

Güneş Enerjisi Kaynaklı LED Armatür Tasarımı

İlhami ÇOLAK, İbrahim SEFA, Ramazan BAYINDIR, Mehmet DEMİRTAŞ
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, teminindeki zorluklar ve maliyetleri, ülkeleri farklı enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Ayrıca üretilen enerjinin verimli şekilde kullanılması da önemli bir konudur. Enerjinin çok tüketildiği alanlardan biri olan aydınlatma sistemlerinde verimliliğin artırılması amacıyla LED'li aydınlatma konusu üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Son gelişmelerle LED'lerin birim güç başına sağladığı ışık akısı flouresant ve akkor flemanlı lambalardan daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu çalışmada güneş enerjisiyle şarj edilebilen bir akü sisteminden beslenen yüksek güçlü LED'lerin kullanıldığı bir aydınlatma sistemi iki farklı mercekle tasarlanmıştır ve gerçekleştirilmiştir. Uygulama neticelerinden ölçülen ışık şiddeti değerleri analiz edilmiş, tasarlanan aydınlatma armatürünün güneş enerjili sistemlerle uyumlu ve pratik olduğu koridor, bahçe ve güvenlik amaçlı aydınlatma ortamlarında kullanılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, yüksek güçlü LED, enerji verimliliği

Design of LED Armature Based on Solar Energy

ABSTRACT

Many countries have been directed their researchers to alternative energy sources due to limited amount of fossil fuel reserves. In addition, efficient use of energy is also very important. Recent studies have been focused on efficient use of energy in LED based illumination systems. LED's have more light flux per power than fluorescent in incandescent lamps. In this study, an armature with power LED's has been designed and implemented using two different lens and two identical chargeable batteries with solar energy. Experimental results have shown that the designed armature with solar system is very practical and suitable and can be used in parks, security regions and halls.

Key Words: Solar energy, high power LED, energy efficiency

1. GİRİŞ

Enerji üretiminin tükenbilir kaynaklara dayalı olarak yapıldığı birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de maliyeti giderek artan ve dış ülkelere bağımlı kılan elektrik enerjisinin tüketiminde akılcı yolları kullanarak tasarruf edilmesi konusu önem kazanmaktadır. Aydınlatma alanında toplam elektrik enerjisi tüketiminin %20-25'i kullanılmaktadır (1). Bu nedenle, aydınlatmada enerjinin etkin kullanımıyla elde edilecek elektrik enerjisi tasarrufu azımsanmayacak bir ölçüye ulaşabilecektir. Aydınlatma armatürü seçiminde armatürün kullanılacağı ortamın aydınlanma değeri, kullanılacak lambanın ışık şiddeti ve renk sıcaklığı gibi değerler önem kazanmaktadır (2). Armatürlerin tükettiği enerjide tasarruf sağlanması için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları, ekonomik lambalar olarak bilinen aydınlatma cihazları ve flouresant armatürlerdir. Bu armatürler balastlı ve balastsız olarak çeşitli güç ve tipte kullanılmaktadırlar. Ancak bu tip armatürlerde küçük güçlerde elde edilen ışık şiddeti yeterli olmamakta, daha fazla ışık istenildiğinde ise lambanın gücü ve enerji sarfiyatı artmaktadır.

Enerjiden tasarruf etmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır (3). Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan photovoltaik panellerin aydınlatma sistemlerinde kulla-

nılması, ihtiyaca göre panel seçimindeki kolaylık, şebeke olmayan ortamlarda kullanılabilmesi, mevcut yapıya entegre edilebilmesi gibi sebeplerle kısa zamanda yaygınlaşmıştır. Ülkemizde henüz trafik sinyalizasyonu ve reklâm panolarında kullanılan. LED'ler, günlük hayatta ise dekoratif aydınlatma ve küçük bahçe aydınlatması uygulamalarında görülmektedir (4-6).

Bu LED'ler ile bir aydınlatma armatürü tasarlanması çalışmalarında ise, genel olarak LED dizileri düşük doğru gerilimde ve sabit akımda çalıştırıldıklarından, gerilim düşürücü transformatörler ve sonrasında sabit akım kaynakları ile kullanılmaktadırlar. Bu durum ise enerji kaybına ve cihaz boyutunun büyümesine yol açmaktadır.

Mevcut çalışmada yüksek aydınlatma değerlerine sahip LED'lerin çalışma gerilimine uygun PV panel seçildiğinden ikinci bir dönüşüm ihtiyacı ortadan kaldırılarak böylece kayıplar azaltılmıştır. Tasarlanan armatürlerde iki farklı tip mercekle kullanılmış ve bu armatürler güneş panelleri yardımı ile çalışabilecek sabit akımlı sistemlerle beslenmişlerdir. Böylece hem elde edilen elektrik enerjisi yenilenebilir kaynaklar yardımıyla üretilmekte, hem de kullanılan aydınlatma elemanları düşük gerilimde çalışabilecek yüksek aydınlatma değerlerine sahip ve normal armatürlere göre daha uzun ömürlü olmaktadır.

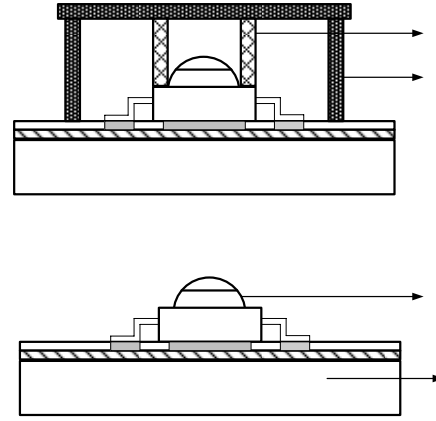
2. LED'LERİN AYDINLATMADA KULLANIMI

Günümüz teknolojisinde LED'lerin birim güç başına sağladığı ışık akısı flouresant armatürlerin 2 katına akkor flamanlı lambaların ise 10 katına ulaşmıştır (7). Bu yüksek verim oranı LED'lerin aydınlatma alanında kullanımının hızla yaygınlaşmasına yol açmıştır. Geleneksel aydınlatma elemanlarının çoğunda görünür ışık, metal flamanların ısıtılmasıyla veya bir gaz boşalmasındaki mor-ötesi ışımının görünür ışığa dönüştürülmesiyle ortaya çıkan bir yan üründür. LED'lerde ise bunun aksine, elektrik akımı, ışık vermesine neden olacak şekilde katı bir kristal içerisinden geçirilir. Kullanılan kristallerde iki bölge mevcuttur; elektronlarla aşırı dolu bir n-tipi bölge ve elektron eksikliği olan p-tipi bölge. Aradaki geçiş bölgesinde (p-n geçiş bölgesi veya bariyer birleşme yeri olarak da adlandırılır), kristale doğru akım (DA) uygulandığında elektron fazlalıklarının ve elektron eksikliklerinin dengelendiği yeniden birleştirme işlemiyle ışık elde edilir (8). Elde edilen ışığın emisyon spektrumunun bant genişliği küçüktür. Baskın çıkan dalga boyu yarıiletken kristali üretmekte kullanılan malzemelere bağlıdır. Aydınlatma uygulamaları için imal edilen LED'lerin kırmızı veya sarı olanları alüminyum indiyum galyum fosfat (AlInGaP) ve yeşil ya da mavi olanları indiyum galyum nitrat (InGaN) tabanlı olarak üretilmektedir (8). Beyaz ışık, renk karıştırma veya ışıltama dönüşümü yoluyla üretilebilir. Işıltama boyaları mavi ya da mavi-yeşil LED'lerin yaydığı ışımının bir kısmını soğurur ve sarı-turuncu ışımaya yayarlar. Bu emisyonlar üst üste geldiğinde beyaz ışık olarak algılanır. Bu sayede, renk sıcaklığı 30000 ile 70000 Kelvin arasında değişen beyaz LED'leri üretmek mümkündür (9-10). Şekil 1'de 3W güce sahip beyaz ışık veren yüksek güçlü LED ve merceği görülmektedir (11).



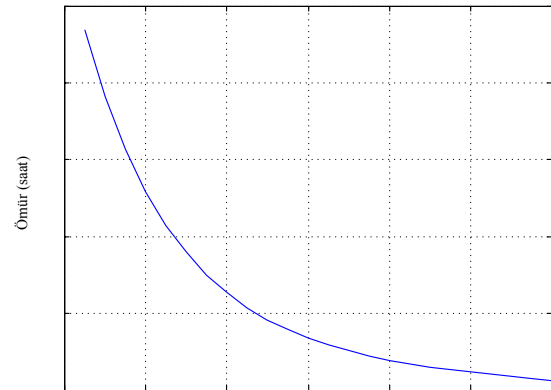
Şekil 1. 3 W Edixeon yüksek güçlü LED

Kırmızı-turuncu ve sarı-yeşil ışık yayan iki ayrı ışıltama boyası kullanıldığında daha iyi renksel gerive-rim ve daha düşük renk sıcaklıkları elde edilebilir. Bu tip LED'lerde üretilen ışığı belirli bir alana yönlendirebilmesi için çeşitli açılara sahip ilave mercekler kullanılmaktadır. Merceğin açısına bağlı olarak üretilen ışık belirli bir noktada odaklandırılabilir veya geniş bir yüzeyi aydınlatılmaktadır. Şekil 2'de merceкли LED'in kesit görüntüsü verilmektedir (11).



Şekil 2. Yüksek güçlü LED için kesit görüntüsü

Yapılan uygulamalar için üretilen ışığın verimine ek olarak, ışık yayan diyodun uzun ömürlü olması da toplam tasarrufta önemli bir faktördür. LED'lerin uzun ömürlü olması, bu ışık kaynaklarıyla donatılmış herhangi bir aydınlatma sisteminin bakım periyodunu da bir hayli uzatmaktadır. Uygulamaların çoğunda LED modüllerinin ömrü en az diğer aydınlatma armatürlerinin kadarıdır. Ancak son yıllarda üretilmekte olan yüksek güçlü LED'lerde LED'in çalışma sıcaklığına bağlı olarak kullanım ömrü uzamakta ve eğer iyi bir soğutucu ile birlikte kullanılırsa bu süre normal bir armatürün 10 katına kadar çıkabilmektedir. Şekil 3'te yüksek güçlü bir LED'in sıcaklığa bağlı olarak kullanım ömrüne ilişkin eğri verilmiştir (11).



Şekil 3. Yüksek güçlü LED'in sıcaklık-ömür tablosu

Kullanılacak LED'lerin ömürlerini uzatabilmek amacıyla iyi bir soğutucuya monte edilmeleri ve sabit akımda çalışabilecek sürücülerle kullanılmaları tercih edilir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN LED'Lİ AYDINLATMADA KULLANIMI

Fotovoltaik modüller, güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Güneşten gelen fotonlar, enerjilerini bir yarıiletken modül üzerinde bulunan hücrelerdeki birleşim bölgelerine aktarırlar. Aktarılan bu enerji, bir elektron hareketini meydana

getirir. Bu da elektrik akımını doğurur. Bu elektrik akımı, hücrenin kontakları arasına yük bağlamak suretiyle DA olarak doğrudan doğruya kullanılabilir (12). Günümüzde güneş panellerinin aydınlatma ve diğer sistemlerde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrik iletiminin zor olduğu yerlerde sokak armatürü olarak veya bahçe ve parklarda aydınlatma armatürü olarak kullanımları görülmektedir. Şekil 4'te bu tür uygulama örnekleri verilmiştir.



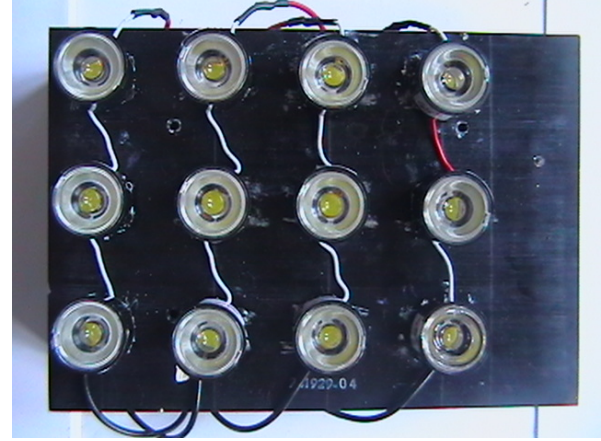
Şekil 4. Aydınlatmada güneş panellerinin kullanım örnekleri

Aydınlatma sistemlerinde güneş panellerinin kullanımında armatür olarak düşük gerilimli kompakt floresant lambalar kullanılmaktayken, yeni uygulamalarda yüksek aydınlatma değerlerine sahip LED'lerle armatürler tasarlanmaktadır.

Bu tip sistemlerin tasarımında en önemli nokta, sisteme yerleştirilen panel gücünün armatür gücüne ve beklenen çalışma süresi ile ilişkili olarak seçilen akünün kapasitesine göre şarj akımını dikkate alarak belirlenmesidir. Aydınlatma armatürü büyük güçte tasarlanarak panel boyutu küçük tutulduğunda ise, panelden elde edilen gerilim ve güç değeri kullanılacak olan aküyü tam olarak şarj edemeyeceğinden istenilen sürede bir aydınlatma sağlanamayacaktır. Ancak uygun armatür, güneş paneli, şarj sistemi ve akü bir araya getirildiğinde aydınlatma sistemi maksimum verimle çalışabilmektedir.

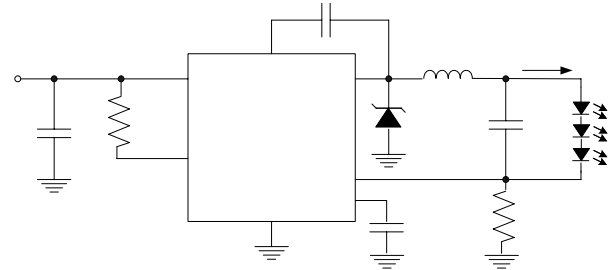
4. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Yenilenebilir enerji kaynaklı LED aydınlatma armatürü tasarımı çalışmasında, aynı güç değerinde yüksek aydınlatma değerine sahip ve düşük enerji tüketimli 3 W'lık LED'ler kullanılarak örnek aydınlatma armatürü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Aynı LED'lerin 1 W ve 5 W'lık modelleri de mevcuttur. Bu LED'ler toplamda 36 W güç değeri elde edilecek şekilde bağlantıları yapılarak, soğutma değeri yüksek bir soğutucunun üzerine montaj edilmiştir. Şekil 5'te soğutucu üzerine yerleştirilmiş LED'ler görülmektedir.



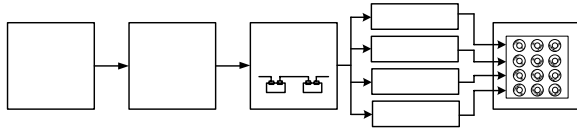
Şekil 5. 3 W'lık LED'lerle oluşturulmuş model

Kullanılan LED'lerin ürettikleri ışığı belirli bir yöne yönlendirmeleri amacıyla, LED'lerle birlikte ışık kırma açıları 15° ve 45° olan mercekler kullanılmıştır. 15°'lik merceklerle elde edilen ışık daha küçük bir alanı, daha kuvvetli aydınlatabilmektedir. 45°'lik merceklerde ise, daha geniş bir alan 15°'lik mercek tipine göre daha az aydınlanmaktadır. Uygulamada farklı açı değerlerine sahip mercekler bulunmaktadır. En uygun mercek açısının belirlenmesindeki önemli kriter, aydınlatılacak olan yüzeyin armatüre olan mesafesi ve istenilen aydınlık şiddetidir. Bu değerler uluslararası standartlarla belirlenmiştir. Armatürün kullanılacağı ortamın belirlenmesi ve aydınlık şiddetine göre mercek tercihi yapılması en uygun yöntemdir. Örneğin aydınlık şiddeti okullardaki sınıflar için 200 Lux, hastane odaları için 400 Lux ve ameliyat masaları içinse 5000 Lux değerinde olmalıdır (13). Bu değerlere göre aynı armatür yüksekliği için yüksek aydınlık şiddeti istenilen yerlerde daha küçük açılı mercekler, düşük aydınlık şiddeti istenilen yerlerde ise daha geniş açılı mercekler kullanılmalıdır. Kullanılan LED'lerin hem kendileri için üretilen LED sürücülerle, hem de LED gruplarının önlerine birer ön direnç bağlayarak deneyleri yapılmıştır. Şekil 6'da kullanılan sürücünün devre şeması verilmiştir. Burada 36 W'lık armatür için 4 adet sürücü kullanılarak LED'ler 12 adet olacak şekilde soğutucuya yerleştirilmiştir.



Şekil 6. LED sürücüsünün bağlantı şeması

Uygulanan sistemde giriş gerilimi 24 V DA olmaktadır. Bu gerilim değeri 185 W'lık Sharp NUSOE3E modeli güneş panelini devreye bağlayarak elde edilmiştir. Güneş paneli ile sistemin çalışabilmesi için gerekli olan sistemin blok şeması Şekil 7'de verilmiştir.



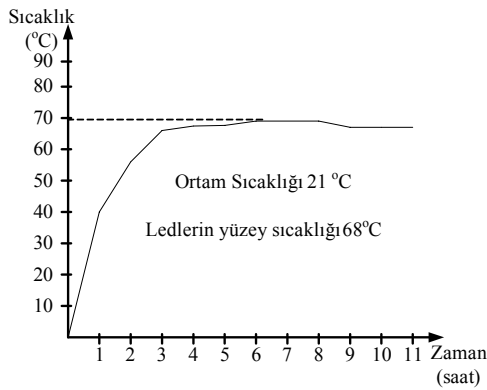
Şekil 7. Uygulanan sistemin blok şeması

Burada güneş panelinde elde edilen gerilim, sistemde kullanılan 12 V, 18 Ah'lık aküleri bir şarj ünitesi aracılığı ile beslemektedir. Akülerden elde edilen gerilim ise sürücü devrelerine uygulanmakta ve sürücülerin yardımıyla LED'ler çalışmaktadır. Ayrıca uygulama, sürücüler olmadan yapıldığı durumda ise, sürücülerin yerine birer ön direnç bağlanarak LED'ler akü şarj ünitesinin çıkışındaki gerilimle çalıştırılabilmektedir.

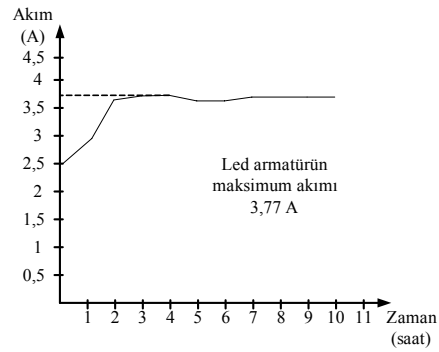


Şekil 8. Hazırlanan deney setinin görüntüsü

LED
ARMATÜR

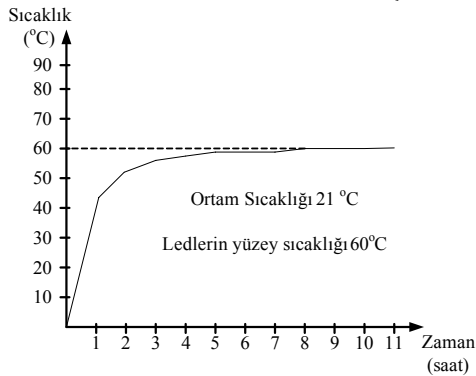


(a) Soğutucu sıcaklığın zamana göre değişimi

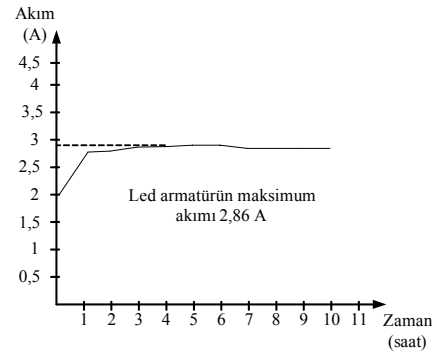


(b) Akımın zamana göre değişimi

Şekil 9. Ön direnç bağlı LED armatür



(a) Sıcaklığın zamana göre değişimi



(b) Akımın zamana göre değişimi

Şekil 10. Sürücü bağlı LED armatür

Şekil.8'de hazırlanan deney seti görülmektedir. Armatürün çalıştırılabilmesi için güneş panellerinden elde edilen DA gerilim bir şarj ünitesi yardımıyla iki adet 12 Volt 18A/h aküyü beslemektedir.

Akülerin çıkışındaki gerilim, dört sürücü vasıtasıyla armatürün çalıştırılması için kullanılmaktadır. Ayrıca, sistem sürücü devreler olmaksızın akülerden elde edilen gerilimin 2 Ω/5W ön dirençler vasıtası ile de çalıştırılabilmektedir. Şekilde deney sırasında kullanılan Avometre, Luxmetre ve sayısal termometre gibi ölçü aletleri de görülmektedir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Tasarlanıp uygulaması yapılan sistemde 15° ve 45°'lik iki farklı mercekle kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında LED armatür hem sürücü ile hem de sürücü olmadan sadece ön direnç ile çalıştırılmış ve LED'lerin yüzey sıcaklığı ve oluşturulan sistemden çekilen akımla ilgili elde edilen eğriler Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

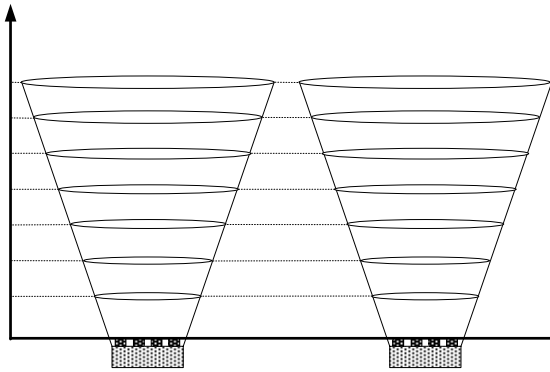
Şekil 9.(a)'da görüldüğü gibi ön direnç kullanılarak LED'lerin çalıştırılmasında armatürün sıcaklık değeri 68 °C'ye çıkmaktadır. LED'lerle ilgili Şekil 3'teki

verilere göre 68 °C sıcaklıkta yaklaşık LED ömrü 46.000 saat olmaktadır. Şekil 10.(a)'daki eğride ise sürücü kullanılarak elde edilen değerler görülmektedir. Buna göre LED sıcaklığı 60 °C olmakta ve yine Şekil 3'teki veriler ışığında LED'lerin ömrü yaklaşık 64.000 saat olmaktadır.

Şekil 9.(b) ve Şekil 10.(b) deki eğriler karşılaştırıldığında ise sürücü ile birlikte armatürün kullanıldığında daha az akım çektiği görülmüştür.

Armatürün karakteristiksel özelliğini bulabilmek için karanlık bir ortamda armatür 1,5 m uzunluğunda, 20 cm çapında siyaha boyanmış metal bir silindirin içine yerleştirilmiştir. Bu ölçümde kayıpların minimize edilmesi amacıyla böyle bir işlem gerçekleştirilmiştir. Silindirin üstünden LUTRON marka Luxmetre ile yapılan ölçümlerde, armatürün sürücü ile çalıştırıldığında 5000 Lux, ön direnç kullanılarak çalıştırıldığında ise 5800 Lux aydınlatma şiddetine sahip oldukları ölçülmüştür. Armatürün sürücü devre elemanları ve ön dirençle, açık bir ortamda yapılan ölçümlerinde ise Şekil 11'de gösterilen değerler elde edilmiştir. Yapılan deneyler sırasında armatür üzerindeki LED'lerde 45°'lik mercekle kullanılmıştır. Ölçümler ise kapalı ortamdaki kullanılan Luxmetre ile yapılmıştır.

Ön dirençli bağlantıda LED'ler sistemden 3,77A akım çekerek, armatür üzerinde 10,85 V gerilim düşmektedir. 5 saat sonundaki soğutucu yüzey sıcaklığı ise 68 °C olarak ölçülmüştür. Aynı bağlantıda açık alanda mesafeye göre ölçülen aydınlık seviyesi ve aydınlık düzeyleri Şekil 11.(a)'da görülmektedir. Armatürün 7 metre uzaklıktaki aydınlık düzeyi değeri 68 Lux, aydınlatıldığı alan ise yaklaşık olarak 5m çapında dairesel bir alan olmaktadır.



Şekil 11. Aydınlatma şiddetinin mesafeye göre değişimi

Aynı ölçümler ön direnç yerine sürücüler kullanılarak yapıldığında armatür sistemden 2.86 A akım çekerek, armatür üzerine düşen gerilim değeri ise 9.78 V olmuştur. 5 saat sonunda soğutucu sıcaklığı ise 60 °C olarak ölçülmüştür. Armatür sürücü ile kullanıldığında 7 m mesafedeki aydınlık şiddeti değeri 41 Lux ve aydınlatılan alanın çapı yaklaşık 5 m olmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada PV paneller ile şarj edilebilen bir akü sistemi üzerinden beslenen LED'li aydınlatma armatürü iki farklı mercekle kullanılarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar mercekle ve yüksek aydınlatma gücüne sahip LED'lerin aydınlatma alanında kullanılabilirliği ve uygulanabilirliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Kullanılan farklı merceklerle elde edilen sonuçlardan, 45°'lik mercekle kullanıldığında 15°'lik merceğe göre daha geniş alan daha az ışık şiddetiyle aydınlatıldığı ancak ışık şiddetinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, kullanılan mercekle açısının aydınlatma yüzeyi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Buradan, 3 m yüksekliğindeki bir aydınlatma mesafesi için, aydınlatılacak yüzey dar bir alan ise küçük açılı merceklerin, sokak aydınlatması gibi geniş alanlarda ise büyük açılı merceklerin kullanımı uygun olacaktır.

Armatürde kullanılan LED'lerin uzun ömürlü olabilmesi için, LED'lerin monte edildiği soğutucu sıcaklığının mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için uygun soğutucu seçilmesi, gerekli ise cebri soğutma tercih edilmelidir. LED'ler sabit akım kaynaklı entegreler sürüldüklerinde sistemden çekilen akım düşmekte olup güç kayıpları azalmaktadır. Aydınlık şiddetinin kaynak gerilimi değiştiğinde sabit kalması için tercih edilmelidir. Ön direnç kullanılarak yapılan LED'li aydınlatmada güç kayıpları çoğalacağından şebekeden çalışma mümkün olduğunda tercih edilmelidir.

Güneş panellerinden üretilerek akülerde depo edilen enerjinin LED'li aydınlatma uygulamalarında kullanılmasının avantajları;

- Bu tür armatürlerin şebeke geriliminin olmadığı ortamlarda kullanılması mümkündür.
- D.A./ A.A. ve daha sonrada A.A./ D.A. dönüşümlerine ihtiyaç duyulmayacağı için güç kayıpları düşüktür.
- Armatürleri 12, 24, 36, 48 V gibi düşük gerilimlerde çalıştırmak mümkündür.
- İzolasyonun gerekmediği durumlarda kullanılan buck ve boost konvertörlerin kullanımı mümkün olacağından verim yüksek, maliyet düşük olacaktır.

Güneş paneli kullanılarak yapılan uygulamada armatürün sürücü ile çalıştırılması akünün ömrünü ve sistemin verimini arttırmaktadır. 45°'lik merceklerle çalışan ön dirençli ve sürme devreli armatürün çalışma performansları aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir

Tablo 1. LED armatürün sürücülü ve ön dirençli performansı

Armatür Tipi Armatür Performansı	Ön Dirençli Armatür	Sürücü Devreli Armatür
Harcanan Güç	Yüksek	Düşük
Akü ve armatür ömrü	Kısa	Uzun
Kaynak gerilimindeki aydınlık şiddeti değişimi	Değiştirir	Değiştirmez

LED'lerle oluşturulan sistemlerin ilk kuruluş maliyeti yüksek olmaktadır. Ancak normal bir armatürün yaklaşık 10 katı daha uzun ömürlü bir LED armatür kendi kuruluş giderlerini karşılayabilir.

7. TEŞEKKÜR

Yazarlar 07/2007-35 kod numarası ile bu çalışmaya maddi destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

8. KAYNAKLAR

1. CIE, "Statement on Energy Conservation and Lighting", Publication CIE, No.29, 1975.
2. Onaygil, S., "Aydınlatmada Verimlilik ve Enerji Tasarrufu", İzmir Aydınlatma Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Kasım 2001, İzmir, s.6-12.
3. Çolak İ., Bayındır R., Sefa İ., Demirbaş Ş., Ergen H., "Alternatif Enerji Kaynaklarının Kullanımı", III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Kasım 2005, Mersin.
4. Rico-Secades M., Calleja A.J., Ribas J., Corominas E.L., Alonso J.M., Cardesin J., Garcia-Garcia J., "Evaluation of a low-cost permanent emergency lighting system based on high-efficiency LEDs", Industry Applications, IEEE

Transactions on, Volume 41, Issue 5, Sept.-Oct. 2005 Page(s):1386 – 1390.

5. Lee S.W.R., Lau C.H., Chan S.P., Ma K.Y., Ng M.H., Ng Y.W., Lee K.H., Lo J.C.C., "Development and prototyping of a HB-LED array module for indoor solid state lighting", High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis, 2006. HDP'06. Conference on, 27th.Jun.-28th.Jun,2006 Page(s):141 – 145.
6. Akanegawa M., Tanaka Y., Nakagawa M., "Basic study on traffic information system using LED traffic lights", Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Volume 2, Issue 4, Dec. 2001 Page(s):197 – 203.
7. Tsao J.Y., "Solid-state lighting: lamps, chips, and materials for tomorrow", Circuits and Devices Magazine, IEEE, Volume 20, Issue 3, May-June 2004 Page(s):28 – 37.
8. Shur M.S., Zukauskas R., "Solid-state lighting: toward superior illumination", Proceedings of the IEEE, Volume 93, Issue 10, Oct. 2005 Page(s):1691 – 1703.
9. Narendran N., GU Y., Freyssinier J.P., Yu H., Deng L., "Solid-State Lighting: Failure Analysis of White LEDs", Journal of Crystal Growth, (208), 2004, pp. 449-456.
10. Tamura T., Setomoto T., Taguchi T., "Illumination Characteristics of Lighting Array Using 10 Candela-Class White LEDs Under AC 100 V Operation", Journal of Luminescence, (87-89), 2000, pp. 1180-1182.
11. Edixeon Emitter High Power LED Datasheet, EDISON-OPTO CORPORATION, 2005.
12. Çetin E., Keleş P., Aydos M., "Fotovoltaik Panel Beslemeli Güç Led'li Aydınlatma Sistemlerinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi", III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, Ankara.
13. Küçükdoğu M. Ş., "Aydınlatmada Etkin Enerji Kullanımı", III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, Ankara.