



Park-Bahçe Aydınlatma Armatürleri için Yeni Bir Soğutucu Gövde Tasarımı ve Analizi

Emre Yılmaz^{a*}, Murat Tolga Özkan^a, Mehmet Kaygusuz^a

^a Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara 06500, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 02.01.2017
Kabul: 10.03.2017

Anahtar Kelimeler:

Aydınlatma Armatürü,
LED, Işık, Termal,
Soğutucu

^{*}*Sorumlu Yazar:*
e-posta:
emre@emreyilmaz.net

ÖZET

Yeni aydınlatma teknolojileri hayatı kolaylaştırır ve daha iyi aydınlatma koşulları vaat eder. Ancak doğru planlanmadığında aydınlatma elemanlarının kullanım ömürleri beklenenden daha kısa olabilir. LED teknolojinde artan verim, aydınlatma ile birlikte hayatımızda daha çok yer edinmeye başlamasına yardımcı olmuştur. LED teknolojisinde LED üreticileri 50.000-60.000 saate kadar kullanım ömrü olduğunu testlerle belgeler. Ancak bu testler belirli sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple armatür tasarlanırken soğutucu gövde bu koşulları LED modül ve LED'e sağlamalıdır. Bu çalışmada hali hazırda park-bahçe aydınlatmalarında kullanılan doğrudan aydınlatma prensibinden çalışan, çoğunlukla düşük verim 100 W'a kadar kompakt floresan lambalı ve indirekt aydınlatma prensibinde çalışan 70, 100, 150 W metal halide ışık kaynaklı armatürlerin yerine geçebilecek ve bu ürünlere göre %40-60 enerji tasarrufu sağlayacak yeni nesil LED ışık kaynaklı bir park-bahçe armatürünün soğutucu gövdesi tasarlanmıştır.

New Cooling Design and Analysis for Park-Garden Lighting Fixtures

ARTICLE INFO

Received: 02.01.2017
Accepted: 10.03.2017

Keywords:

Luminaire, LED,
Light, Thermal,
Heatsink

^{*}*Corresponding
Authors*
e-mail:
emre@emreyilmaz.net

ABSTRACT

New lighting technologies make life easier and promise to better lighting conditions. However, when luminaires aren't planned properly, the lifetime of the luminaire can be shorter than expected. Increasing efficiency of LED technology helped LED's to having more space in our lives with lighting. LED manufacturers say that their LED's have 50.000-60.000 hours lifespan with test reports. But, these tests were performed under specific temperature conditions. Therefore, when designing luminaires and LED modules, LED heatsink must provide these conditions. In this study, a new generation LED based park-garden lighting fixture cooler body was designed. This design (LED luminaire) can replace compact fluorescent lamp based fixtures operate on principle of direct lighting up to 100W and 70, 100, 150W metal halide based fixtures which operate on indirect lighting principle. Also this new design and LED based luminaire will save 40-60% energy.

1. Giriş (Introduction)

Son yıllarda yüksek parlaklıklı ışık yayan diyotlar (LED'ler), iç mekânların aydınlatılması, sokak aydınlatmaları, reklam ekranları, trafik ışıkları ve dekoratif aydınlatma gibi pek çok aydınlatma uygulamasında tercih edilmeye başlanmıştır. Yüksek verimli bir ışık kaynağı olması ve bu verimliliğin her geçen gün artırılması sebebiyle LED'ler pek çok uygulamada yer almaktadır.

LED'lerde etkinlik lm/W olarak ifade edilir. Burada belirtilen değer, ışık kaynağının W başına yaydığı ışık akısı miktarıdır. Son yıllarda LED ışık kaynaklarının etkinliği 100 lm/W seviyesinin üzerine çıkmıştır. Geleneksel ışık kaynaklarında etkinlik faktörü, enkandesan lambalarda 15-25 lm/W, civa buharlı lambalarda 30-60 lm/W, metal halide lambalarda 80-105 lm/w, yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalarda 70-110 lm/W, floresan lambalarda 40-70 lm/W seviyelerindedir. LED'lerde elektrik enerjisinin ışığa çevrim oranı %15-%25 oranında seyretmektedir, bu değer geleneksel ışık kaynaklarında %10'dur. Buradan enerjinin büyük çoğunluğunun hala ısıya çevrildiği söylenebilir. Bu sebeple açığa çıkan ısının yönetimi, yüksek parlaklıklı LED'ler için son derece önemlidir.

Direkt ve endirekt geleneksel aydınlatma armatürlerinin oluşturduğu ışık kirliliği çevremize verdiği zararlardan bir diğeri olarak sayılabilir. Işık kirliliği yapay ışığın çevreye doğrudan veya dolaylı olarak girişi olarak tanımlanabilir. Işık kirliliği küresel bir sorun haline gelmiştir. Bu enerji ve çevre arasında gece gökyüzünün bozulması, ekosisteme zarar verilmesi ile yeni bir atık şekli haline gelmiştir. Yapay ışık kaynaklarının gece vakti yoğunlukla yarattığı bu kirliliği, ışık kaynağının tasarımını ve açısını değiştirerek, ihtiyaca göre çalışma süresi ve seviyesi optimize edilerek engellenebilir. LED'lerin yönlü ışık kaynağı olması ışık kirliliğinin önlenmesinde önemli bir faktördür. Gövde tasarımı da ışığın yönlendirilmesini destekleyici yapıda olursa daha verimli ve temiz bir aydınlatma elde edilebilir.

Araştırmalar gösteriyor ki, LED'lerin jonksiyon sıcaklığındaki artış, ömrünün kılmasına sebep olmaktadır [1]. Bu yüzden LED'lerin düşük çalışma sıcaklığına sahip olması gerekiyor. Bu da soğutucu gövdenin doğru bir şekilde tasarlanmasıyla sağlanabilir. Bu çalışmada hali hazırda park-bahçe aydınlatmalarında kullanılan doğrudan aydınlatma prensibinden çalışan, çoğunlukla düşük verim 100 W'a kadar kompakt floresan lambalı ve endirekt aydınlatma prensibinde çalışan 70, 100, 150 W metal halide ışık kaynaklı armatürlerin yerine geçebilecek ve bu ürünlere göre %40-60 enerji tasarrufu

sağlayacak yeni nesil LED ışık kaynaklı bir park-bahçe armatürünün soğutucu gövdesi tasarlanmıştır.

Çalışmanın amacı, armatür optik tasarımı sayesinde daha geniş bir alanı homojen olarak aydınlatabilecek bir ürün tasarlamaktır. Park ve bahçelerde güvenli bir ortamın sağlanmasında, görsel işlerin kolaylıkla yapılmasında ve uygun görüş alanı oluşturulmasında en önemli faktörlerden biri aydınlatmadır.

2. LED Esaslı Park-Bahçe Aydınlatma Armatürleri (LED Based Park-Garden Lighting Fixtures)

Güvenli bir ortam sağlanması ve uygun görüş alanı oluşturulması maksadıyla park genel alanında belirli bir aydınlık seviyesi sağlanmalı, yürüyüş yollarında ise ortalama düzgünlük değerlerine de dikkat edilerek doğru bir tasarım yapılmalıdır. Armatür seçiminin yanı sıra direkler arası mesafe, direk yüksekliği gibi değerler de yüksek önem arz etmekle birlikte, projelendirme esnasında titizlikle incelenmelidir. Böylelikle daha homojen bir aydınlatma ve direkler arasında gölgelenmelerin azaltılması sağlanabilir.

LED üreticilerin LED'ler üzerinde belirli jonksiyon sıcaklığına göre ömür testi gerçekleştirir. Bu sıcaklık değerlerine göre LED'in ömrü belirlenir. Genellikle 36.000 saat, 50.000 saat gibi belirtilen ömür L70 ömrüdür. Yani LED'in başlangıç ışık akısının %70'ine düştüğü süreyi ifade eder. Jonksiyon sıcaklığı doğrudan ölçülemez, bunun yerine eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmalıdır. Jonksiyon sıcaklığında 85 °C sınır değer olarak alınabilir.

$$T_j = T_{sp} + \theta_{th} \cdot P_{total} \quad (1)$$

Burada T_j : Jonksiyon sıcaklığı (°C), T_{sp} : Ölçülen lehim noktası sıcaklığı (°C), Q_{th} : LED'in termal direnci (°C/W), P_{total} : LED'in toplam giriş gücü (W)'dür.

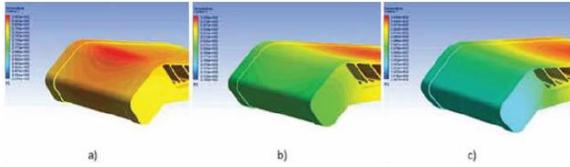
LED aydınlatma armatürlerinin termal analizinin yapıldığı, ısı iletkenliği yüksek plastik malzemelerin soğutma amaçlı kullanımıyla ilgili bazı örnek çalışmalara erişilmiştir. Grup İmaj ve Figes A.Ş. firmalarının birlikte yaptığı çalışmada 200 mm, 250 mm, 350 mm ve 450 mm gibi farklı boyutlarda alüminyum soğutuculu LED sokak aydınlatma armatürlerinin farklı çevresel koşullar altında LED ve sürücü kaynaklı ısı yayılımı incelenmiş, armatür soğutucu gövdesi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir (Şekil 1). Çalışmada 54-189 W güç aralığında LED

aydınlatma armatürleri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibi 3 farklı ortam sıcaklıklarında analiz edilmiştir [2].



Şekil 1. 200mm'lik LED sokak armatürünün katı modeli

$25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklığında, 24 LED'li, 54W, 200 mm LED sokak armatürü üzerinde LED sıcaklığı $80,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 36 LED'li, 81W, 250 mm LED sokak armatürü üzerindeki LED sıcaklığı ise $90,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ seviyesinde sonuçlanmıştır. Gerçekleştirilen ısıl analizlere göre küçük boyuttaki armatürlerin ihtiyaç duyulan soğutma performansını gösterebildiği kanıtlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Armatür gövdesi dış yüzey sıcaklık dağılımı

Aydınlatma sektörünün en önemli kuruluşlarından olan Osram, 2014 yılında LEDVANCE serisi LED downlight armatürlerinin L ve XL versiyonlarında soğutucu olarak alüminyum yerine plastik kullanmaya başlamıştır. Bu ürün ile birlikte gözler, LED armatürlerde kullanılan alüminyum soğutucular yerine daha hafif, çevresel etkileri daha az ve üretimi daha kolay alternatif materyallere çevrilmiştir. DSM'nin Stanyl TC isimli termal iletken polyamide malzemesi 14 W/mK 'e kadar ısı iletkenliği sağlayabilmektedir (Şekil 3). Mükemmel akış özelliğine sahip poliamidler, ısı dağılımını geliştirmek için yüksek yüzey-hacim oranları ile karmaşık şekilde kalıplanabilmektedir [3].

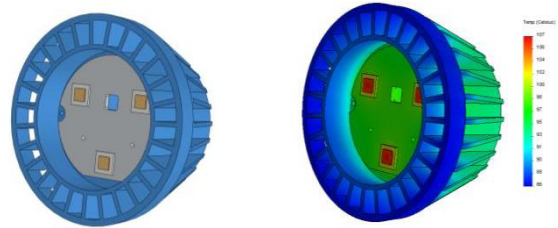


Şekil 3. Downlight armatür gövdesi soğutucu tasarımı

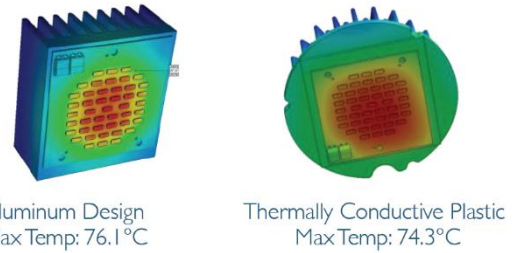
Stanyl TC, üreticilere; mukavemet, sertlik ve darbe direnci gibi yüksek mekanik özellikleri düşük

sistem maliyetiyle birlikte sunuyor. Osram'ın bu projesinde alüminyuma göre gövde ağırlığında %50 azalmayla birlikte yeterli miktarda soğutma performansı elde edilmiştir.

PolyOne Engineered Materials firması tarafından yapılan çalışmada da ısıya duyarlı uygulamalarda metallerin özel termoplastiklerle değişimi incelenmiştir. Isı transferinin; iletim, ısı yayılımı ve termal radyasyon olarak 3 modda incelendiği raporda ısı yönetimiyle ilgili temel bilgiler verilmiştir [4]. Çalışmada maliyet bakımından da tasarruf sağlanabileceği ifade edilmiştir. LED aydınlatmada alüminyum soğutucuların termal iletken plastikler ile değişimiyle toplam maliyette parça başına %13 tasarruf sağlanabileceği, toplam ağırlıkta %33 azalma elde edilebileceği belirtilmiştir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. LED lamba modeli ve ısı dağılımı



Şekil 5. Alüminyum ve termal iletken plastik soğutucu tasarımlarının karşılaştırılması

Poznan Teknoloji Üniversitesi Elektrik-Elektronik Üniversitesi Bölümü'nde yapılan bir çalışmada sodyum ve LED ışık kaynaklı sokak aydınlatmalarının termal testi yapılmıştır. Yüksek basınçlı soydum buharlı lambalarda elektrik enerjisinin %30'unun ışığa, kalan %70'inin de ısıya dönüştürüldüğü ifade edilmiştir. Bu ışık oranının LED armatürlerde ise %25 seviyesinde olduğu görülmüştür [5]. Çalışmada NiCr-Ni 400W sodyum buharlı LED armatür ve 100W LED armatür üzerinde yapılan sıcaklık ölçümlerine göre; sodyum buharlı armatür maksimum sıcaklığı 92 dereceye yaklaşık 14 saatte, maksimum sıcaklığın yarısı 41 dereceye ise 1 saat gibi bir sürede ulaşmaktadır. LED armatürde ise yaklaşık 2 saatte maksimum sıcaklık 92 dereceye, bu sıcaklığın yarısı 46 dereceye ise sadece 3 saniyede erişilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. LED aydınlatma armatürü için süreyle bağlı sıcaklık ölçümü

Luminaire type	Temperature rise ΔT		Heating time
	% of max value	°C	s/min/h
LED4UC2 100W	50	46	3 s
	75	69	3 min 10 s
	80	73.6	8 min 20 s
	95	87.4	53 min
	100	92	about 2 h

Tablo 2’de Philips, Schreder, Heper, ve Pelsan başta olmak üzere aydınlatma armatür üreticilerinin LED esaslı park-bahçe aydınlatma armatürleri incelenmiştir. Ara renk görünüm grubundan 3500 K – 6500 K aralığındaki renk sıcaklık değerlerini karşılayan, renksel geriverim indisi ≥ 70 olan ürünlerin seçilmesine özen gösterilmiştir.

Tablo 2. LED Işık Kaynak Park-Bahçe Armatürleri Ürün Özellikleri

Ürün	Sipariş Kodu	LTD	Güç Işık Akısı (W) (lm)	Armatür Etkinlik Faktörü (lm/W)	Renk Sıcaklığı (K)	CRI	Koruma Sınıfı	Ingress Protection Code	Ağırlık (kg)	Boru Çapı (mm)	Boyut (mm)	Fiyat (Euro)	
PHILIPS STREETSAVER	910503910005 (BPP007)	VAR	39	2407	62	3500 K	≥ 75	IP 65	IK 08	Bilinmiyor.	Ø60	598x598x391 mm	413 €
PHILIPS TOWNGUIDE PERFORMER	910500991148 (BDP104)	VAR	52	4576	88	3500 K	≥ 80	IP 66	IK 10	Bilinmiyor.	Ø48-76	571x571x277 mm	580 €
PHILIPS STELA	912300025922 (BPP610)	VAR	47	4539	97	3500 K	≥ 75	IP 66	IK 10	7,5 kg	Ø60-76	600x600x195 mm	981 €
SCHREDER PERLA	PERLA 73W 3500K+BLUE	VAR	73	4817	66	3500 K	≥ 70	IP 66	IK 09	8 kg	Ø76	572x322x77 mm	Bilinmiyor.
HEPER KREIS	LL2027.511	VAR	49	2174	44	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	Ø60	498x494 mm	220 €	
BEST LAMPS BST-2800	BST-2800-L40	VAR	43	2716	63	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	8,6 kg	Ø60	570x570x445 mm	192 \$
BEST LAMPS BST-2170B	BST-2170B-L60	VAR	61	5793	95	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	8,6 kg	Ø60	570x570x525 mm	198 \$
PELSAN VERDE	5616 5411	YOK	68	3316	49	6500 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	8,8 kg	Ø114	560x560x881 mm	1.750 TL
VESTEL MILKYWAY	MILKYWAY 44W 4000K	YOK	44	4100	93	4000 K	≥ 80	IP 65	Bilinmiyor.	Ø60	500x500x222 mm	400 \$	
VESTEL ORION	ORION 44W 4000K	YOK	44	4100	93	4000 K	≥ 80	IP 65	Bilinmiyor.	Bilinmiyor.	Ø60	500x500x417 mm	400 \$
ELISOLAR SL LD 70	SL LD 70W	YOK	70	9100	130	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	14 kg	Ø60	558x608 mm	Bilinmiyor.
MODULED RPS3	RPS3-180-60-AC-WH-ST	YOK	60	7760	129	4000 K	≥ 80	IP 65	Bilinmiyor.	5 kg	Ø76	700x700x350 mm	145 \$
PROLEDA PRL-UF-50	PROLEDA PRL-UF-50	YOK	50	4725	95	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	8,5 kg	Ø60	620x620x210 mm	775 TL
PROLEDA PRL-YUF-50	PROLEDA PRL-YUF-50	YOK	50	4725	95	4000 K	≥ 70	IP 65	Bilinmiyor.	8,5 kg	Ø60	775x775x850 mm	775 TL

Tablo 2’de görüldüğü üzere; mevcut park-bahçe armatürleri 39-73 W güç aralığında, armatür dışına 2174-5793 lm ışık akısı iletebilmektedir. Bu kapsamda, incelenen park-bahçe armatürlerinin etkinlik faktörü maksimum 97 lm/W olarak hesaplanmıştır. Armatürler genelde IP 65 koruma sınıfına sahip, ağırlıkları 7,5 kg – 8,8 kg arasında değişmektedir. Kasa boyutları incelendiğinde ise; gövde genellikle 570-600 mm çapta, armatür yüksekliği ise ortalama 400 mm’dir. Montaj boru çapı çoğu üründe Ø60 mm olarak seçilse de, bazı ürünlerin Ø48-76 mm aralığındaki direklere montaj edilebilecek şekilde tasarlandığı görülmüştür. Sonuç olarak; Philips Stela modeli LED ışık kaynaklı park-bahçe armatürü, 97 lm/W etkinlik faktörü ile rakiplerini geride bırakarak ön plana çıkmıştır. Elisolar, Modüled gibi yerli üreticiler 129-130 lm/W etkinlik faktörü iddia etse de, bu armatürlere ait fotometrik ölçümlerin olmaması değerlendirme dışında bırakılması için bir sebep olmuştur.

3. LED Armatürlerin Soğutulması (Cooling of LED Luminaires)

LED aydınlatma armatürlerinde termal yönetim en önemli unsurlardan bir tanesidir. Tüm yarı iletken elektronik ekipmanları gibi, LED’ler de açıldığında (üzerinden akım geçtiğinde) ısınır. Bu ısınma LED’lerin ömrünü olumsuz yönde etkiler, kontrol altına alınmadığında ise ciddi miktarda azalır.

Filament bazlı ışık kaynaklarının aksine LED’ler ürettiği ısıyı yaymaz, bu nedenle üretilen ısı uzaklaştırılmalıdır. Soğutucu elektronik donanımlar tarafından üretilen ısıyı emer, fan hava akışı sağlayarak onu soğuk tutmaya yardım eder.

Bu durum soğutma işleminin iki önemli işlevini tanımlar:

- 1) Isı elektronik cihazdan soğutucu yardımıyla uzaklaştırılır.
- 2) Hava ısıyı soğutucudan uzaklaştırmaya yardımcı olur.

LED aydınlatma armatürleri içinde fanlar kullanılmaz, soğutma için sadece soğutucu gövde kullanılır ve buna pasif soğutma adı verilir. LED modülleri soğutucu gövdeye sabitlenir ve ısıyı kontrol etmesi sağlanır. Soğutucu gövde, LED’ler tarafından üretilen ısıyı emerek, LED’lerin zarar görmesini önler [6].

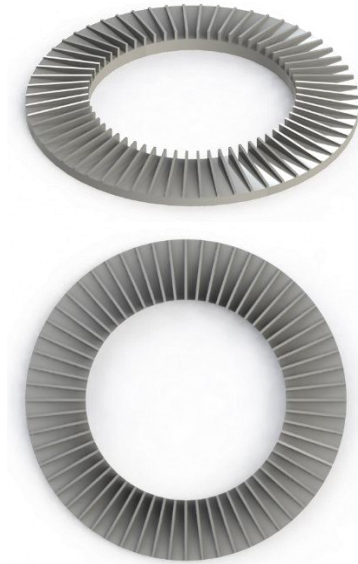
4. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Armatür gövdesinin tasarımı uygulama türüne göre değişiklik gösterir. Sokak armatürü olarak mı, projektör olarak mı yoksa iç mekan da mı kullanılacak? Bu soruların cevaplarına göre tasarım yapılabilir.

Çalışma kapsamında tasarımı yapılan aydınlatma elamanı, dış mekânda kullanılacak bir park-bahçe aydınlatma armatürüdür (Şekil 6). Armatürün tasarımı oluşturulurken aydınlatma performansını olumsuz etkileyebilecek parametrelere dikkat edilmiştir. Optik

dağılımın sağlanabilmesi için kullanılan lensler ile gövdeyi dış etkenlerden koruyacak temperli cam arasındaki mesafe son derece önemlidir. Bu mesafenin fazla olması optik performansın istenildiği gibi elde edilememesine sebep olacaktır. Bu sebeple kasa derinliği ve çerçeve tasarımı cam ile lens arasındaki mesafenin 6 mm seviyesinde tutulması için önemli bir parametredir. Baskılı devre kartlarının (PCB) monte edileceği yüzeyde ısı kontrolünün sağlanamaması da aydınlatma performansı ve ürün kullanım ömrüne etki eder. LED'ler ışıktan fazla ısı üretirler, bu oran yaklaşık %70 ısı, %30 ışık olarak alınabilir. LED'ler üzerinde oluşan ısının, alüminyum PCB vasıtasıyla armatür gövdesine iletilmesi gerekmektedir. Gövdeye iletilen ısının pasif soğutma yöntemiyle havaya transfer edilmesi gerekmektedir. Bu maksatla PCB'nin monte edileceği yüzeyin arkasında soğutucu tasarımı oluşturulmalıdır. Bu tasarım ısının hava ile daha büyük alanda temas etmesini ve ısının soğurulmasını sağlayacaktır. Isı iletim alanının artırılması yüksek miktarda ısının kısa süre içerisinde gövdeden havaya iletilmesini sağlayacaktır. PCB ile gövde arasında da ısı transferinin mükemmelleştirilmesi için kimyasal kullanılmalıdır.

Soğutucu tasarımı, Şekil 6'da gösterildiği üzere piyasada mevcut ürünlerde olduğu gibi dairesel gövde üzerine, soğutucu kanalların merkeze eksenli şekilde dizilmesiyle oluşturulmuştur.



Şekil 6. Soğutucu Gövde Tasarımı

Şekil 9'da verilen tasarım 2 farklı malzeme seçimiyle analiz yapılacaktır. Isı dağılımının incelenmesi ve termal yönetim prensiplerinin geliştirilmesi için termal analizlerin bir bilgisayar

yazılımı vasıtasıyla yapılması gerekir. Termal analizler Ansys yazılımı üzerinde icra edilmiştir. Termal analiz raporlarında elde edilen sonuçlara göre, tasarımlar arasında üstünlük ilişkisi kurularak nihai tasarım seçilecektir. Gövde tasarımı yapılırken IP ve IK dayanıklılık koşullarının da sağlanması için gerekli düzenlemeler de yapılmıştır.

Malzeme seçimi konusunda Poliamid (PA) veya alüminyum tercih edilmiştir. PA yüksek sıcaklık altında üstün özellikler gösterir ve termal iletkenli katsayıları yüksektir. Aydınlatma ve termal yönetim uygulamalarında çok yeni bir teknoloji olduğu söylenebilir. Bu noktada alüminyum ile PA malzemenin karşılaştırması termal analizler sonucundaki çıktılarına göre yapılmıştır.

5. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Soğutucu gövdeye monte edilecek LED modüllerin sıcaklıklarının izlenmesi için iki farklı yöntemle deney yapılmıştır. Her iki yöntem de farklı deney ortamından birer kez tekrar edilmiş, sonuçlar doğrulanmıştır.

Bir LED modül üzerinden 180mA geçirilerek ilk test icra edilmiştir (Şekil 7). 180mA sürüş akımında LED modül, 16,79 V gerilimde 3 W güç tüketimine sahiptir.

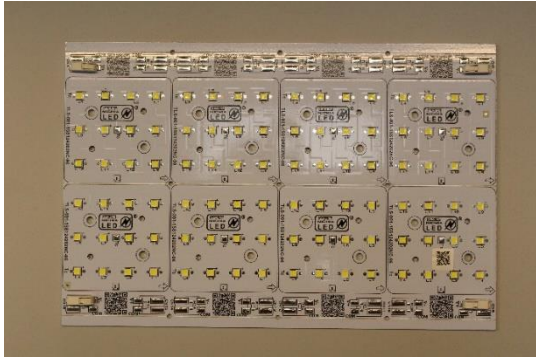
Ortam sıcaklığı 21 °C derece iken Fluke 61 kızılötesi termometre ile yapılan ölçümlerde sıcaklığın 5 dakika içerisinde 35,6 °C sıcaklığa geldiği, buradan sonra kısmen lineer bir grafik çizerek 1 saat sonunda 37,8 °C sıcaklığa ulaştığı görülmüştür. Kızılötesi termometre ile her 5 dakikada yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. LED Modülün 180mA Sürüş Akımında Sıcaklık Ölçümü

Süre (SS:DD)	Infrared Termometre Sıcaklık Ölçümü (180 mA)
00:00	25,4 °C
00:05	35,6 °C
00:10	36,2 °C
00:15	37,0 °C
00:20	37,4 °C
00:25	37,4 °C
00:30	37,4 °C
00:35	37,6 °C
00:40	37,6 °C
00:45	37,6 °C
00:50	37,6 °C
00:55	37,8 °C
01:00	37,8 °C
Test Sonucu DC Güç Değerleri	16,56V 0,18A 2,9W
Datalogger Dosyası	LUXTRA01.MEM WAVE0001.CSV

Aynı test modülün tipik sürüş akımı 350mA ile yeniden sürülerek ölçümler tekrarlanmıştır. 350mA sürüş akımında LED modülün 17,56 V gerilim altında 6,1 W güç çektiği görülmüştür. Bu ölçümde ortam sıcaklığı 21,7 °C olarak ölçülmüş, 5 dakika çalışma sonunda LED modülün 50,8 °C sıcaklığa ulaştığı, 1 saat sonunda ise 53,6 °C seviyesinde olduğu görülmüştür. Yükseltelen akım değeriyle tekrarlanan sıcaklık ölçümlerine ait sonuçlar Tablo 4’de gösterilmiştir.

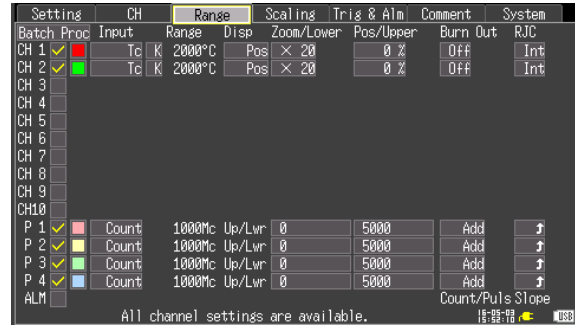
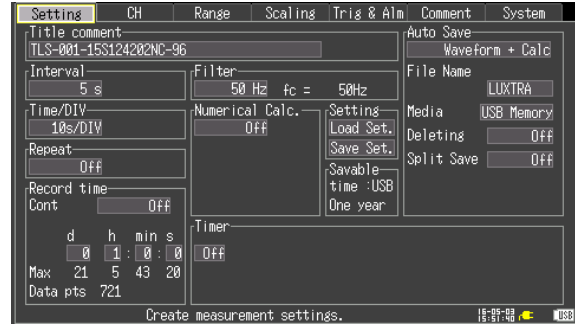
Daha hassas ölçüm yapılabilmesi için, bu testler yapılmadan önce LED modülde lehim noktası üzerine K tipi termokapl termal epoksi ile yapıştırılarak datalogger üzerinden ölçüm alınabilmesi sağlanmıştır (Şekil 7). Hioki LR8431 modeli 20 kanallı dataloggerın birinci kanalı LED modül üzerindeki sıcaklığın ölçümü için, ikinci kanalı da LED modüle 15 cm uzaklığa yerleştirilerek ortam sıcaklığının ölçülmesi hedeflenmiştir. Her 5 saniyede bir ölçümler otomatik olarak alınarak sonuçlar excel tablosuna aktarılmıştır. Ölçüm ayarları Şekil 8’de, ölçüm ekran görüntüsü ise Şekil 9’da gösterilmiştir.



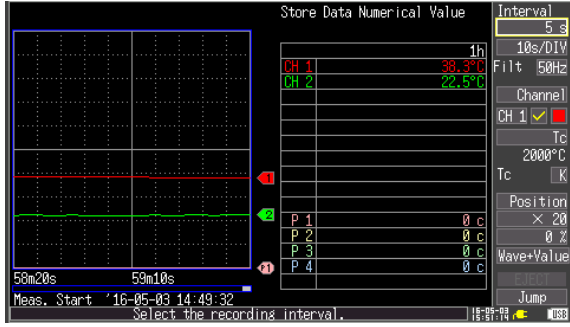
Şekil 7. LED Modül'ün Görüntüsü ve Termokapl Ölçümü

Tablo 4. LED Modülün 350mA Sürüş Akımında Sıcaklık Ölçümü

Süre (SS:DD)	Infrared Termometre Sıcaklık Ölçümü (350 mA)
00:00	25,2 °C
00:05	50,8 °C
00:10	52,8 °C
00:15	52,8 °C
00:20	52,6 °C
00:25	53,6 °C
00:30	54,0 °C
00:35	53,8 °C
00:40	53,6 °C
00:45	53,8 °C
00:50	53,4 °C
00:55	53,6 °C
01:00	53,6 °C
Test Sonucu DC Güç Değerleri	17,26V 0,35A 6,0W
Datalogger Dosyası	LUXTRA02.MEM WAVE0002.CSV

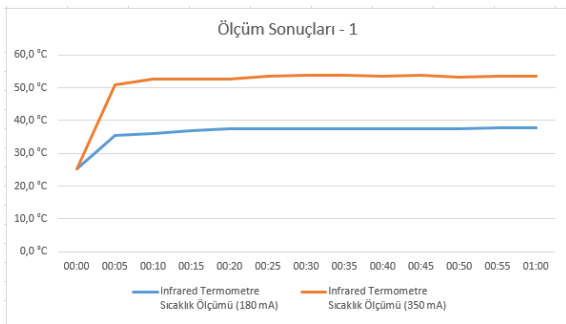


Şekil 8. Datalogger Ölçüm Ayarları



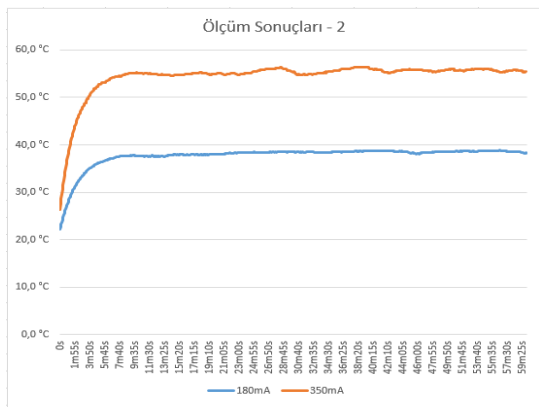
Şekil 9. Datalogger Ölçüm Ekranı

Şekil 10'da 180mA ve 350mA'deki sıcaklık ölçümleri grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 10. 180mA ve 350mA'deki sıcaklık ölçümlerinin grafik üzerinde gösterimi

Düşük akım kurulumunda datalogger ölçümlerine göre 21 °C ortam sıcaklığında LED modül'ün 1 saat sonunda 38,3 °C sıcaklıkta olduğu ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Yüksek akımda ise 21,7 °C derece ortam sıcaklığında LED modülün 1 saat sonunda 55,4 °C sıcaklığa ulaştığı görülmüştür. 1 saat boyunca yapılan ölçümlere ait datalogger kayıtları Şekil 11'de görülebilir.



Şekil 11. 180mA ve 350mA'deki Datalogger Kayıtlarının Grafik Üzerinde Gösterimi

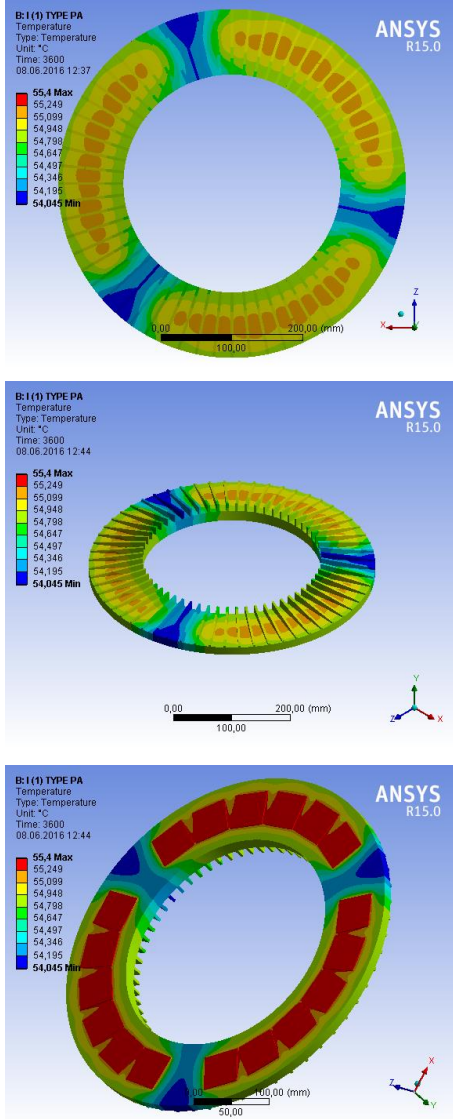
Datalogger yardımıyla daha hassas ölçümler yapılabildiğinden, termal analizlerde datalogger yardımıyla okunan sıcaklık değerleri kullanılacaktır. Tüm testler bir gün sonra farklı bir konumda tekrarlanmış, benzer sonuçlar elde edilmiştir.

6. Analiz (Analysis)

Analizler Ansys yazılımı üzerinde Ansys Workbench arayüzünde gerçekleştirilmiştir. 2 farklı malzeme için analiz 2 kez yapılmıştır. Termal İletken Polyamide (PA) malzemesi için üreticinin belirttiği değerler; yoğunluk 1560 kg/m³, ısı iletkenliği 20 W/mK, özgül ısı 1,1 J/g °C olarak girilmiştir. Alüminyum malzemesi için ise; yoğunluk 2770 kg/m³, ısı iletkenliği tabular data olarak -100 °C için 114 W/mK, 0 °C için 144 W/mK, 100°C için 165 W/mK, 200 °C için 175 W/m, özgül ısı 0,85 J/g °C olarak girilmiştir (Şekil 12).

Yüksek sıcaklıkta test edilmesi istendiğinden 180 mA yerine 350 mA sürüş akımındaki sıcaklık değerlerine göre analiz yapılmıştır. Solidworks yazılımında hazırlanan soğutucu tasarımı Part Document (.SLDPRT) formatında kaydedilerek Ansys yazılımına Geometry olarak import edilmiştir. Mesh size 3 olarak tanımlanarak mesh yapısı oluşturulmuştur. Analiz sistemi olarak Transient Thermal seçilerek düzgün başlangıç sıcaklığı 21,7 °C olarak kaydedilmiştir. Analiz ayarlarından analiz süresi 3600 saniyeye getirilmiş zaman adımı 100 saniye olarak ayarlanmıştır. Soğutucunun alt yüzeyinde LED modüllerin monte edileceği 18 yüzeye 3600 saniyelik süre içerisinde başlangıç sıcaklığı 21,7 °C'den 55,4 °C'ye kadar doğrusal olarak artacak sıcaklık uygulanmıştır. Girilen bu verilere göre Ansys yazılımından sıcaklık, toplam ısı akısı, x eksen yönünde ısı akısı ve y eksen yönünde ısı akısı çözümlerinin yapılması istenmiştir.

Düz soğutma kanallarının yer aldığı modeli PA malzeme ile analiz edildiğinde, Tablo 5 ve Şekil 13'te görüldüğü üzere, minimum sıcaklığın 54,045 °C olduğu görülmüştür. Analizde maksimum sıcaklık 18 yüzeye uygulanan 55,4 °C'dir.

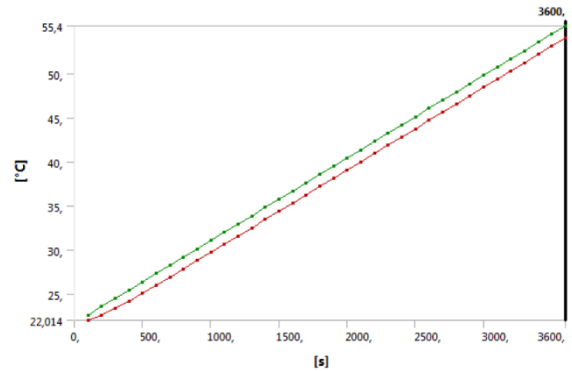


Şekil 12. Soğutucu Tasarımının Sıcaklığa Göre Renkli Gösterimi

Analiz alüminyum kasa malzemesi ile tekrarlanmıştır. Tablo 6 ve Şekil 14’de görüleceği üzere, analiz sonuçlarına göre minimum sıcaklık 55,149 °C olmuştur. Alüminyum malzemede gerçekleştirilen analizde max-min sıcaklık grafiği üzerinde maksimum ve minimum eğrilerinin arasındaki uzaklığın azalması daha başarılı soğutma performansı sergilediği şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5. Soğutucu Tasarımının PA Malzeme İle Analiz Sonuçları

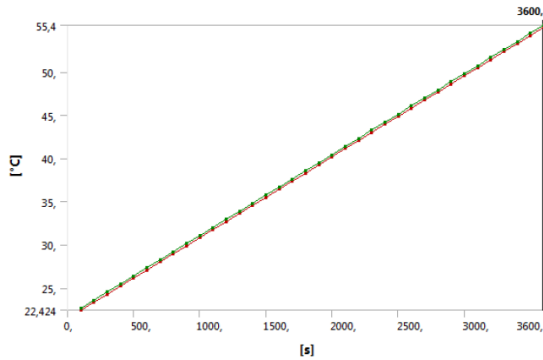
Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
100	22,014	22,636
200	22,598	23,572
300	23,348	24,508
400	24,188	25,444
500	25,075	26,381
600	25,986	27,317
700	26,91	28,253
800	27,84	29,189
900	28,773	30,125
1000	29,708	31,061
1100	30,643	31,997
1200	31,579	32,933
1300	32,515	33,869
1400	33,451	34,806
1500	34,387	35,742
1600	35,323	36,678
1700	36,259	37,614
1800	37,195	38,55
1900	38,131	39,486
2000	39,067	40,422
2100	40,003	41,358
2200	40,939	42,294
2300	41,875	43,231
2400	42,812	44,167
2500	43,748	45,103
2600	44,684	46,039
2700	45,62	46,975
2800	46,556	47,911
2900	47,492	48,847
3000	48,428	49,783
3100	49,364	50,719
3200	50,3	51,656
3300	51,237	52,592
3400	52,173	53,528
3500	53,109	54,464
3600	54,045	55,4



Şekil 13. Soğutucu Tasarımının PA Malzeme İle Analizi Max-Min Sıcaklık Grafiği

Tablo 6. Soğutucu Tasarımının Alüminyum Malzeme İle Analiz Sonuçları

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
100	22,424	22,636
200	23,322	23,572
300	24,252	24,508
400	25,187	25,444
500	26,123	26,381
600	27,059	27,317
700	27,995	28,253
800	28,931	29,189
900	29,867	30,125
1000	30,803	31,061
1100	31,74	31,997
1200	32,676	32,933
1300	33,612	33,869
1400	34,548	34,806
1500	35,484	35,742
1600	36,42	36,678
1700	37,356	37,614
1800	38,292	38,55
1900	39,228	39,486
2000	40,165	40,422
2100	41,101	41,358
2200	42,042	42,294
2300	42,98	43,231
2400	43,916	44,167
2500	44,852	45,103
2600	45,788	46,039
2700	46,724	46,975
2800	47,66	47,911
2900	48,596	48,847
3000	49,533	49,783
3100	50,469	50,719
3200	51,405	51,656
3300	52,341	52,592
3400	53,277	53,528
3500	54,213	54,464
3600	55,149	55,4



Şekil 14. Soğutucu Tasarımının Alüminyum Malzeme İle Analizi Max-Min Sıcaklık Grafiği

Gövde için PA malzeme seçiminde maksimum minimum sıcaklık aralığı 1,355 °C seviyesinde, Alüminyum malzemede ise bu değer 0,251 °C'dir. Bu sonuca göre alüminyumun ısıyı soğutucu gövde üzerinde daha homojen bir şekilde yaydığı anlaşılmaktadır. Ancak maliyet, ağırlık ve çevresel etkileri bakımından düşünüldüğünde PA'da soğutucu gövdede kullanılabilir.

7. Maliyet Analizi (Cost Analysis)

Son zamanlarda ev tipi duylu LED lambalarda metal soğutucular yerini plastik esaslı malzemelere bırakmaya başlamıştır. Bunun sebebi plastik malzemelerin ekonomiklik, işleme kolaylığı ve hafiflik gibi özelliklere sahip olmasıdır. LED lambalarda olduğu gibi LED armatürlerde de bu malzemenin kullanılması, ürünün LED aydınlatma pazarında rekabet gücünün artmasına yardımcı olabilir. Burada yapılan analiz yüksek performans mühendislik polimerleri, Poliamit ve Polyphthalamide üzerine yapılmıştır.

Polyamid, alüminyuma göre %60 daha az yoğunluğa sahiptir. Bu da %60 daha hafif malzeme anlamına gelir. Alüminyum 580 °C sıcaklıkta erirken, PA 220 °C sıcaklıkta erir. Bu da PA malzemenin daha kolay işlenebildiğini ifade eder. Hammadde fiyatları kg birimi üzerinden hesaplanır. 7075-T6 kodlu alüminyum metalinin birim kg fiyatı 1,80 \$'dır. PA yani Polyamid'in ise birim kg maliyeti 4,30 \$'dır [8]. Soğutucu gövdenin alüminyum ile 5 kg ağırlıkta olduğu varsayıldığında bir aydınlatma armatürü için toplam hammadde maliyeti 9 \$ olarak ortaya çıkar. PA malzeme % 60 daha hafif olduğundan aynı hacimde soğutucu gövde için 2 kg üzerinde maliyet hesaplaması yapılır ve 8,6 \$ olarak hesaplanır.

Malzeme birim fiyatında tasarruf sağlandığı konusunda şüpheye yer yoktur. Ancak, yalnızca malzeme birim fiyatlarını incelemek yeterli değildir. Gövdenin üretimi için gerekli kalıp maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemenin yüksek sıcaklıkta işlenmesi sebebiyle kalıp maliyetleri polimer kalıplarına göre yüksektir. Bu noktada plastik enjeksiyon kalıpları ile alüminyum kalıplarının maliyet ve ömür açısından da karşılaştırılması gereklidir.

8. 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 üzerinde oluşan yüksek sıcaklık soğutucu gövde aracılığıyla düşürülmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle kavramsal tasarım çalışmaları yapılmış, piyasadaki LED park-bahçe armatürleri detaylıca incelenmiştir. Kavramsal tasarım çalışmaları neticesinde elde edilen bilgilere göre tasarım aşamasına geçilerek soğutucu gövde tasarlanmıştır. Bu gövde tasarımı PA ve AL olmak üzere 2 farklı malzeme ile birleştirilerek analiz çalışmalarının girdileri oluşturulmuştur. Tasarımların oluşturulmasından sonra deneylere geçilmiştir.

Deneylerde soğutucu gövdeye monte edilecek LED modüllerin sıcaklıkları zamana bağlı ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Deney aşamasında görüldüğü üzere, LED modüller sıcaklıkları ilk 5 dakika içerisinde hızlı bir şekilde yükselmiş sonraki sürede nispeten daha düşük hızda ısınmaya devam etmiştir. Analiz aşamasına geçildiğinde deney çıktılarına göre 2 farklı soğutucu gövdede sıcaklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda malzeme seçiminin soğutma performansına etkisi incelenmiştir.

Kaynaklar (References)

[1] Yung K.C., Liem H., Choy H.S., Cai Z.X. Thermal investigation of a high brightness LED array package assembly for various placement algorithms. Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, 2013.

[2] İnternet: Yıldırım A., Elmas N., Rezazad H., Karaismail E. LED Aydınlatma Armatürü Termal Analiz Çalışmaları. Grup İmaj & Fıgas A.Ş., 2016, <http://www.aydinlatma.gen.tr/led-aydinlatma-armaturu-termal-analiz-calismalari.html>. Erişim tarihi: 12.02.2016

[3] İnternet: DSM Engineering Plastics, Press Release, Singapur, 2014, http://www.dsm.com/content/dam/dsm/cworld/en_US/documents/2014-10-23-osram-led-downlights-keep-cool-with-thermally-conductive-stanyl-tc-polyamide-46-from-dsm.pdf, Erişim tarihi: 14.08.2016

[4] Marc M., Bosse M., Maurer R., Hippert A. Metal Replacement with Specialty Thermoplastic Solutions in Heat-Sensitive Applications. SPE Antec, 2014, 5-6.

[5] Domke K. Thermal testing of road luminaires with sodium and LED lamps. Przegląd Elektrotechniczny. 2013, 89 (2b): 292-294.

[6] El-Zein N. The LED Lighting Revolution, LED Light Energy LLC, 2014, Chicago, IL, USA.

[7] İnternet: CREE, Solder-Point Temperature Measurement Application Note, CLD-AP157 rev 1B, http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/Solder_Point_Temp.pdf, Erişim tarihi: 22.08.2016

[8] İnternet: Ortiz C. Material Pricing, Mechanics Of Materials, 2003 <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/props.pdf>. Erişim tarihi: 22.08.2016

[9] Cheng H.H., Huang D., Lin M. Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method. Microelectronics Reliability. 2012, 5: 905-911.

[10] Wang R.T., Wang J.C. Analyzing the structural designs and thermal performance of nonmetal lighting devices of LED bulbs. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016, 99: 750-761.