

Tasarlanan ısı borulu sistemin karşılaştırılması amacıyla, kanatların direkt olarak alüminyum plakanın altına yerleştirildiği Şekil 4'teki kanatlı pasif soğutma sistemi tasarlanmıştır. İki sistemin de bilgisayar destekli ısı analizleri aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemlerinin birbiriyle karşılaştırılabilmesi için yapıda oluşan

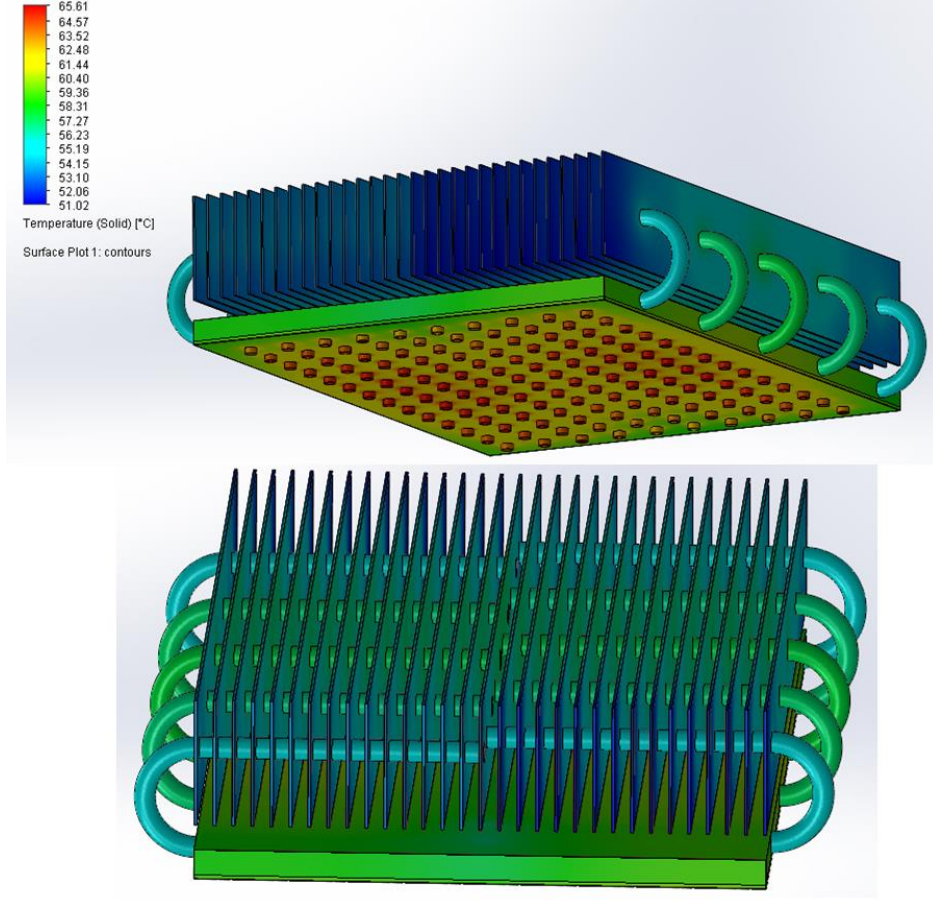
maksimum sıcaklık parametresi kullanılmaktadır. Çünkü, yapıdaki maksimum sıcaklık, ısı analizlerin gerçekleştirildiği programda hacimsel ısı kaynağı olarak tanımlanan LED çiplerinde meydana gelmekte ve LED'lerin özelliklerini doğrudan etkilemektedir.



Şekil 4. Kanatlı soğutma sistemli basit tasarım

Bilgisayar destekli ısı analizlerin sonucunda, ısı borulu ve ısı borusuz soğutma sistemlerine sahip basit tasarımların yapısında oluşan maksimum sıcaklıklar sırasıyla 65,6 °C ve 76,8 °C olarak bulunmuştur. Isı borulu soğutma sistemi, yalnızca pasif kanatların bulunduğu sisteme göre maksimum sıcaklığı 11,2 °C daha düşük tutabilmiştir. Şekil 5'te ısı

borulu soğutma sistemli basit tasarımın sıcaklık dağılımı görülmektedir. Isı boruları, LED çiplerinde oluşan ısıyı kanatlara düzgün bir şekilde taşıyabilmektedir. Bu durum, LED ışık kaynaklı armatürlerin soğutma sistemleri tasarlanırken ısı borularının da dikkate alınabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. Isı borulu sistemin sıcaklık dağılımı

5. SONUÇ

Diğer ışık kaynakları arasında ön plana çıkan özellikleri nedeniyle, günümüzde aydınlatma sistemlerinde LED ışık kaynaklarının kullanımına yönelik eğilim giderek artmaktadır. Olumlu özelliklerinin yanı sıra, LED'lerin çektikleri elektriksel gücün büyük bir bölümünü ısısal güce dönüştürmeleri ve özelliklerinin artan sıcaklıktan olumsuz etkilenmesi bu ışık kaynaklarının ısısal yönetimlerinin düzgün yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, halen elektronik cihazların soğutulmasında yaygın olarak kullanılmakta olan ısı borularının LED'li aydınlatma sistemlerine uygulanabilirliği incelenmiştir. İlk olarak ısı borularının yapısı, çalışması, bileşenleri ve çalışma limitlerine değinilmiş, literatürde bulunan ısı borularının LED ışık kaynaklarına

uygulanması ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanılarak, biri ısı borulu diğeri ise sadece pasif kanatların kullanıldığı soğutma sistemli basit tasarımlar analiz edilmiştir. Isı borulu soğutma sistemli tasarımın maksimum sıcaklığı, sadece pasif kanatlarla soğutma yapan tasarıma göre 11,2 °C daha düşük olmuştur. Bu örnekte ısı borulu pasif soğutma sistemi, sadece kanatların kullanıldığı pasif soğutma sistemine göre ısısal performans açısından daha iyi sonuç vermiştir.

Isı boruları; çok çeşitli türleri, yapıları ve yüksek ısısal iletkenlikleri ile LED soğutması alanında yer bulmaya başlamıştır. LED ışık kaynaklı armatürlerin soğutma sistemleri tasarlanırken, geleneksel kanatlı tip soğutuculara alternatif olabilecek ısı borulu sistemler de değerlendirmeye alınarak

teknik ve mali yönden analizlerinin yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] M.B. Yurtseven, S. Mete, S. Onaygil, The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs, *Lighting Research and Technology*, Accepted: 18.02.2015, published online before print 19.03.2015.

[2] Y. Deng, J. Liu, A liquid metal cooling system for the thermal management of high power LEDs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(2010), 788-791.

[3] J. Li, B. Ma, R. Wang, L. Han, Study on a cooling system based on thermoelectric cooler for thermal management of high-power LEDs, *Microelectronics Reliability*, 51(2011), 2210-2215.

[4] H. Ye, M. Mihailovic, C.K.Y. Wong, H.W. van Zeijl, A.W.J. Gielen, G.Q. Zhang, P.M. Sarro, Two-phase cooling of light emitting diode for higher light output and increased efficiency, *Applied Thermal Engineering*, 52(2013), 353-359.

[5] S.S. Hsieh, Y.F. Hsu, M.L. Wang, A microspray-based cooling system for high powered LEDs, *Energy Conversion and Management*, 78(2014), 338-346.

[6] H. Ye, B. Li, H. Tang, J. Zhao, C. Yuan, G. Zhang, Design of vertical fin arrays with heat pipes used for high-power light-emitting diodes, *Microelectronics Reliability*, 54(2014), 2448-2455.

[7] Liu Yi-bing, On thermal structure optimization of a power LED Lighting, *Procedia Engineering*, 29(2012), 2765-2769.

[8] A. Fagri (1995). *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor&Francis, USA.

[9] A. Fagri, Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges, *Frontiers in Heat Pipes*, 5(1)(2014), 1-48.

[10] H. S. Lee (2010). Thermal Design: Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells,

John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

[11] D.A. Reay, R. J. McGlen, P. A. Kew, (2014). *Heat Pipes: theory, design and applications* (Sixth Edition), Kidlington, Oxford, UK : Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier.

[12] L. Kim, J. H. Choi, S. H. Jang, M.W. Shin, Thermal analysis of LED array system with heat pipe, *Thermochimica Acta*, 455(2007), 21-25.

[13] X.Y. Lu, T.C. Hua, Y.P. Wang, Thermal analysis of high power LED package with heat pipe heat sink, *Microelectronics Journal*, 42(2011), 1257-1262.

[14] J. Li, F. Lin, D. Wang, W. Tian, A loop-heat-pipe heat sink with parallel condensers for high-power integrated LED chips, *Applied Thermal Engineering*, 56(2013), 18-26.

[15] Y. Tang, X. Ding, B. Yu, Z. Li, B. Liu, A high power LED device with chips directly mounted on heat pipes, *Applied Thermal Engineering*, 66(2014), 632-639.

[16] Z. Lin, S. Wang, J. Huo, Y. Hu, J. Chen, W. Zhang, E. Lee, Heat transfer characteristics and LED heat sink application of aluminum plate oscillating heat pipes, *Applied Thermal Engineering*, 31(2011), 2221-2229.

[17] <http://www.enerji.itu.edu.tr/Icerik.aspx?sid=12914>, erişim tarihi:12.08.2015