

LED Işık Kaynaklı, Enerji Tasarruflu ve Yüksek Verimli Ofis Aydınlatma Armatürü Tasarımı

Emre YILMAZ^{*,a}, İsmail ŞAHİN^a, Nuri Yunus KOCADAĞ^b

^{a,*} Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06500, TÜRKİYE

^{b,*} Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE 71450, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 27.03.2019
Kabul: 18.07.2019

Anahtar Kelimeler:

Aydınlatma,
Aydınlatma Armatürü,
Ofis Aydınlatma,
LED Aydınlatma,
LED Panel

^{*}Emre YILMAZ:

e-posta:
emre.yilmaz@aydinlatma.org

ÖZET

Son yıllarda, tüm dünyada enerji verimliliğinin artan önemi sonucunda, aydınlatmada verim konusunda da bilinç ve çalışmalar artmış, LED aydınlatmaya geçiş başlamıştır. Dünyadaki gidişat diğer teknolojilerde olduğu gibi aydınlatma armatürlerinde de daha verimli, daha uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen, zararlı maddeler içermeyen, gelişen ve değişen teknolojiye uyumlu ve yönetilebilen LED aydınlatma sistemlerine doğru gitmektedir. Ülkemizde yeni projeler haricinde LED ışık kaynaklı armatürlerin yaygın olmaması, halen LED'li armatürlerin birim fiyatlarının yüksek olması, mevcut aydınlatma pazarının, bugünkü durumda bile, büyük çoğunluğunun bilinen geleneksel ışık kaynaklarıyla yapılmış olması, LED aydınlatma konusunda ciddi fırsatlar olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, hali hazırda genel aydınlatma armatürü olarak kullanılan 4x18 ve 4x14 floresan ışık kaynaklı armatürler yerine geçebilecek ve bu armatürlere göre %40-%60 enerji tasarrufu sağlayacak LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü tasarlanmıştır. Ofis aydınlatma armatürü, dekoratif görünümünden öte işlevsellik, yüksek performans ve düşük maliyet esasları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.02.03>

Design of Energy Saving and High Efficiency Office Lighting Fixture with LED Light Source

ARTICLE INFO

Received: 27.03.2019
Accepted: 18.07.2019

Keywords:

Lighting,
Light Fixture,
Office Lighting,
LED Lighting,
LED Panel

^{*}Emre YILMAZ

e-mail:
emre.yilmaz@aydinlatma.org

ABSTRACT

In recent years, as a result of the increasing importance of energy efficiency all over the world, awareness and works have also been increased in lighting, and transition to LED lighting has begun. As in other technologies, the trend in the world goes towards LED lighting systems that are more efficient, longer lasting, maintenance free, free of harmful substances, compatible with the developing and changing technology. The fact that LED luminaires are not widespread except for new projects in our country, the unit prices of LED luminaires are still high, the current lighting market, even in the current situation, the vast majority of them are made with the traditional light sources shows that there are serious opportunities for LED lighting.

In this study, LED light welded office lighting fixture will be designed to replace 4x18 and 4x14 fluorescent light source luminaires which are currently used as general lighting fixtures and provide 40% -60% energy saving compared to these luminaires. The office lighting fixture will be designed considering the functionality, high performance and low cost principles rather than the decorative appearance.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.02.03>

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde LED teknolojisi neredeyse her alanda kendine yer edinmektedir. LED teknolojisinin kullanıldığı alanlardan bir tanesi de genel aydınlatma uygulamalarıdır. Dünya genelinde hem iç mekân hem de dış mekân aydınlatmalarının, LED teknolojisiyle yenilediği bir dönüşüm dönemi yaşanmaktadır. LED aydınlatma, enerji tasarrufu, uzun ömür, aydınlatma verimliliği ve düşük bakım maliyetleri özelliklerinden dolayı en bilinen aydınlatma çeşidi olmuştur. Ev, ticari veya ofis binaları, fabrika, dış mekân ve otomotiv gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. LED aydınlatmanın performansı, güç faktörü, verimlilik, toplam harmonik distorsiyon (THD) ölçümleriyle belirlenir [1-4].

LED'ler yüksek ışık verimine sahip aydınlatma elemanları olsa da, bir sistem içine dâhil edildiğinde ışık çıkışında bazı düşüşler görülmektedir. Işık kaybını kontrol altında tutmak için ürün tasarımı ve malzeme seçimi son derece önemlidir. Doğru tasarlanmış bir aydınlatma elemanı, düşük güç tüketimiyle yüksek ışık çıkışına sahip olacak, bu sayede enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Aydınlatma armatürü, başlangıç ışık akısının yüzde 30'unu kaybettiğinde, kullanım ömrü tamamlanmış olarak kabul edilir [5]. Uzun kullanım ömrüne ulaşabilmek için aydınlatma armatürü iyi bir termal yönetime sahip olmalıdır.

Ofis aydınlatması ve LED teknolojisi üzerine yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir; Malezya'nın ulusal uygulamalı Ar-Ge merkezi MIMOS Berhad'dan bir grup araştırmacının yaptığı çalışmada renk sıcaklığının insan üzerindeki psikolojik ve fizyolojik etkileri üzerine 10 ofis çalışanı üzerinde kontrollü bir deney yapmıştır. Bu çalışmayla; bilgisayar tabanlı işler yapılan ofis ortamlarında soğuk beyaz ve gün ışığı renk sıcaklıklarının sıcak beyaz renk sıcaklığına göre daha faydalı olduğu sonucuna varılmıştır [6].

Yonsei Üniversitesi, Mimarlık Mühendisliği Bölümü'nden Byung-Lip Ahn'ın önderlik ettiği çalışmada LED aydınlatmaların ofislerde soğutma ve ısıtma sistemlerine dolayısıyla enerji tüketimine olan genel etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda da ofis aydınlatmalarında LED ışık kaynaklı aydınlatma armatürlerinin kullanımının binanın enerji verimliliğini artıracığı sonucuna varılmıştır [7].

Görsel konfor olasılığı (*Visual Comfort Probability-VCP*), IESNA (*Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Derneği*) tarafından geliştirilmiştir. İç mekân aydınlatmalarında gözlemcilerin belirlenen koşullar altında bir aydınlatma sistemine bakarken ki parlamının rahatsız etme derecesi olasılığıdır [8]. VCP değeri 0-100 aralığında değişen, gözlemcilerden kimsenin aydınlatma konforundan memnun olmadığına 0 iken tüm gözlemcilerin memnun olması durumunda ise 100 olmaktadır.

İtalya'da INRIM araştırma enstitüsünde yapılan çalışmada genel olarak LED aydınlatmaların rahatsız edici kamaşmaya yol açtığı ancak bu sorunun ışık kaynağının bir difüzör yardımıyla gizlenerek aşılabildiği gösterilmiştir. Difüzör aynı zamanda daha homojen bir ışık dağılımı sağlanmasına yardımcı olmaktadır [9].

Tayvan'da Nan Kai Teknoloji Üniversitesi'nde LED'lerin soğutma performansı üzerine yapılan çalışmada yüksek güçlü LED'lerin harcadığı enerjinin %20-30'unu ışığa, kalan enerjiyi ise ısıya dönüştürdüğü ve açığa çıkan bu ısının LED'lerin jonksiyon sıcaklığını artırarak LED'in ışık yoğunluğunu, renk dengesini ve ömrünü olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Önerilen pasif soğutma sisteminin ısıyı verimli bir şekilde dağıtarak, ışık kaynağının ömrünü uzatarak koruyabildiği sonucuna varılmıştır [10].

Tayvan'da Ulusal Kaohsiung Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Jin-Cherng Shyu önderliğinde yapılan çalışmada LED'lerde giriş gücünün büyük bir kısmının ısıya dönüştüğü, açığa çıkının bu ısının ciddi problemlere sebep olduğu belirtilmiştir. LED'in jonksiyon sıcaklığının düşük seviyelerde tutulmasının yüksek ışık verimi, sabit ışık çıkışı, sabit dalga boyu ve daha uzun kullanım ömrü için bir anahtar olduğu belirtilmiştir [11].

İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Planlaması ve Yönetimi Anabilim Dalı'ndan bir grup araştırmacı ofis aydınlatmalarında kullanılan 4x18W'lık floresan lambalı armatürler yerine LED panel armatürlerin uygulanması halinde aydınlık düzeyleri ve düzgünlük gibi parametrelerdeki değişimleri ve olası enerji tasarrufu oranlarını belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışma sonucunda, floresan lambalı armatürler yerine LED ışık kaynaklı panel armatürlerin birebir değişimiyle aydınlık düzeyinde %1,3 oranında artış, düzgünlük değerlerinde iyileşmeler ve enerji verimliliği

açısından %59 oranında ciddi bir tasarruf elde edildiği belirtilmiştir [12].

Bu çalışmada mevcut durumda ofis ortamlarının aydınlatılmasında kullanılan floresan ışık kaynaklı geleneksel armatürlerin yerine geçecek, LED ışık kaynaklı, yüksek verimli ve enerji tasarruflu ofis aydınlatma armatürü tasarımı gerçekleştirilecektir. Geliştirilecek bu armatür ile ofis aydınlatmasında %40-%60 oranında enerji tasarrufu sağlanması ve uzun kullanım ömrüyle işletme ve bakım masrafları düşürülmesi amaçlanmaktadır.

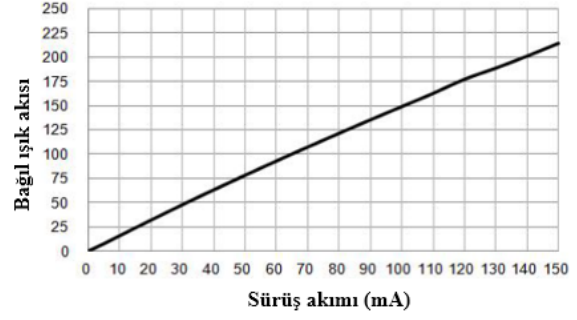
Piyasada ofis aydınlatması için çeşitli firmalara ait LED ışık kaynaklı panel armatürler bulunsa da, bu armatürlerin bir çoğu 1 ya da 2 yıl içerisinde arıza yapmaktadır. Burada bahsedilen arıza, ışığın tamamen kesilmesi olarak ortaya çıkmasa da zamana bağlı ışık çıkışında düşüş olarak da görülebilmektedir. LED'lerin ve LED ışık kaynaklı ürünlerin ömrünü etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. LED'ler üzerinde oluşan ısı kontrol altına alınırsa, ışık kaynağı uzun yıllar sorunsuz bir şekilde çalışabilir. Bu çalışmada tasarlanacak LED modül kartının ömür öngörüsü, yapılacak termal analiz ve deney yardımıyla ortaya çıkartılacaktır.

2. AYDINLATMA ARMATÜRÜ TASARIMI (LIGHTING FIXTURE DESIGN)

2.1. LED'li Işık Kaynağı (LED Light Source)

Aydınlatma maksatlı bir ürün tasarımı yapılması istendiğinden öncelikle bu sisteme ait ışık kaynağı tasarlanmalıdır. LED'li ışık kaynağı tasarımında kullanılmak maksadıyla yüksek ışık verimi sunan, mid-power LED ailesinin bir üyesi olan LM561B kodlu 1/2W'lık yüzey monte LED'leri tercih edilmiştir. Bu LED uygun koşullarda 160 lm/W'a kadar etkinlik faktörüne sahiptir.

Sürüş akımı artırıldığında, ışık akısı da artmakta ancak lm/W ile gösterilen etkinlik faktörü değeri yani ışık verimi düşmektedir. Yüksek verimli bir ışık kaynağı tasarlanması istendiğinden, üretici tarafından belirtilen tipik sürüş akımı 65 mA veya bu değer altında bir akım değeri tercih edilmelidir.



Şekil 1. Bağlı ışık akısı ve sürüş akımı grafiği (Relative luminous flux and forward current graph) [13]

LM561B kodlu LED, genel aydınlatma maksatlı kullanılan diğer tüm LED'ler gibi 2700K'den 6500K'e kadar geniş renk sıcaklığı aralığında temin edilebilmektedir. Renksel geriverim indeksi (Ra) 80'in üzerindedir. Bu da görsel konforun artmasını, tüm nesnelerin özgün renklerinde görülmesini sağlamaktadır.

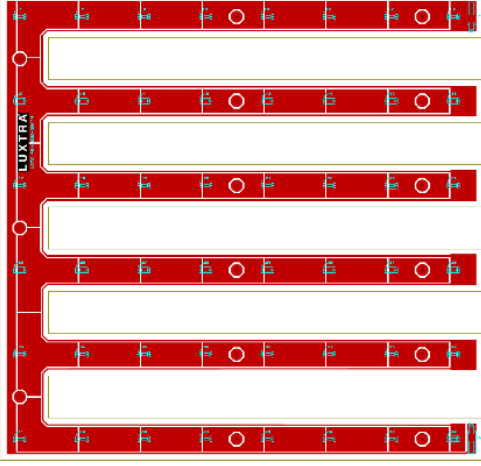
LM561B kodlu mid-power LED'in zamana bağlı ışık akısı ölçümleri (LM-80) üretici tarafından 100 ve 150 mA sürüş akımlarında 6.000 saat süre ile yapılmış, 36.000 saatten fazla ekonomik ömür garantisine sahip olduğu belirtilmiştir. Şekil 1'de LM561B LED'e ait bağlı ışık akısı ve sürüş akım grafiği verilmiştir. LM-80 raporuna göre, 100 mA sürüş akımında LED'in lehim noktası sıcaklığı 55 °C, 85 °C ve 105 °C iken LED'in toplam ışık akısının başlangıç ışık akısına göre %70 seviyesine düştüğü sürenin 36.000 saatten fazla olduğu görülmektedir. Bu süre LED'in ekonomik kullanım ömrünü göstermektedir.

Tablo 1. LM-80 test raporu'na göre TM-21 ömür öngörüsü (TM-21 Lifetime estimate according to LM-80 test report)

Sürüş Akımı (mA)	Sıcaklık Ts (°C)	Test Süresi (s)	Test Sonuçları		IES-TM-21-11'e Göre Raporlanan Kullanım Ömrü (s)		
			Lümen Koruması	Renk Kayması ($\Delta u'v'$)	L70	L80	L90
100	55	6.000	%98.1	0.0013	>36000	>36000	>36000
	85		%96.8	0.0020	>36000	>36000	29000
	105		%95.2	0.0016	>36000	24000	12000
150	55	6.000	%98.1	0.0009	>36000	>36000	>36000
	85		%97.3	0.0028	>36000	>36000	30000
	105		%95.0	0.0012	35000	23000	11000

Tablo 1'de görüldüğü üzere, çalışma sıcaklığı LED ışık kaynaklarının ışık akılarını, ömürlerini ve renk özelliklerini etkilemektedir. Bu noktada LED ışık kaynağı tasarımının bir sonraki aşaması olan elektronik devre kartı tasarımı öne çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan devre kartı için termal iletkenliği yüksek, düşük maliyetli FR4 malzeme seçilmiş, tasarımda LED'lerin termal yüzeyine uygun bakır soğutma alanları oluşturulmuştur.



Şekil 2. LED modül baskı devre kartı (LED module printed circuit board)

PCB ve dizgi maliyetlerini azaltmak için dizgi sonrası birbirinin içinden el ile kolayca kırılarak çıkartılan Şekil 2'deki tarak tipi kart tasarımı yapılmıştır. Bir armatür içerisinde 4 tarak PCB yani 2 panel PCB kullanılacaktır.



Şekil 3. Bir kutuplu SMD bağlantı klemensi (One pole SMD connection terminal block)

Sürücü-LED Modül ve LED Modül-LED Modül arasındaki bağlantının kolayca sök-tak yapılabilmesi için Şekil 3'teki SMD klemensin kullanılmasına karar verilmiş; WAGO'nun 2060-401 modeli 1 kutuplu, 4 mm bacak aralığına sahip SMD klemensin teknik çiziminde belirtilen footprint ölçülerine göre PCB üzerinde lehimleme yüzeyleri oluşturulmuştur.

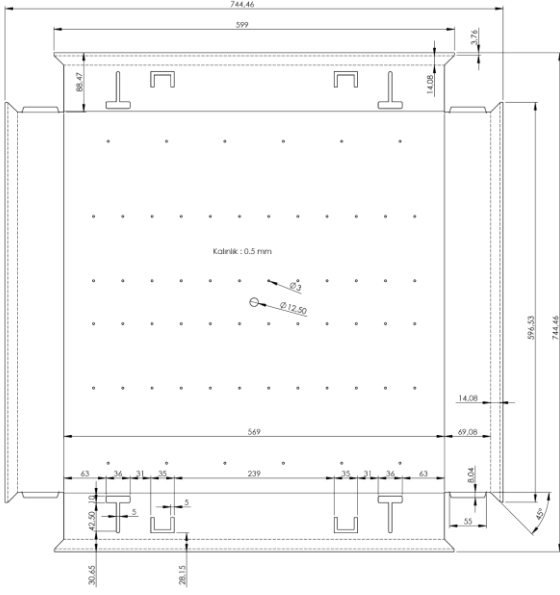


Şekil 4. LED modül 3 boyutlu panel modellemesi (LED module 3D panel modelling)

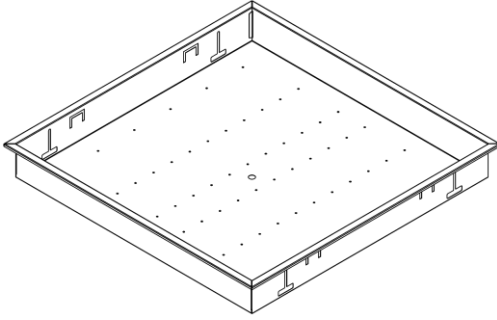
LED ışık kaynağı tasarımının tamamlanmasından sonra, bu modüllerin içerisine monte edileceği, ofis ortamlarında kullanılacak uygun ölçülerde armatür gövdesi tasarımı yapılmalıdır.

2.2. Aydınlatma Armatürü Gövde Tasarımı (Lighting Fixture Body Design)

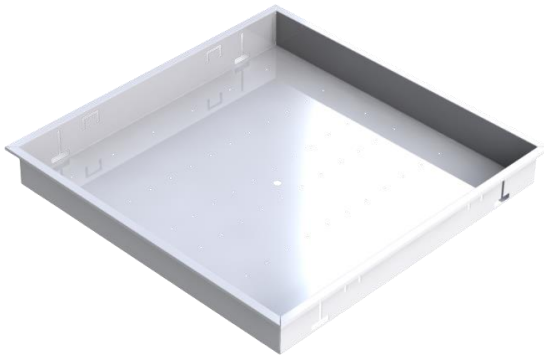
LED ışık kaynağı için geliştirilen armatür gövdesi geleneksel aydınlatma armatürlerinden farklı değildir. Burada iki farklılık bulunmaktadır. Birincisi gövde üzerindeki montaj delikleridir. Bu delikler ışık kaynağını armatür gövdesine tutturmak için kullanılır. Delik konumları LED modül kartı üzerindeki montaj delikleri ile eşleştirilmelidir. Diğer bir farklılık da armatür gövdesinin iç derinliğidir. 4x18 T8 armatürlerde armatür derinliği 7-9 cm olurken, 4x14 T5 armatürlerde derinlik 4.5cm ile 5,5cm arasında değişmektedir. LED ışık kaynaklı armatürlerde de derinlik tasarımdan tasarıma değişmektedir. Referans tasarımda 7 cm kasa derinliği tercih edilerek 2 boyutlu açılım ve 3 boyutlu kasa çizimleri oluşturulmuştur.



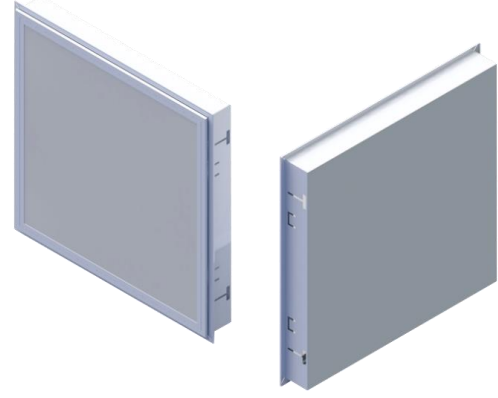
Şekil 5. Aydınlatma armatürü gövdesinin açınım resmi (Picture of the opening of the lighting fixture body)



Şekil 6. Aydınlatma armatürü gövdesinin form verilmiş hali (Finished shape of lighting fixture body)



Şekil 7. Aydınlatma armatürü gövdesinin form verilmiş halinin 3 boyutlu gösterimi (3D display of finished shape of lighting fixture body)



Şekil 8. Aydınlatma armatürü gövdesinin 3 boyutlu gösterimi (3D display of lighting fixture body)

2.3. Optik ve Işık Açısı (Optical and Light Angle)

Açı kontrolü, ışık kaynağını gizleme, ışığın homojen bir şekilde dağılması ve estetik bir görünüm sağlamak amacıyla armatür tasarımında difüzör kullanılması gereklidir. Yongtek firmasının ürünlerinden PA-00S, PA-75S2, PA-90S ve PA-92ER gibi birçok model difüzör teknik verileri incelenerek numune temin edilmiştir. Üretici verilerine göre bu difüzörler ışığı %74-%95 verimlilikle armatür dışına iletebilmektedir. Polistiren (PS) malzemeden üretilmiş bu difüzörler, 99 °C'ye kadar termal dayanım göstermektedir.

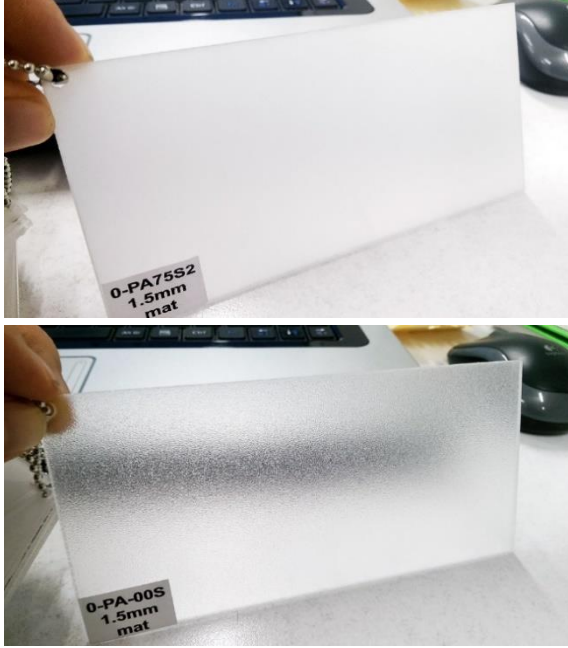
Polistiren, katı ve saydam bir plastik ham maddedir. Polistiren, dünyada plastik üretiminde en çok kullanılan hammadeler arasında yer almaktadır [17].

Şeffaflığı, iyi işlenebilmesi, akışkanlığı ve diğer birçok özellikleri nedeniyle pek çok uygulamada tercih edilmektedir.

Tablo 2. Yongtek PS mat S/S2 difüzör teknik detayları (Yongtek PS mat S/S2 diffuser technical details)

Model	Malzeme	Plaka Kalınlığı	Geçirgenliği HZ%	Işık Geçirgenliği T/T%	Yüzey Deseni
PA-90S	PS	1.5 mm	88	90	Tek taraflı mat
PA-85S	PS	1.5/1.8 mm	91	84	Tek taraflı mat
PA-75S2	PS	1.5 mm	91	74	Çift taraflı mat
PA-65S2	PS	1.5 mm	92	63	Çift taraflı mat

PA-75S2 modeli polistiren difüzör 1,5 mm kalınlıkta, ışığı minimum %74 oranında iletebilmektedir. Işık kaynağını gizlemede yüksek performans göstermektedir. 1,06 g/cm³ yoğunluğa sahip bu difüzör oldukça hafif ve istenilen ölçülerde kolayca kesilebilmektedir. UV ışınlarına dayanıklı, yüksek termal kararlılığı ile sararma ve solmaya gibi olumsuz özellikler göstermemektedir.



Şekil 9. PA75S2 ve PA-00S modelleri difüzör plakaları (PA75S2 and PA-00S models diffuser plates)

Kamaşma sorununun çözümüne yönelik; ışığın optik algıda yarattığı olumsuzlukları yok etmek amacıyla kasa derinliği 7 cm seviyesinde tutulmuştur. Bu derinlik PA-75S2 modeliyle ışık kaynağının gizlenmesinde de doğru bir tercihtir. 5 cm ve daha az derinliklerde LED'ler difüzör arkasında tane tane belirginleşmeye başlamaktadır. Şekil 10'da farklı kasa derinliklerinde ışık kaynağının görünürlüğü karşılaştırılmıştır.



Şekil 10. Kasa derinliğinin ışık kaynağının görünürlüğü üzerindeki etkisi (Effect of case depth on light source visibility)

2.4. LED Sürücü Tasarımı (LED Driver Design)

LED sürücü, istenilen verimlilik, THD, güç faktörü, güç değeri, maliyet ölçütlerine göre farklı devre tasarımlarına sahiptir. Temel olarak sabit gerilim ve sabit akım çeşidine sahip olan LED sürücüler AC-DC sürüş topolojisine göre de farklılaşmaktadır. Buck, boost, buck-boost, flyback, yarım köprü, tam köprü, sepic, cuk, zeta olmak üzere çeşitlendirilmişlerdir.

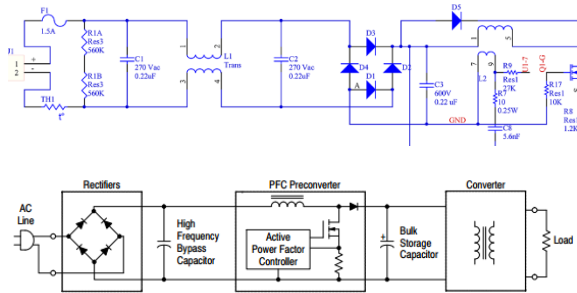
Maliyet-performans olarak en güce bağlı değişmekle birlikte en çok tercih edilen topolojiler flyback ve yarım köprü'dür. Flyback ile yüksek güç faktörü ve çıkış akımında regülasyon sağlanabilmektedir. Yüksek frekanslı anahtarlama oluşan kayıplardan dolayı verimlilikleri %87'den az olmaktadır. Yüksek güçlü uygulamalarda anahtarlama yapılan trafo üzerindeki kaçak endüktans ve kapasitans değerlerinin düşürülmesi gerekir [14-15].

Buck, boost, buck-boost, yarım ve tam köprü topolojilerinde devre giriş kısmında güç faktörü düzenlemesi yapılırken çıkış tarafından alınan geri besleme gerilim değerleri karşılaştırıcılar üzerinden değerlendirilerek anahtarlama frekanslarında değişiklikler yapılır. Böylece verimli, yüksek güç faktörü ve daha az bozunuma sahip DC çıkış ile LED yükü sürülmektedir.

Bu çalışmada, yapılacak olan LED sürücü yarım köprü topolojisine sahip olacaktır. Bu topoloji gereğince iki adet güç mosfeti ile yüksek frekansta yumuşak anahtarlama amacıyla seri paralel rezonans devresi olan LLC kullanılmaktadır. Şekil 13'te kullanılacak topolojinin devre üzerinde konumlandırılmasına yer verilmiştir.

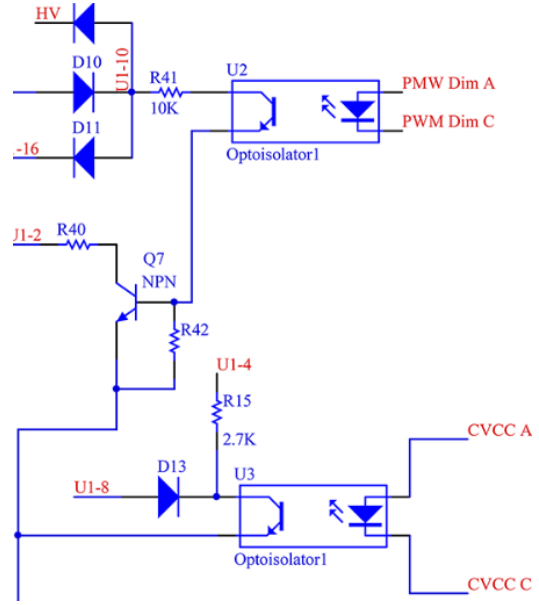
Yarım köprü sürücü devrelerinde sıfır akım algılayıcı (ZCD) ile anahtarlama yapıldığında akım sıfıra düştüğünde anahtarlama yapılan entegre kapatılır, gerilim algılayıcı (ZVD) ile gerilim sıfıra düştüğünde tekrar açılır. Böylece yumuşak anahtarlama ile elektromanyetik enerji depolanır ve anahtarlama frekansı yükseltilerek verimlilik artırılır [16].

Devre tasarımının giriş katında alternatif akımın inverter devresine distorsiyonsuz olarak alınabilmesi için paralel RC devresi kullanılmıştır. Devrenin AC girişinde elektromanyetik gürültüleri önleyen EMI filtresi bulunur. EMI filtresi şebekeden gelebilecek farklı frekanslardaki bozulmuş gerilimi süzmek için de oldukça faydalıdır. Bu tasarım için kullanılacak EMI filtresi endüktansı 2.9mH olarak hesaplanmıştır. AC gerilimin köprü diyotlarla DC gerilime çevrilmesinden sonra devrede 80kHz anahtarlama frekansında çalışan bir PFC şok bobini kullanılır. PFC bobini güç faktörünün aktif düzeltme devresinde gereklidir. Bu devrede PFC bobinin devamında PFC diyotta kullanılmaktadır. EMI filtresi ve PFC düzenleme devresinin tasarımdaki konumu Şekil 11’de gösterilmiştir.

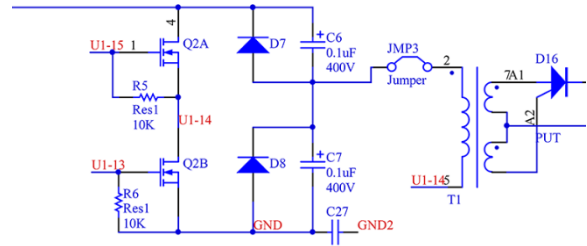


Şekil 11. EMI filtresi ve PFC düzenleme devresi (EMI filter and PFC regulation circuit)

AC-DC-DC dönüşümü yapıldıktan sonra sürücünün çıkış bölümünde sabit akım ve gerilim ile LED yükü sürülürken sıcaklık, gürültü, harmonik gibi bozucu etkilerden kaynaklanan değişimlerle elde edilen feedback dönüşleri devrenin girişinden izolasyonlu bir şekilde karşılaştırılarak anahtarlama frekans değişimleri yapılır. Sabit akım ve sabit gerilim çıkışlarının kontrol edildiği ve sürücünün çıkış akımının değiştirilebilmesini sağlayan belirli frekanstaki PWM sinyalinin girildiği optokuplörler Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Geri besleme dönüşleri ve optokuplörler (Feedback signals and optocouplers)



Şekil 13. Yarım köprü mimarisi ve flyback trafo konumları (Half bridge topology and flyback transformer locations)

3. GELİŞTİRİLEN AYDINLATMA ARMATÜRÜNÜN TERMAL ANALİZİ (THERMAL ANALYSIS OF DEVELOPED LIGHTING FIXTURE)

Geliştirilen armatürün termal analizi için SOLIDWORKS Flow Simulation yazılımı kullanılmıştır. SOLIDWORKS Flow Simulation, SOLIDWORKS yazılımına bir eklenti olarak gelmektedir ve SOLIDWORKS ile birlikte çalışmaktadır. Flow Simulation eklentisi yardımıyla tasarımların akış, ısı ve ısı transferi analizleri gerçekleştirilebilir.

Analizin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için, kullanılan LED ve LED’in sürüş akımına göre güç

hesabı yapılmalı, her bir LED için ısı yükü tanımlanmalıdır.

Geliştirilen nihai tasarımda LED modül 350 mA sürüş akımıyla beslenerek, toplamda 34W sistem giriş gücü elde edilmektedir. Modül tasarımı 6 paralel, 8 seri şeklinde yapıldığından; sürüş akımı paralel kollara eşit olarak dağılarak LED başına 58,3 mA sürüş akımı elde edilecektir. LM561B kodlu LED'in veri dosyasında belirtildiği üzere, tipik sürüş akımında LED gerilimi 2,90 V-3,00 V aralığındadır.

LED gerilimi ile sürüş akımı çarpılarak LED'in üzerinde harcanan güç bulunabilir (Eşitlik 1). Termal analizde maksimum ısı yükü altında analiz gerçekleştirilmesi gerektiğinden, hesaplama yapılırken gerilim aralığının en üst değeri alınmalıdır.

$$Güç = Gerilim \times Akım \quad (1)$$

Eşitlik 1 tasarım için uygulandığında;
 $Güç = 3,00V \times 0,0583A = 0,1749W$
 güç değeri elde edilir.

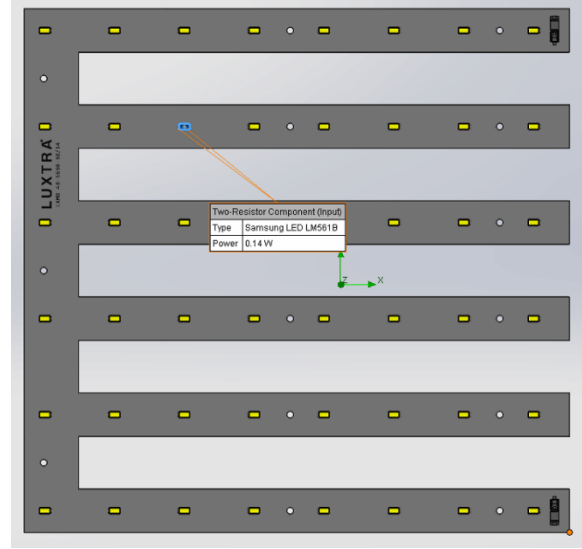
LED'lerin, üzerinde harcadığı enerjinin %70-80'ini ısıya dönüştürdüğü bilinmektedir [10]. Bu sebeple termal analiz yapılırken ısı yükünü %80 değerine göre hesaplamak gereklidir.

$$0,1749W \times 80/100 = 0,14W$$

Hesaplama sonucuna göre LED üzerinde harcanan 0,1749 W elektrik enerjisinin 0,14 W'ı ısıya, kalanı ise görünür ışığa dönüştürülmektedir.

Isı transfer analizi, sıvı akışı ve ısı aktarımını gerçekleştirebilen SOLIDWORKS Flow Simulation programı aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

Yukarıdaki hesaplamalara göre; LED modül üzerinde her bir LED için, yani 48 LED'in her birine 0,14W ısı yükü tanımlanmıştır.



Şekil 14. LED ısı yükü tanımlamaları (LED heat load definitions)

Analiz için ortam sıcaklığı +25 °C olarak ayarlanmıştır. Tüm hesaplamalar bu sıcaklık değerinde gerçekleştirilecektir.

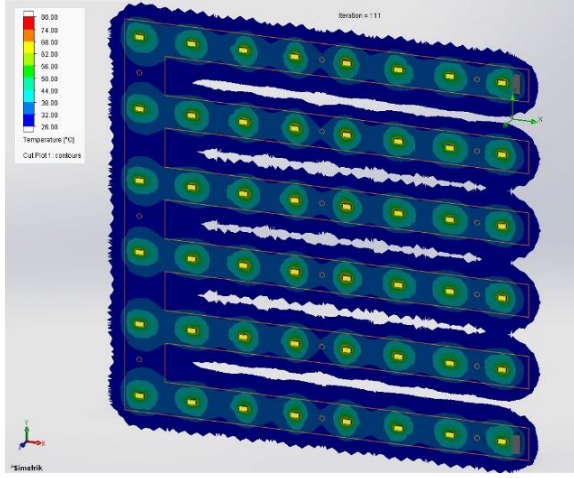
Analiz yapılmadan önce, elektronik devre kartının termal iletkenlik katsayısının tanımlanması ve LED ile devre kartı arasındaki iletkenin (lehim) doğru bir şekilde tanımlanması son derece önemlidir.

Elektronik kart, FR-4 adı verilen cam takviyeli epoksi laminat malzemeden üretildiğinden bu malzemeye ait termal iletkenlik katsayısı 0,27 W/(m·K) SOLIDWORKS Flow Simulation programında ilgili ekranlara girilmiştir.

LED'ler ile elektronik devre kartı arasında kontak direnci olarak 1 mm kalınlığında Au/Sn lehim alaşımı eklenmiştir.

Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra, LED modül termal analiz için hazır duruma getirilmiştir. Hesaplamalar yüksek performanslı bir bilgisayar aracılığıyla yaklaşık 30 dakikada tamamlanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan bilgisayar 4,2 GHz çekirdek hızına sahip INTEL Core i7-6700K modeli işlemci, 8GB GDDR5 256Bit özelliklerine sahip ekran kartı, 16GB hafızaya sahip DDR4-2400MHz hızında bellek ve 540MB-520MB/s hızında 500GB katı hal sürücü birimi ile donatılmıştır.



Şekil 15. Isı dağılımı gösterimi (*Heat dissipation display*)

Termal analiz sonucunda her bir LED için maksimum sıcaklık değeri kayıt altına alınmış ve Tablo 3 oluşturulmuştur. Tablo 3 incelendiğinde LED'lerin maksimum 90,51 °C sıcaklığa çıktığı görülmüştür.

Tablo 3. Her bir LED için maksimum sıcaklık değerleri (*Maximum temperature values for each LED*)

Name	Unit	Value
VG Max Temperature (Solid) 1	°C	84,38
VG Max Temperature (Solid) 2	°C	86,05
VG Max Temperature (Solid) 3	°C	85,95
VG Max Temperature (Solid) 4	°C	89,75
VG Max Temperature (Solid) 5	°C	88,72
VG Max Temperature (Solid) 6	°C	87,39
VG Max Temperature (Solid) 7	°C	82,99
VG Max Temperature (Solid) 8	°C	82,67
VG Max Temperature (Solid) 9	°C	84,18
VG Max Temperature (Solid) 10	°C	86,72
VG Max Temperature (Solid) 11	°C	85,73
VG Max Temperature (Solid) 12	°C	90,04
VG Max Temperature (Solid) 13	°C	89,18
VG Max Temperature (Solid) 14	°C	88,39
VG Max Temperature (Solid) 15	°C	83,55
VG Max Temperature (Solid) 16	°C	81,87
VG Max Temperature (Solid) 17	°C	83,49
VG Max Temperature (Solid) 18	°C	86,49
VG Max Temperature (Solid) 19	°C	85,96
VG Max Temperature (Solid) 20	°C	90,51
VG Max Temperature (Solid) 21	°C	88,72
VG Max Temperature (Solid) 22	°C	88,70
VG Max Temperature (Solid) 23	°C	83,22
VG Max Temperature (Solid) 24	°C	81,49
VG Max Temperature (Solid) 25	°C	83,47
VG Max Temperature (Solid) 26	°C	86,49
VG Max Temperature (Solid) 27	°C	85,87
VG Max Temperature (Solid) 28	°C	90,47
VG Max Temperature (Solid) 29	°C	88,82
VG Max Temperature (Solid) 30	°C	88,68
VG Max Temperature (Solid) 31	°C	83,19
VG Max Temperature (Solid) 32	°C	81,47
VG Max Temperature (Solid) 33	°C	84,13
VG Max Temperature (Solid) 34	°C	86,67
VG Max Temperature (Solid) 35	°C	85,64
VG Max Temperature (Solid) 36	°C	89,87
VG Max Temperature (Solid) 37	°C	89,07
VG Max Temperature (Solid) 38	°C	88,37
VG Max Temperature (Solid) 39	°C	83,41
VG Max Temperature (Solid) 40	°C	81,49
VG Max Temperature (Solid) 41	°C	84,26
VG Max Temperature (Solid) 42	°C	85,87
VG Max Temperature (Solid) 43	°C	85,85
VG Max Temperature (Solid) 44	°C	89,63
VG Max Temperature (Solid) 45	°C	88,57
VG Max Temperature (Solid) 46	°C	87,25
VG Max Temperature (Solid) 47	°C	82,95
VG Max Temperature (Solid) 48	°C	83,08

4. DENEY (*EXPERIMENT*)

Geliştirilen armatürün termal analizi yapılarak LED'lerin sıcaklığının güvenli sıcaklık aralığında kaldığı görülmüştür. Analiz sonucuna göre uzun ömürlü bir aydınlatma elemanı tasarlandığını

söylenbilir ancak bu sonuçları gerçek ortam koşullarında deney ile doğrulamak gereklidir. Çalışmanın bu kısmında, LED panel bir saat boyunca çalıştırılacak, bu süre boyunca LED'ler üzerindeki sıcaklık değerleri kayıt altına alınacaktır. Deneyde analizden farklı olarak LED modül tek başına teste tabi tutulmayacak, LED modül kasaya monte edilecek ve armatür gövdesi üzerindeki difüzör plaka kapatılarak LED modülün sistem içerisindeki davranışı ölçümlenecektir.

LED'ler, bir elektronik devrede kullanılan ve üzerinden akım geçen tüm devre elemanları gibi ısınırlar. Dolayısıyla, sistem performansı, lümen çıktısı ve ürün ömrü açısından sıcaklık kontrolü en kritik faktörlerden biridir. LED'lerin üreticileri tarafından öngörülen ürün eğrileri 25°C jonksiyon sıcaklığı koşullar için geçerlidir. Kabul edilmiş ticari armatürlerde bu değer 55-80°C aralığında değişiklik gösterir.

Jonksiyon Sıcaklığı; LED içerisinde ışığın oluştuğu noktadaki (jonksiyon) sıcaklıktır. Bu sıcaklık aydınlatma üreticisi tarafından doğrudan ölçülemez çünkü üreticinin eline geçen LED hali hazırda yalıtımlı bir ünite içerisine yerleştirilmiş durumdadır. LED'in jonksiyon sıcaklığı direkt olarak ölçülemez ancak Eşitlik 2'de görüldüğü gibi hesaplanabilir (Eşitlik 2).

$$T_J = T_S + R_{thJ-S} \times P_D \quad (2)$$

Burada T_J , Junction temperature (Eklem sıcaklığı), T_S , Solder point temperature (Lehim noktası sıcaklığı), R_{thJ-S} , Thermal resistance from junction to solder point (Eklem ile lehim noktası arasındaki termal direnç) ve P_D , Power dissipation (Güç dağılımı)'dır.

Şekil 17'de gösterildiği gibi Hioki LR-8431-20 isimli veri kaydedici ile LED Modül üzerinde 350mA sürüş akımı altında 4 noktadan 4 ayrı LED'in lehim noktası sıcaklığı ölçülmüş, bir kanaldan ise ortam sıcaklığı ölçümü yapılmıştır. Tüm bu ölçümler 5 saniyelik ölçüm aralığıyla 1 saat boyunca sürdürülmüştür.

Ölçüm için kullanılan beş kanal termokupl aşağıdaki şekilde bağlanmıştır.

CH1: L1, CH2: L48, CH3: L21, CH4: L16, CH5: ORTAM

Bir saatlik ölçüm süresi boyunca, ortam sıcaklığı Şekil 15'te görüldüğü gibi maksimum 32,6 °C'ye ulaşmış, lehim noktası sıcaklığı ise maksimum 35,8 °C seviyesiyle sınırlı kalmıştır. LED üzerindeki sürüş akımının 350mA/6=58mA gibi düşük bir seviyede olması ve PCB tasarımında bakır soğutma alanlarının düşünülmüş olması bu şekilde düşük sıcaklıkların yakalanmasında faydalı olmuştur. Tüm bu ölçümler gerçekçi sonuçlar alınması amacıyla difüzör kapalı iken yapılmıştır.



Şekil 16. Veri kaydedici bilgisayar arayüzü (Data Logger utility computer interface)

Ölçüm sonuçlarına göre; T_S lehim noktası sıcaklığı maksimum 35,8 °C seviyesine ulaşmıştır. R_{thJ-S} ısı direnci veri dosyasında belirtildiği üzere 16 °C/W alınacaktır. P_D güç hesabı da LED'in giriş gerilimi ve sürüş akımı ile Eşitlik 2'deki gibi doğrudan hesaplanacaktır (Eşitlik 2).

$$T_J = 35,8 \text{ °C} + 16 \text{ °C/W} \times 2,91 \times 0,058 = 38,5 \text{ °C}$$

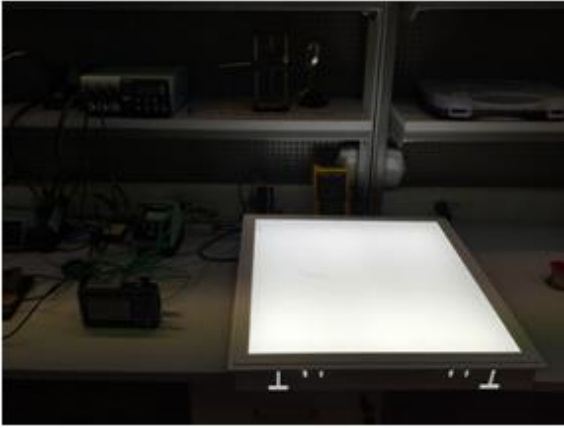
Hesaplamalarda gösterildiği üzere 30 °C'lik ortam sıcaklığında bir saatlik çalışma sonunda LED'in jonksiyon sıcaklığı T_J 38,5 °C seviyesinde tutulmuştur.

LM561B kodlu mid-power LED'in zamana bağlı ışık akısı ölçümleri (LM-80) 100 ve 150 mA sürüş akımlarında 6.000 saat süre ile yapılmış, 36.000 saatten fazla ekonomik ömür garantisine sahip olduğu belirtilmiştir. LM-80 raporuna göre, 100 mA sürüş akımında LED'in lehim noktası sıcaklığının 55 °C, 85 °C ve 105 °C iken LED'in toplam ışık akısının başlangıç ışık akısına göre %70 seviyesine düştüğü sürenin 36.000 saatten fazla olduğu görülmektedir.

Üreticinin LM-80 raporunda belirttiği en düşük sürüş akımı 100mA ve 55 °C T_S sıcaklığı dikkate alındığında geliştirilen LED modülün 36.000 saatten fazla ömre sahip olduğu sonucunu çıkartabiliriz.



Şekil 17. Veri kaydedici ve Termokupl bağlantı noktalarının gösterimi (*Display of Data Logger and Thermocouple junction*)



Şekil 18. Termal Ölçüm Test Düzeni (*Thermal Measurement Test Layout*)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gelişen teknolojiye paralel LED teknolojisi her alanda olduğu gibi aydınlatmada da hayatımızda hızla yerini arttırmaktadır. LED aydınlatmada hala en

büyük problem LED'ler üzerinde oluşan ısıdır. LED'ler üzerindeki ısı kontrol altına alındığında, uzun bir kullanım ömrü vaat edebilmektedir. Bu çalışmada ofis aydınlatmalarında kullanılan floresan ışık kaynaklı geleneksel armatürlerin yerine geçecek uzun ömürlü ve yüksek verimli LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü geliştirilmiştir. Armatüre ait LED ışık kaynağı, armatür gövdesi, LED sürücü, optik ve ışık açısı tasarımı yapılmıştır.

LED ışık kaynağının ısı dağılımını incelemek için termal analiz çalışması yapılmıştır. Analiz çalışmasının çıktıları kayıt altına alınarak termal deneylere geçilmiştir. Termal ölçüm 1 saat boyunca sürdürülmüş, sıcaklık-zaman grafiği çıkartılmıştır.

Tasarımı yapılan LED modül, termal analiz yardımıyla değerlendirildiğinde en yüksek 90,51 °C sıcaklığa ulaşmıştır. Gerçek ortam koşullarında deney yapıldığında ise en yüksek sıcaklığın 35,8 °C olduğu görülmüştür. Her iki durumda da LED'in jonksiyon sıcaklığı üretici tarafından belirtilen 105 °C sınırının altında kalmaktadır.

Analiz ve deney sonucunda görüldüğü üzere, gerçekleştirilen tasarımda LED'ler üzerinde açığa çıkan ısı, devre kartı yardımıyla LED'lerden uzaklaştırılmakta ve bu sayede LED'lerin sıcaklığı kontrol altında tutulmaktadır. LED'e ait veri dosyasından edinilen bilgiler ışığında, tasarlanan LED modülün 36.000 saatten fazla ömre sahip olduğu söylenebilir. Bu da günlük 10 saat kullanımda yaklaşık 10 yıl kullanım ömrüne sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Günümüzde LED aydınlatma alanında üretim yapan firmalar termal analiz yazılımlarının pahalı olması ve bu alanda uzmanlaşmış kişilerin az olması sebebiyle termal yönetimi büyük çoğunlukla ihmal etmektedir.

Piyasada yer alan diğer ürünlerde 36.000, 50.000 saat gibi ürün ömürleri katalog verisinde yer alsa da bu tarhminlerin büyük bir çoğunluğu teknik altyapıya dayandırılmamıştır. Belirtilen bu ömür, genellikle LED üreticisinin LED için belirttiği ömür öngörüsüdür. Ancak unutulmamalıdır ki, üretici bu ömrü yalnızca belirtilen koşullarda garanti eder. Bu koşulların oluşup oluşmadığı ise termal analiz ve deney yardımıyla doğrulanabilir.

Bu çalışma ile termal yönetimin önemi vurgulanmış, sıcaklığın LED'ler üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Bu çalışma, LED'li ışık kaynaklarının

ömürünü tahmin edebilmek için termal analiz yapılması gerektiğini göstermektedir.

Geliştirilen LED ışık kaynaklı ofis aydınlatma armatürü, iç mekân aydınlatmalarında floresan ışık kaynaklı armatürlerin yerine geçecek yüksek ışık verimli, uzun ömürlü iyi bir alternatiftir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] M. Ali, M. Orabi, M.E. Ahmed, A.E. Aroudi, Design considerations of a singlestage LED lamp driver with power factor correction, Proc. Int. Conf. Electr. Power Energy Convers. Syst. (2011), s. 1-6.
- [2] B. Lee, C. Kim, K. Park, G. Moon, A new single-stage PFC AC/DC converter with low link-capacitor voltage, J. Power Electron. 7 (2007), 328.
- [3] S. Ahmad, N.M.L. Tan, A non-electrolytic-capacitor low-power AC-DC singlestage SEPIC-Flyback LED converter, J. Telecommun. Electron. Comput. Eng. 8 (2016), pp. 105–111.
- [4] R. Petrella, A. Revelant, P. Stocco, A novel proposal to increase the power factor of photovoltaic grid-connected converters at light loads, Proc. Int. Univ. Power Eng. Conf. (2009), pp. 1-5.
- [5] AN Padmasali, SG Kini (2015). Prognostic algorithms for L70 life prediction of solid state lighting, Lighting Res. Technol. 2016; Vol. 48: pp. 608-623.
- [6] Ashok Sivaji, Sajidah Shopian, Zulkifli Mohd Nor, Ngip-Khean Chuan, Shamsul Bahri (2013). Lighting does matter: Preliminary assessment on office workers, 1.
- [7] Byung-Lip Ahn, Cheol-Yong Jang, Seung-Bok Leigh, Seunghwan Yoo, Hakgeun Jeong (2013). Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings. Applied Energy, pp. 1484-1489.
- [8] IESNA 2000, IESNA Lighting Design Guide in The IESNA lighting handbook. Reference & application. 9th edition. New York: Mark S. Rea.
- [9] Paola Iacomussi, Michela Radis, Giuseppe Rossi, Laura Rossi (2015). Visual Comfort with LED Lighting. Energy Procedia 78, 734.
- [10] De-Shau Huang, Tzu-Ching Chen, Liang-Te Tsai, Ming-Tzer Lin (2018). Design of fins with a grooved heat pipe for dissipation of heat from high-powered automotive LED headlights. Energy Conversion and Management, pp. 550-558.
- [11] Jin-Cherng Shyu, Keng-Wei Hsu, Kai-Shing Yang, Chi-Chuan Wang (2011). Thermal characterization of shrouded plate fin array on an LED backlight panel. Applied Thermal Engineering, pp. 2909-2915.
- [12] Emre Erkin, M. Berker Yurtseven, Önder Güler, Sermin Onaygil (2014). LED panel armatürlerin ofis aydınlatmasında retrofit amaçlı kullanımının incelenmesi, s. 1-7.
- [13] LM561B-5630 Middle Power LED Datasheet, https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Samsung%20PDFs/LM561B_5630MidPwrLED_Rev001.pdf (Erişim tarihi: 25.03.2019).
- [14] J.T. Hwang, M.S. Jung, D.H. Kim, J.H. Lee, M. H. Jung, J.H. Shin. Off-the-line primary side regulation LED lamp driver with single-stage PFC and TRIAC dimming using LED forward voltage and duty variation tracking control. IEEE J. Solid-State Circuits, 47 (2012), pp. 3081-3094.
- [15] B. Axelrod, Y. Berkovich, S. Tapuchi, A. Ioinovici. Single-stage single-switch switched-capacitor buck/buck-boost-type converter. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 45 (2009), pp. 419-430.
- [16] A new High-power LED drive power design based on “PFC+LLC+VC, CC” topology structure. Wenfang Li, Haixia Li, Jiayi Chen. International Conference on Cyberspace Technology (CCT 2013), pp. 20-23.
- [17] W.R. Ryckaert, K.A.G. Smet, I.A.A. Roelandts, M. Van Gils, P. Hanselaer (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. Energy and Buildings 49, pp. 429–436.

Emre YILMAZ

Emre Yılmaz graduated from Atılım University Electrical and Electronics Engineering Department in 2013. He completed his master's degree in Gazi University Industrial Design Engineering Department and started his doctorate education in the same department in 2019. He has been working in Lighting Equipment Sales as a business partner since 2017.

İsmail ŞAHİN

Assoc. Prof. İsmail Şahin, born in 1971, received his BS and MS degrees and his PhD from Gazi University, Ankara, Turkey. He became Assistant Professor at Gazi University in 2009. He has been Associate Professor in Industrial Design Engineering, Gazi University since 2015. His research areas include mechanical design, product design, computer aided design, composites materials and artificial intelligence (artificial neural network, expert systems etc.) and metaheuristic optimisation methods.