

AYDINLATMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DURUM DEĞERLENDİRMESİ

*Hülya DEMİR*¹ 

*Göksu ÇIRACI*² 

*Reyhan KAYA*³ 

Ümit ÜNVER^{4*} 

Alınma: 16.09.2020; düzeltme: 03.12.2020; kabul: 07.12.2020

Öz: Ülkemizde ve Dünyada enerji ihtiyacı ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye’de tüketilen toplam elektrik enerjisinin %20’si aydınlatma için kullanılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında aydınlatmada yapılan tasarrufun ülke ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Aydınlatmada enerji verimliliği, aydınlatma kalitesini düşürmeden daha az enerji harcayarak sağlanması demektir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde, enerji tasarrufu ve aydınlatmada enerji verimliliğinin önemi üzerinde durularak, aydınlatmada yapılacak enerji tasarrufunun sağlayacağı katkılardan bahsedilmiştir. Ayrıca doğru ve verimli bir aydınlatma için önemli noktalar belirtilmiş, doğal aydınlatma ve yapay aydınlatma tanımları yapılarak bu iki çeşit aydınlatmanın verimlilik üzerindeki etkileri ve yapay aydınlatma armatür çeşitlerinin verim, ömür ve maliyet kıyaslamaları geniş bir literatür taraması ile aktarılmıştır. Çalışmada LED teknolojisine değinilmiş ve incelenen vaka analizinde LED kullanılmasıyla sağlanabilecek tasarruf, sayısal olarak ortaya konmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise, Yalova Üniversitesi vaka analizinde LED’li armatürlerin mevcut armatürlerle değiştirilmesiyle kullanım ömrü boyunca yaklaşık 1,95 milyon ₺ tasarruf edilebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Aydınlatmada Enerji Verimliliği, Yeşil Bina, Yeşil Kampüs, Enerji Yönetimi

Energy Efficiency in Lighting: Yalova University Engineering Faculty Case Study

Abstract: Energy needs and usage are increasing every day. 20% of the total electricity consumption of Turkey is used for lighting. Considering this situation, savings from lighting energy will contribute significantly to the national economy. Lighting energy efficiency means achieving the same lighting comfort by using less energy, without decreasing the lighting quality.

In this study, first part consists of a comprehensive review on lighting, the importance of energy efficiency in lighting and the contributions of energy saving in lighting. In addition, important points for a correct and efficient lighting have been specified. Natural lighting is defined and artificial lighting, the effects of these two types of lighting on efficiency and the comparisons of artificial luminaire types in terms of efficiency, lifetime and cost have been conveyed through a large literature review. In the second part, a case study on the lighting of Yalova University Engineering Faculty Building is given. In the study, LED technology has been mentioned and the savings that can be achieved by using LEDs are given with in the case study. The

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye

³Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye

^{4*}Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova, Türkiye)

İletişim Yazarı: Ümit ÜNVER (umit.unver@yalova.edu.tr)

case study revealed that by replacing the luminaires with LEDs, would lead to save approximately 1.95 million ₺ during lifetime.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Efficiency in Lighting, Green Building, Green Campus, Energy Management.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisinin kullanımının ve enerji talebinin artması enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji yoğunluğunu azaltma, enerji verimliliği konusundaki çalışmaların artması ve kamuoyunda farkındalık yaratılması, enerji verimliliği çalışmalarının başlatılması ve sürdürülmesi enerji stratejisi kapsamındadır (Şenol ve Akman, 2019).

Ülkelerin enerji yoğunluğu karşılaştırıldığında Türkiye; Japonya, İngiltere, Almanya, ABD, İtalya, İsveç gibi ülkelere göre daha fazla enerji yoğunluğuna sahip durumdadır (Doğan ve Yılankıran, 2015). Bu nedenle ülkemizde gayri safi milli hasıla (GSMH) başına tüketilen enerji yoğunluğunun en az %20 azaltılması hedeflenmektedir (Aydın, 2016). Almanya’da 70’li yıllardan 2007 yılına kadar yapılan çalışmalar sonucunda toplam enerji yoğunluğunda %40, Danimarka ve Fransa ise %30 azalma sağlamıştır (TMMOB, 2008). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planına göre alınan önlemler ile 2000-2015 döneminde imalat sektöründe 9,7 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol), konut sektöründe 7,1 MTEP ve ulaştırma sektöründe 24,6 MTEP, toplamda ise 41,5 MTEP enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu yüzden, her sektörden bilimsel çalışmalar, sistemlerin enerji dağılımı ve enerji verimliliği uygulamaları üzerinde yoğunlaşmaktadır (Ünver, 2017).

Aydınlatma, elektrik tüketiminde önemli bir yer tutmaktadır. Isıtma-soğutma sistemlerinden sonra en büyük enerji tüketim kalemi aydınlatma sistemleridir (Çolak, 2002). Elektrik enerjisinin %20-%25’i aydınlatma amacı ile değişik sektörlerde tüketilmektedir (Aydoğdu, 2019).

Bu yüzden bu makalede, ülkemizde yapılan enerji verimliliği çalışmalarına, aydınlatma konusunda destek vermek hedeflenmiştir. Makale, iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde yerli literatüre katkı sağlaması ve aydınlatmada enerji verimliliği ile ilgili bilgileri derlemek amacıyla geniş bir literatür araştırması şeklinde sunulmuş, ikinci bölümde ise aydınlatmada en son teknoloji olarak bilinen LED armatürlerin fizibilitesi ile ilgili bir vaka analizi takdim edilmiştir. Bu çalışma, aydınlatmada enerji verimliliği ile ilgili son derece sınırlı olan yerli ve bilimsel bilgiye katkıda bulunmaktadır. Ayrıca Yalova Üniversitesi mühendislik fakültesi binası için gerçekleştirilen vaka analizi de, kamu kurumlarında yapılacak olan aydınlatmada enerji verimliliği çalışmalarına katkı sağlamaktadır.

2. BİNA ENERJİ PERFORMANSI (BEP)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından binalarda enerji verimliliği sağlamak CO₂ emisyonunu azaltmak için “27075 sayılı Binalarda Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği” 05 Aralık 2008 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanarak 5 Aralık 2009’da yürürlüğe girmiştir. Binalarda enerji performansı yönetmeliği, binalarda enerjinin verimli kullanılması, çevreye olan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji tasarrufunu amaçlamaktadır (Külükoğlu, 2017). AB stratejisine göre ülkemizde, 1990 yılına göre, sera gazı emisyonlarının %80–95 oranında azaltılması hedeflenmektedir (Yüksekkaya ve diğ., 2016). Bina enerji performansı yönetmeliği kapsamına giren binaların ısıtma soğutma, havalandırma aydınlatma mekanik tesisat, kojenerasyon sistemleri yenilenebilir enerji kullanımı gibi konuları ve bu binalarda kullanılan sistemlerin tükettikleri enerji miktarının ve CO₂ salınımının belirlenmesini ve binanın enerji sınıfının belirlenerek enerji kimlik belgesi oluşturulmasını kapsar (Aydın ve Saylam, 2017).

3. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ÖNEMİ

2007 Enerji Verimliliği Kanununun Yürürlüğe konulmasıyla EİE'nin (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü) yayınladığı rapora göre endüstride %15 binalarda %35 ve ulaşımda ise % 15 enerji tasarrufu yapılabilir durumdadır. Konut binalarının enerji tasarruf potansiyeli 5,655 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) dür (Nishimura, 2011). Çakmanus'a göre enerji verimliliği potansiyelimiz 5 milyar \$, yalnızca 40 Milyar \$ lık enerji ithalatının içinde EİE ye göre enerji verimliliği potansiyelimiz ise 8 milyar \$ dır. Rakamların büyüklüğü göz önüne alındığında, ülkemizde enerji verimliliği çalışmalarının uygulanması daha fazla önem arz etmektedir.

Türkiye'de elektrik enerjisinin %45'i binalar tarafından tüketilmektedir. TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) 2019 yılı verilerine göre Türkiye'nin brüt elektrik enerjisi tüketimi 303.674,4 GWh olarak belirlenmiştir. EİE ye göre bu tüketimin %20'si yani yaklaşık 60.734,88 GWh enerji aydınlatma için harcanmaktadır. Aydınlatmada tasarruf sağlamak adına kullanılan birçok yöntem vardır. Ancak önemli olan tasarrufun görsel konfordan ve güvenlikten ödün vermeden yapılmasıdır. Aydınlatmada enerji verimliliği çalışmaları yapılırken armatür sayısını azaltmak veya ışıkları kapatmak yerine aydınlık miktarını düşürmeyecek verimli yöntemlerin kullanılması tercih edilmektedir (Gençoğlu, 2005). İlk olarak doğal aydınlatmadan yüksek düzeyde yararlanmak, ikinci adımda ise uygun armatür seçimi tavsiye edilmektedir. Verimli ve mekâna uygun lambalarla, enerji kullanımı en aza indirilmelidir. Konfor şartlarından vazgeçmeden armatürlerin değiştirilmesi, verimli hale getirilmesiyle, aydınlatma yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırıldığında ortalama 2-3 yıl geri ödeme süreli yatırımlarla büyük oranda enerji tasarrufu yapılabilir (Aykal ve diğ., 2017).

4. BİNALARDA AYDINLATMA

Aydınlatma evlerde, işletmelerde, alışveriş merkezlerinde yani her alanda çok önemli bir yere sahiptir. İnsanların toplu olarak çalıştıkları mekanlarda, iş yerlerinde yalnızca termal konforun değil (Kaynaklı ve diğ., 2003a-2003b), aydınlatmanın da iş verimini artırabileceği belirtilmektedir. İyi bir aydınlatma enerji tasarrufu sağlayabileceği gibi işletmelerde çalışanların erken yorulmalarını önleyerek iş verimini arttırmaya da katkı sağlar. Çalışanın güvenliği ve sağlığı açısından da çok önemlidir. Özkum (2011) aydınlatma düzenlemesinin, çalışan verimini %16 arttırdığını ve enerji masraflarını azalttığını belirtmektedir.

Aydınlatmada enerji verimliliği konusunu incelemek için öncelikle aydınlatmanın doğasının bilinmesi daha uygun olur. En genel haliyle aydınlatma iki şekilde sağlanır. Bunlardan ilki doğal ışıktır. İkincisi ise insan yapımı olan yapay aydınlatmadır. İkisi de aynı amaca hizmet eder ancak birbirlerinden oldukça farklıdır. Her iki türdeki aydınlatmada da ışık kaynağından gelen ışığın tamamının yalnızca istenilen yerleri aydınlatması çok önemlidir. Kullanılmayan alanların da aydınlatılması verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Doğal ve yapay aydınlatma doğru şekilde kullanılarak aydınlatmada toplam % 80 e kadar tasarruf edilebilir.

Aydınlatma ölçümleri lüksmetre ile yapılmaktadır. Işığın odanın içindeki dağılımını da belirleyebilmek için bazı yüzeylerin aydınlık seviyeleri lüksmetre ile ölçülmelidir. Ölçümlerin aydınlatılan zemin üzerinde, genellikle gündüz yapılması tercih edilir ve yapılan incelemeler rapor haline getirilir. Doğal ışığın yoğunluğu aynı kalmadığı için dışarıdaki anlık yatay aydınlık seviyesi ile içerideki istediğimiz noktanın aydınlık seviyesi arasındaki oran hesaplanmalıdır (Kazanasmaz, 2009).

4.1. Doğal Aydınlatma

Binaların tasarımı sırasında yapay aydınlatma ve doğal aydınlatmanın etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Doğal ışık kaynağı olan güneşten en fazla yararlanılabilecek şekilde tasarımlar yapılmalıdır. Binaların yönü, dış cephe tasarımı, pencere türü gibi kabuğa bağlı olguları ve aynı zamanda güneş kontrol sistemlerinin doğru kullanımı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tarz

parametrelere özen göstererek yapılan tasarımlarda yapay ışık kaynaklarının kullanımı azaltılabilir böylece çevre ve ekonomi bakımından daha olumlu sonuçlar elde edilebilir (Erlalelitepe ve diğ., 2011).

Birim hacimdeki günışığı aydınlığının; aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltılmasında etkili olabilmesi için mahale ve yapılan işin türüne göre belirli değerlere ulaşması gerekmektedir. Bina tasarımlarında EN 15193 standardı esas alınarak, hacim-pencere boyutları, engel durumu, coğrafi konum, yön ve günışığına bağlı aydınlatma kontrolü değişkenlerine bağlı olarak günışığı etkisi belirlenmektedir. Sonuçta belirlenen yıllık aydınlatma enerjisi tüketimine, binada acil durum aydınlatması ve otomatik kontrol sistemlerinin bulunması durumunda, toplam aydınlatma enerjisi tüketimi değeri ve Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi-(AESG) değeri belirlenmektedir (Şener ve Yıldırım Ünnü, 2011).

Doğal aydınlatma doğru kullanılırsa, güneş ışınlarının mahale direk gelmediği saatlerde bile gündüz içerinin aydınlanmasına katkı sağlar. Bu durum, gün içinde yapay aydınlatmaların 6 ile 12 saat arasında daha az kullanılması anlamına gelir. Örneğin bir fabrikanın ofislerinde 40 Watt gücünde 30 adet ampulün gün içinde 12 saat yerine 4 saat kullanılmasını sağlayan bir mimari ile aydınlatmanın 8 saat boyunca kullanılmasının önüne geçerek enerji tüketimi günde 9,6 kWh, ayda 288 kWh ve yılda 3.456 kWh azaltmış olacaktır. Gün ışığını akıllıca kullanarak bina içindeki aydınlatmayı daha verimli hale getiren sistemlere örnek olarak gün ışığını kontrollü bir şekilde iç mekana aktaran ışık rafları, prizmatik sistemler, ışık yönlendirici camlar ve gün ışığı tüpü aydınlatma sistemleri verilebilir (Erel, 2004).

4.1.1. Işık Rafları

Işık rafları (Şekil 1), gün ışığından yararlanarak aydınlatma sağlayan, böylece enerji korunumuna katkıda bulunan doğal aydınlatma sistemleridir. Işık rafları, üst yüzeyi yansıtıcı bir tabaka ile kaplanmış yatay veya açılı plaka şeklinde tasarlanabilen elemanlardır. Pencerenin içinde veya dışında kullanılabilirler (Hazırlar, 2004). Gölgeleme elemanı veya gün ışığı aydınlatma sistemi olarak kullanılabilirler. Gün ışığı aydınlatma sistemi olarak, gelen ışığı mekan içine yansıtarak istenilen bölgeyi istenilen aydınlık seviyesine getirilmesini sağlarlar. Böylece enerji tasarrufuna katkıda bulunurlar (Kurtay ve Esen, 2019). Cepheyle bütünleşmiş bir eleman olabileceği gibi sonradan monte edilen bir eleman da olabilirler (Görgülü ve diğ., 2011).

Çetegen (2004) ve ark. İTÜ Ayazağa Kampüsünde yaptıkları çalışmada ışık raflarının kullanımıyla beraber mevsimlere göre değişen enerji tasarrufunu araştırmışlardır. Çalışma sonucunda bahar aylarında yaklaşık %25, kış aylarında %19,5, yaz aylarında %11,4 ve yıllık toplam %20,4 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

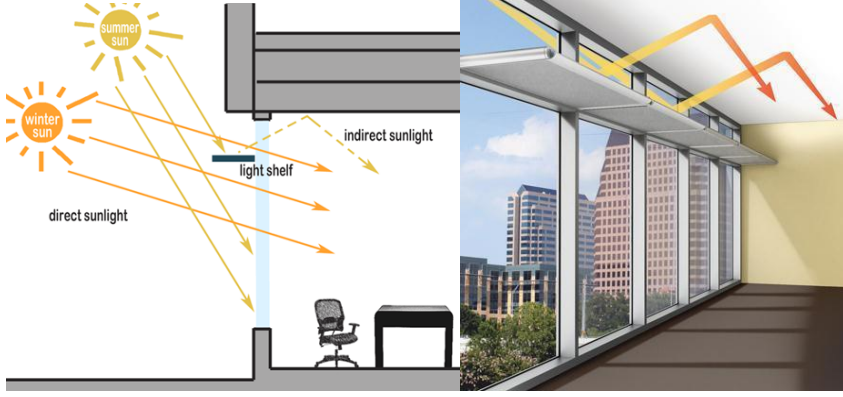
4.1.2. Işık Tüpleri

Çağdaş sistemlerden bir tanesi olan ışık kılavuz sistemlerinin çalışma prensibi, gün ışığını taşıyarak bir yerden başka bir yere iletmektir. Şekil 2 de şematik gösterimi verilen ışık tüpü ya da güneş tüpü olarak anılan sistemler, özellikle derin planlı kamu binalarının dışı kapalı olan ve gün ışığının ulaşamadığı bölümlerinde tatmin edici sonuçlar vermektedir (Göçek, 2010).

Derin planlı açık ofislerde ışık tüpleriyle, gün boyu homojen bir şekilde, doğal ışıkla aydınlatılabilmektedir. Bu şekilde aydınlatma ile enerjiden tasarruf edilerek binaların yıllık enerji tüketimleri azaltılabilir. Ayrıca doğal ışık kullanımıyla çalışanların görsel konforunu sağlamak, çalışma temposunu iyileştirerek iş verimini artırmak da hedeflenebilir (Yener, 2007).

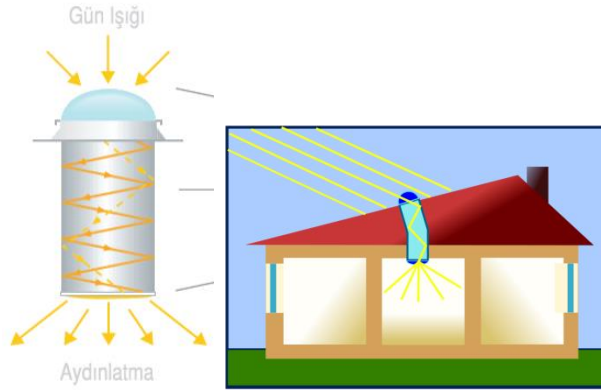
Işık tüpleri gün içinde yaklaşık 6-8 saat boyunca mekanı aydınlatılabilmektedir böylece önemli miktarda elektrik tasarrufu yapılır. Yapılan tasarrufun miktarını incelemek adına Köse ve diğ. (2018) bir sanayi tesisi üzerinde yaptıkları çalışmada, 1 m²'lik alanı aydınlatmak için 10 W'lık aydınlatma gücü gerektiğini kabul ederek 2000 m² alana sahip olan bu tesisi aydınlatmak için 20000 W (20 kW) aydınlatma gücüne ihtiyaç duyulduğunu hesaplamışlardır. Bu tesiste güneş tüpü aydınlatma sisteminin uygulanmasıyla günlük 8 saat elektriksiz aydınlatma sağlandığı hesap

edildiğinde, günlük 160 kWh, yıllık ise 57600 kWh enerji tasarrufu edildiği ve bunun yanı sıra çalışanların başarısının yaklaşık %15-20 oranında arttığı belirlenmiştir.



Şekil 1:

Işık Rafları



Şekil 2:

Işık Tüpleri

4.2. Yapay Aydınlatma

Güneş ışığı aydınlatmasının yeterli olmadığı durumlarda enerji tüketilerek yapılan aydınlatma çeşidine yapay aydınlatma denir. Gün ışığının tersine istenilen yerde, nitelikte ve saatte aydınlanmayı mümkün kılar. Yapay aydınlatmada armatürler (lambalar) kullanılmaktadır. Yapay aydınlatma da yapılacak verimlilik çalışmaları ile yılda yaklaşık 5,6 milyar kWh enerji tasarruf sağlayabileceği öngörülmektedir. Bunun için de etkin ışık kullanımı ve verimli armatür kullanımına dikkat etmek gerekmektedir (Kırbaş, 2019). Kullanılan armatür çeşidi elektrik enerjisini verimli kullanmak açısından önem taşımaktadır. Armatürden çıkan ışık miktarının armatürün harcadığı elektrik gücüne oranına armatür verimi denir. Bu verim kullanım süresi, ortam ısısı, şebeke gerilim değişiklikleri gibi etkenler ile değişiklik gösterebilir. Lamba ömrü ise ortalama kullanım süresidir. Lamba ömrü de nem, ortam sıcaklığı, toz, açma kapama sıklığı gibi parametrelerden etkilenebilir (Öztürk, 2017).

Binalarda kullanılacak lamba seçiminde bu parametrelerin tümünün etkisi vardır. Teknolojinin ilerlemesi ve bu alanda yapılan çalışmalarla beraber hem daha uzun ömürlü hem de daha verimli lambalar geliştirilmektedir. Bir armatürün verimliliği, ışığın çıkış gücünün giriş

gücüne oranı olarak tanımlanır ve W başına lümen olarak ölçülür (lm/W). Verimlilik miktarı ne kadar yüksek olursa belirli bir miktarda ışık vermek için harcanan enerjide o oranda düşük olur. Lümen değeri ne kadar yüksek ise ışık o kadar parlak görünür.

1 lümen = 0.00146 W dır (Waide ve Tanishima, 2006).

4.2.1. Akkor Flamanlı Lamba

Akkor telli ampuller görünür ışıktan daha çok ısı yayan, bu nedenle verimi düşük ampullerdir (Şekil 3). Çalışma gerilimi 220 V dur (Saka, 2007). Akkor flamanlı lambaların enerji verimliliği sınıfı E-F dir. Akkor flamanlı ampullerin aydınlatma gücünün düşüklüğü nedeniyle yalnızca kullanılacak alan küçükse, küçük bir zaman diliminde yapay aydınlatmaya ihtiyaç varsa kullanılmalıdır (Coskuner ve Öztop, 2016).

Akkor lambalar da tungsten telden geçen elektrik akımı telin ısınmasını sağlar ve akkor hale dönüştürür. Telin ısınmasıyla beraber ışımaya başlar. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu tip lambaların yaydıkları ışınımın büyük bir kısmı ısı, küçük bir kısmı da görünür ışınımaya dönüşür bu sebeple verimleri düşüktür (Perdahçı ve Hanlı, 2009). Ortamı fazla ısıtan bu lamba çeşidi yaz aylarında mekânı soğutmak için ekstra enerji harcanmasına neden olur. Filament sıcaklığı arttıkça etkinlik artar fakat lamba ömrü azalır (Agrawal ve diğ., 1996). Akkor flamanlı lambalar, kısa süreli çalışmalarda ve genel amaçlı yerlerde kullanılır (Şahin, 2012).



Şekil 3:
Akkor flamanlı lamba (Anonim)



Şekil 4:
Halojen Lamba (Anonim)

4.1.1. Halojen Lambalar

Halojen lamba (Şekil 4), kuvars halojen ve tungsten halojen lamba olarak da bilinen, akkor lambanın gelişmiş bir tipi olan aydınlatma elemanıdır. Halojen lambaların enerji sınıfı D'dir (TMMOB, 2008). Halojen lambalar yüksek yoğunluklu aydınlatmada ve iyi renk geri verimi gereken yerlerde iç aydınlatmada, projektör, taşınabilir lambalar ve otomotiv sektöründe tercih edilmektedirler.

4.1.2. Floresan Lamba

Akkor lambanın ömrünün kısa olması, ısı yayması ve kullanım maliyetinin çok olması, floresan lambaları ön plana çıkarmıştır (Şekil 5). Floresan lambaların ışık akılarının fazlalığı, çok ısınmaması, ışık dağılımının düzenli olması akkor flamanlı lambalara göre daha çok tercih edilme sebepleridir. Floresan lambalar diğer geleneksel aydınlatma tiplerine göre daha çok ışık üretir ve daha verimlidirler (Onaygil, 2001). Tüp floresan lambalar, sürekli veya kesintili aydınlatmada ve genel amaçlar için kullanılır.



Şekil 5:
Dörtlü floresan lamba armatürü

4.1.3. Kompakt Floresan Lamba (CFL)

Halojen enkanadesan lambalar yerini daha verimli ve uzun ömürlü CFL'lere (Kompakt floresan lambalar) bıraktı (Şekil 6). CFL, halk arasında tasarruflu ampul olarak bilinen armatür türüdür.

CFL'ler floresan lambanın aydınlatma verimliliğini, akkor lambanın rahatlığını birleştirir ve akkor lambaların armatürlerine uyar. 6.000- 15.000 saate kadar dayanıklıdır. Kompakt floresan lambalarda ışıksal etkinlik 60 lm/W dır. Akkor lambalarla kıyaslandığında enerji tasarrufu fazladır

Üç yıl süresince günde dört saat aydınlatma sağlayan akkor ve kompakt floresan lamba birbiriyle kıyaslandığında, kompakt lambanın hem ömrünün daha fazla olduğu hem de daha az armatür sayısı ile daha çok ışık sağladığı gözlenmiştir. Guan (2015)'e göre 20 W değerinde bir CFL, 100 W gücündeki bir akkor lambaya eşdeğer aydınlatma sağlar ve gereksiz ısınmaya yol açmaz. Ancak içerdikleri cıva buharı nedeniyle geri dönüşümlerinde problemler yaşanmaktadır. Kullanım ömrü, akkor lambaya göre 8 kat uzundur maliyeti daha yüksektir

Kompakt floresan lambalar, yüksek kaliteli aydınlatma gereken yerlerde (hastane, depolar, konutlar ve ticari ofisler) kullanılır.



Şekil 6:
Kompakt floresan lamba

4.1.4. LED

Son dönemlerde aydınlatma teknolojisindeki ilerlemeler ve düşük güç tüketimine sahip olmaları uzun yıllar boyunca sorunsuz çalışabilmeleri dayanıklı ve çevre dostu olmaları sebebiyle LED (Light Emitting Diode) aydınlatma sistemleri sıklıkla tercih edilmektedir (Şekil 7).

Hızla gelişmekte olan LED'ler yüksek verimleri ve kolay kontrol edilebilmeleri, basitçe entegre edilebilir olması gibi özelliklerinden dolayı aydınlatma çözümlerini kolaylaştırır (Loiselle ve diğ., 2015). Aydınlatma alanında kullanılan LED ler parlaklık seviyesi, güç seviyesi, renk sıcaklığı gibi parametrelere göre çeşitlendirilir. Uzun ömürlü ve sağlam olması küçük boyutta olması doğaya zarar verecek madde içermemesi zehirli gazların olmaması farklı renklerde kullanılabilmesi LED lambaların kullanılabilirliğini arttırmaktadır (Ataç, 2013). LED ler floresan lambalar gibi ultraviyole ve infrared ışın yaymazlar. Yayıdıkları ışık kararlıdır, titremezler.



Şekil 7:
LED aydınlatma armatürü

Tablo 1. Aydınlatma armatürlerinin teknik özelliklerinin karşılaştırılması

	LED	AKKOR	FLORESAN
Kullanım Ömrü	50000 h	1500 h	12000 h
Güç	18 W	100 W	28 W
Renk sıcaklığı	6500K	3000K	5250K

Yeni nesil LED'lerin optik özellikleri, aydınlatma sektöründe LED'leri diğer aydınlatmalardan avantajlı kılmaktadır. Geleneksel armatürler ışığı her yöne yaydıkları için bir kısmı boşa harcanır bu durum aydınlatma veriminin düşmesine neden olur. LED'ler belirli bir yönde ışık yayabildiklerinden verimleri daha yüksektir. LED lambalar 8.7 W güç tüketimiyle, 75 W değerinde akkor filamanlı bir lambadan daha fazla ışık üretebilir. LED lere gelen enerjinin %95'i ışığa dönüştürülür geriye kalan %5'lik kısım ısı olarak harcanır. LED lambalar,

floresanlara oranla %50 daha fazla enerji tasarrufu sağlar. 58 W gücünde Floresan lamba ile yılda 381 kWh enerji harcanırken, aynı mahal için önerilen 42 W gücünde LED kullanılması durumunda enerji tüketimi %27 oranında azalır ve 276 kWh e iner (Byun ve Shin, 2018).

Lambalar kullanım ömrüne göre karşılaştırıldığında en uzun kullanım ömrüne sahip LED 50000 saat (Tablo 1) ile en avantajlı aydınlatma aracıdır (Singh ve diğ., 2015). Daha sonra bu değeri ortalama 17000 saat ile floresan takip eder (Soori ve Alzubaidi, 2011). En düşük ömürlü lamba ise klasik akkor lambalardır (Alzubaidi ve Soori, 2012). Lambaların kullanım ömürlerine bakıldığında 1 adet LED lamba 2 adet tasarruflu lamba, 4 adet halojen lamba ve 10 adet şeffaf lambanın kullanım ömürleri aynıdır. Bir LED lamba günde 3 saat kullanılırsa 15 yıl süresince ışık verebilir (Ertik, 2012).

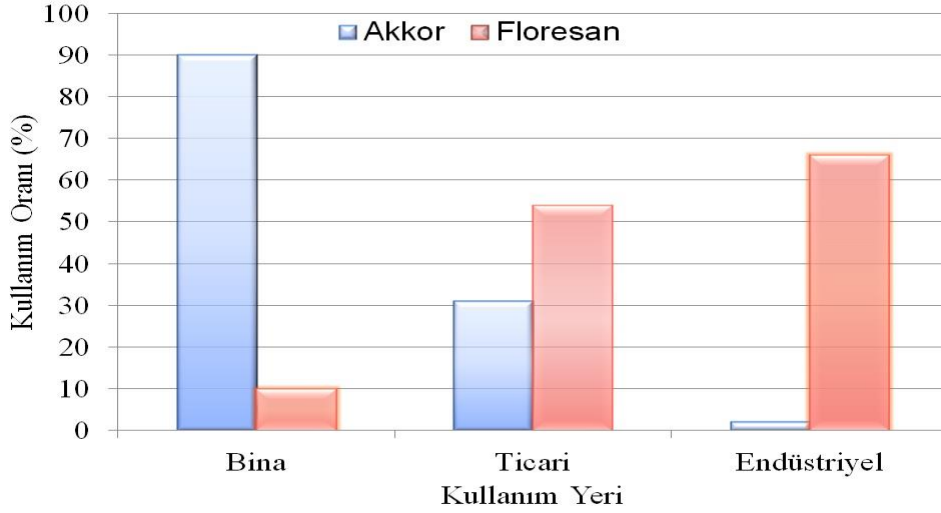
Tablo 1 e göre lambaların güç değerlerine bakıldığında birim aydınlatma başına en yüksek güç çeken lamba türü akkordur dolayısıyla en verimsiz lamba türüdür (Salata ve diğ., 2014). Yaklaşık 28 W değeriyle floresan akkorlardan çok daha düşük güç kullanır fakat çektiği güç LED türü lambalar kadar düşük değildir (Kocaman, 2020). LED lamba türü ise en iyi güç değerine sahip lambadır (Gan ve diğ., 2013). Renk sıcaklığı Led lambalarda daha yüksektir renk sıcaklığı arttıkça beyaz ışık görünmektedir (Baleja ve diğ., 2015). Diğer lamba türlerin bakıldığında en düşük renk sıcaklığına sahip lamba akkor tipi lambadır ve akkor lambalar sarı ışık üretmektedir (Monteiro ve diğ., 2014).

Tablo 2. Aydınlatma armatürlerinin verim – maliyet karşılaştırması

	Verimlilik (lm/W)	İlk Yatırım Maliyeti	Kullanım Maliyeti	Uygulama Alanları
Akkor	5-20	Düşük	Çok Yüksek	Genel
Floresan	50-130	Düşük	Düşük	Genel
LED	20-180	Yüksek	Düşük	Genel

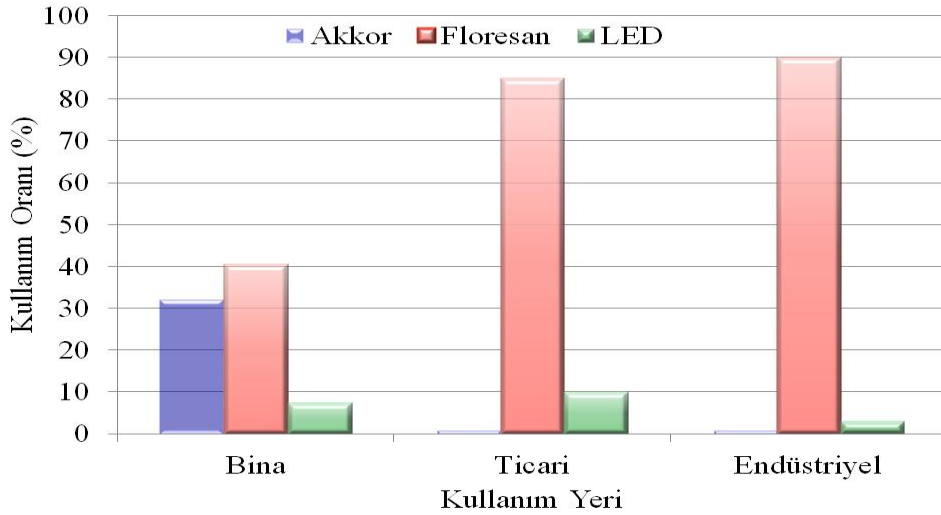
Bir akkor ampulün ortalama ışık verimliliği 12 lm/W dır. Floresan lambanın lümeni yaklaşık olarak 50 ile 130lm/W arasında değişmektedir. Led aydınlatma da ise bu değer 20 ve 180lm/W arasında değişmektedir. Etkinlik bakımından (lm/W) LED'ler 140 lm/W a çıkarak geleneksel ışık kaynaklarının etkinlik değerlerinin üzerine çıkmıştır (Kölper ve diğ. 2011). Bu bağlamda yakın zamanda LED'li armatürlerin yüksek ışık akı değerleri ve düşük güç tüketimleri ile daha yüksek enerji verimliliği sağlamaları beklenmektedir (Cole ve Driscoll, 2014). LED ampullerin şu anki lümen verimliliğinin gelecekte 2-3 katına ulaşacağı, aynı zamanda ömürlerinin 80000 saate kadar uzayabileceği öngörülmektedir (Yükselen, 2018).

Aydınlatmada istenilen ışık miktarının yanında kullanılan lambanın ekonomik olması da önemlidir. Aydınlatma sisteminin ekonomisi, alış maliyeti, bakım maliyeti arasındaki dengeye bağlıdır. Genel olarak 3 lamba karşılaştırıldığında akkor ve floresan lambaların alış maliyetinin düşük, LED lambanın ise alış maliyetinin yüksek olduğu Tablo 2' de gösterilmiştir (Halonen, 2010). Bir ampulün ilk yatırım maliyeti, ömrü boyunca kullandığı enerji maliyeti ile karşılaştırıldığında küçüktür. Bu anlamda ilk yatırım maliyetleri düşük olan lambalar zamanla aşınarak ömürlerinden ve güçlerinden kaybetmektedir. LED teknolojisinin ilk maliyeti yüksek olmasına rağmen uzun yıllar kullanımında güç ve aydınlatma etkisini kaybetmediğinden, maliyet açısından da tercih edilebilir hale gelmektedir.



Şekil 8:

2002 Yılı ve öncesi aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanımı



Şekil 9:

2015 yılı aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanımı

Geçmiş yıllarda aydınlatma araçlarının sektörlere göre kullanım oranlarına bakıldığında (Şekil 8), binalarda %90 a yakın oranda akkor kullanımı aktifken ticari binalarda %56 floresan, endüstriyel işletmelerde ise %67 floresan kullanımı fazla görünmektedir (Brodrick ve diğ., 2002). Son zamanlarda akkor armatürlerin kullanımı daha düşük oranlarda kalırken LED kullanımı bütün sektörlerde diğer lamba türlerine göre artış göstermektedir (Şekil 9). LED kullanımı ticari binalarda %2 den %10'a binalarda %1 den %7 ye, endüstride ise %4'e yükselmiştir (Buccitelli ve diğ., 2015). Lamba tiplerinin yıllar içinde gelişimi açısından incelendiğinde akkor lambalar 1920-2010 yılları arasında etkinlikleri aynı seviyede kalmış, floresan lambalar 1940'lı yıllarda 50 lm/W 'tan 2010 dan sonra 100 lm/W civarına ulaşmıştır. 1990 larda ortaya çıkan LED'ler kısa sürede gelişerek daha yüksek etkinlik değerlerine ulaşmıştır (Pimputkar ve diğ., 2009).

Bir aydınlatma sisteminde 3 yıl boyunca bakım yapılmazsa aydınlık ilk değerinin %40 1 seviyesine kadar gerileyebilmekte ve armatürde %60 kayıp meydana gelebilmektedir. Bu kayıplar ilk başta fark edilmez ancak zamanla rahatsızlık yaşanmaya başlanabilir (Gençoğlu, 2005).

Aydınlatma araçlarının bakımı da verimliliği fazlaca etkileyen unsurlardan biridir. Lambaların üzerinde toz birikirse veya ömrü tükenmiş lambalar zamanında değiştirilmezse birkaç ay içinde aydınlık düzeylerinde yarı yarıya düşüş gözlenebilir. Bu düşüşün yaşanmaması için düzenli olarak bakım yapılması gerekir. Aydınlık düzeyinde %20-30 arasında düşüş gözlemlendiği anda bakımların tekrarlanması gerekir. Bakımlarda lambaların tozu alınmalıdır. Akkor lambaların etkinlikleri, ömürleri bitene kadar aynı şekilde devam eder. Ancak floresan lambalar için aynı şey söylenemez. Floresan lambaların etkinlikleri bir süre sonra azalır ömürleri boyunca aynı devam etmez. Floresan lambaların etkinliği %70'in altına düştüğünde yenileriyle değiştirilmesi daha ekonomik olacaktır (Coşkuner ve Öztop, 2016).

Aydınlatmada enerji verimliliği uygulaması amacıyla vaka analizi olarak Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası seçilmiştir. Binada ışıklık değerlendirmeleri yapılmış ve mevcut armatürlerin sağladığı aydınlık düzeyinin iş güvenliği mevzuatına uygun olarak, eğitim ve öğretim işleri için yeterli aydınlığı sağlayacak şekilde seçildiği tespit edilmiştir. Yerinde tespit çalışmalarında aydınlatma armatürlerinin tamamının floresan olduğu, yeni tip LED li armatürlerin kullanılmadığı belirlenmiştir (Tablo 3). Vaka analizinde, bütün armatürlerin yeni nesil LED li aydınlatma ile değiştirilmesi durumunun basit fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir.

5. YALOVA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİNASI AYDINLATMA ANALİZİ

Bu çalışmada, daha verimli armatürler kullanarak, Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında enerji verimliliği sağlanabileceği etüt edilmiştir. Projede armatürlerin kullanım şartları ve elektrik fiyat bilgisi Tablo 3 de, armatürlere ait teknik bilgiler Tablo 4 de verilmiştir.

Binada bulunan 4x18 W elektronik balastlı floresan armatürlerin gücü 72 W, ışıklık değeri 2344 lm dir. Işıklık verimi ise 32,56 lm/W dır. Fakülte binasında 991 adet armatür kullanılmaktadır. Mevcut armatürlerin yerine 27 W gücündeki 60x60 panel LED armatürlerin kullanılma durumu incelenmiştir. 4800 lm ışık değerine sahip panellerden 991 adet kullanılması ön görülmüştür. Paneller 100 lm/W değeri ile floresandan daha verimli olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Aydınlatma kullanımı bilgileri

Elektrik Fiyatı (₺/kW)	Armatür Adedi	Gün/Yıl	Saat/Gün
A	B	C	D
0,71	991	350	10

Tablo 4. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Aydınlatma Üniteleri Değerlendirmesi

Parametreler	4x18W Elektronik Balast (Mevcut)	LED Paneller
Güç	80W	48W
Işık Akısı	2344 lm	4800 lm
Etkinlik Faktörü	32,56 lm/W	100 lm/W
Renk Sıcaklığı		3000K/4000K/6500K
Ömür	15000 h	35000 h
Giriş Gerilimi (AC)		220-240V
Çıkış Gerilimi (DC)		12-36 V
Toplam Işıklık	2109600 lm	3060000 lm

Analizlerde elektriğin birim fiyatı 0,71 TL alınmıştır. LED panellerin günde 10 saat, yılda 350 gün kullanıldığı varsayılarak, üretici tarafından verilen 35000 saat hizmet edecek olan LED lerin kullanım ömrü 10 yıl olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde 15000 saat ömürlü floresan armatür için kullanım ömrü 4,3 yıl olarak bulunmuştur (Tablo 5).

Tablo 5. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Aydınlatma Üniteleri Değerlendirmesi

	Ürün Fiyatı (₺)	Kullanım Ömrü (Saat)	Kullanım Ömrü (Yıl)	Armatür Gücü (kW)
	E	F	$G=F/(C \times D)$	H
LED	94,5	35 000	10,00	0,048
Floresan	17,60	15 000	4,29	0,072

Tablo 6’da detayları verilen karşılaştırma tablosu incelendiğinde LED armatürün ilk yatırım maliyeti 93 649,50 ₺, Floresanların maliyeti 69 766,40 ₺’dir. Floresan lambaların kullanım ömürleri daha kısa olduğundan yıllık lamba masrafları da LED’e göre daha fazla olmaktadır. Bu durumda, mevcut armatürlerin yıllık toplam masrafları 193 588,55 ₺ ve LED armatürlerin toplam yıllık masrafı 127 571,43 ₺ dir (Tablo 6).

Tablo 6. Maliyet Karşılaştırma Tablosu

	Yıllık Elektrik Tüketimi (kWh)	Yıllık Elektrik Tüketim Bedeli (₺)	İlk Yatırım Maliyeti (₺)	Yıllık Lamba Masrafı (₺)	Yıllık Toplam Masraf (₺)
	$I = B \times C \times D$ $\times H$	$J = I \times A$	$K = B \times E$	$L = K / G$	$M = J + L$
LED	166 488,00	118 206,48	93 649,50	9 364,95	127 571,43
Floresan	249 732,00	177 309,72	69 766,40	16 278,83	193 588,55

Mevcut armatürlerle LED’li aydınlatma armatürlerinin kullanım farkı yıllık 60 017,12 ₺ olarak hesaplanmıştır (Tablo 7). 10 yıllık LED kullanım ömrü boyunca elde edilecek toplam tasarruf 660 171,7 ₺ ve yıllık enflasyon oranı (i) % 12 olarak alınarak toplam tasarruf miktarı enflasyon oranında düzenlenerek, normalleştirilmiş toplam tasarruf miktarı 2 050 391,44 ₺ olarak hesaplanmıştır. Yatırımın geri ödeme süresi, LED e dönüşüm için gereken ilk yatırım maliyetinin iki armatür arasındaki gider farkına (tasarruf miktarı) oranlanmasıyla 1,7 yıl olarak hesaplanmıştır. LED lambaların uzun ömürleri sayesinde oldukça avantajlı aydınlatma sağlayabilecekleri tespit edilmiştir.

Tablo 7. Yatırım Değerlendirme Tablosu

Yıllık Fark	Geri Ödeme Süresi	Toplam Tasarruf (₺)	Norm. Toplam Tasarruf (₺)
$N = M_{LED} - M_{FLO}$	$O = K / N$	$P = N / G$	$R = P (1+i)^G$
66 017,12	1,42	660 171,17	2 050 391,44

6.SONUÇ

Doğru aydınlatma sistemlerinin seçimi ve doğal aydınlatma tasarımıyla enerjinin etkin kullanılması sayesinde %20 veya daha fazla oranda enerji tasarrufu yapmak mümkündür.

Yalnızca aydınlatmada enerji verimliliği uygulamalarıyla ülke genelinde toplam elektrik tüketimi %4-5 arasında azaltılabilir. Bu durum, enerji alanındaki dışa bağımlılığımız göz önünde bulundurulduğunda ülkemiz için önem arz etmektedir.

Aydınlatmada kullanılan enerjiyi maliyet açısından en aza indirmek için uygulanabilecek temel adımlardan biri tasarruflu ampullerin uygun kullanımı ve doğal aydınlatmadan yararlanmaktır.

Bu çalışmada floresan, akkor ve LED tipi aydınlatma araçları verim açısından karşılaştırılmıştır. Armatürlerde yapılan karşılaştırma sonucunda LED tipi aydınlatmanın diğer aydınlatma çeşitlerine göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin mevcut aydınlatma sistemi incelenmiş ve mevcut floresan tip aydınlatma armatürlerinin LED tipi armatürlerle değiştirildiğinde geri ödeme sürelerinin 1,42 yıl olduğu ve 10 yılda sadece verimli aydınlatma ile 2 050 391 ₺ tasarruf edileceği hesaplanmıştır. Ayrıca aydınlatma araçlarının değiştirilmesiyle enerji sınıfını yükseltmek bina enerji performansında iyileşme sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Agrawal, D. C., Leff, H. S., & Menon, V. J., (1996) Efficiency and efficacy of incandescent lamps, *American Journal of Physics*, 34(2), 835-843. doi:10.1119/1.18260
2. Alzubaidi, S. And Soori, P. K. (2012) Energy efficient lighting system design for hospitals diagnostic and treatment room-a case study, *Journal of Light and Visual Environment*, 36(1) 23-31. doi:10.2150/jlve.36.23
3. Ataç, F. (2013) Kütüphanelerde doğal ve yapay aydınlatma kriterleri: orta doğu tekin üniversitesi merkez kütüphanesinin okuma salonlarının incelenmesi, *Int. Journal of Chemical Information and Modeling*. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
4. Aydın, M. (2016) Enerji verimliliğinin sürdürülebilir kalkınmadaki rolü: Türkiye değerlendirmesi, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409-441.
5. Aydın, Ö. And Saylam Canim, D. (2017) Binalarda enerji performansı hesaplama yöntemi (BEP-TR1)'in kullanılabilirliğinin ve ekb uygulamasının değerlendirilmesi, *Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 2 (2) , 265-277. doi:10.26835/my.334594
6. Aydoğdu, E. (2019) Mevcut ticari binaların aydınlatma sistemlerinde enerji verimliliği analizi için örnek bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
7. Aykal, F. D., Baran, M., Erbaş, M. & Gündüz, H. K. (2017). The importance of natural lighting in the design of health buildings: sample of Şanlıurfa/Muradiye family health center, *Journal of Current Researches on Social Sciences*, 7(2). doi:10.26579/jocress-7.2.17
8. Baleja, R., Sumpich, J., Bos, P., Helstynova, B., Sokansky, K., & Novak, T. (2015) Comparison of LED properties, compact fluorescent bulbs and bulbs in residential areas, *16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2015*. 566-571. doi:10.1109/EPE.2015.7161181
9. Brodrick, J. R., Petrow, E. D., Scholand, M. J. (2002) Lighting energy consumption trends and r&d opportunities, *Proc. Of Spie*, Vol. 4776. doi:10.1117/12.457121
10. Buccitelli, N. Elliott, C. Schober, S. And Yamada, M. (2015) *U.S. lighting market characterization*, DOE, Doe/Ee-1719, Washington DC.
11. Byun, J. and Shin, T. (2018) Design and implementation of an energy-saving lighting control system considering user satisfaction, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 51(2), 1369-1374. doi:10.1109/TCE.2018.2812061

12. Cole, M. & Driscoll, T. (2014) The lighting revolution: If we were experts before, we're novices now, *IEEE Transactions on Industry Applications*. 50(2), 1509-1520. doi:10.1109/TIA.2013.2288210
13. Coşkuner, S. Öztop, H., (2016) Farklı kullanım alanlarının aydınlatılması: verimlilik ve temel ilkeler, *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-dergisi*, 9, 5-7.
14. Çetegen, D.,Enarun, D., Yener, A. K., & Batman A., (2004) Günışığı yapay ışık entegrasyonu ışık rafı sisteminin incelenmesi, 5. *Ulusal Aydınlatma Kongresi*, İstanbul, 15-22.
15. Çolak, N. (2002) Hareket sensörleri ile aydınlatmanın kontrolü, *3eElectrotech Dergisi*, Sayı 105, 7(98): 70-71.
16. Doğan, H. And Yilankırkan, N. (2015) Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 375-383.
17. Erel, B. (2004) Gün ışığı ile aydınlatma alanında geliştirilen yeni teknolojiler hakkında bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Erlalitepe, İ., Aral, D., ve Kazanasmaz, Z. T. (2011) Eğitim yapılarının doğal aydınlatma performansı açısından incelenmesi, *Megaron*. 6(1) 39-51.
19. Ertik, A. (2012) Demiryolu sistemlerinin enerji verimliliğine göre değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
20. Gan, C. K., Sapar, A. F., Mun, Y. C., &Chong, K. E. (2013) Techno-economic analysis of LED lighting: A case study in UTeM's faculty building, *Procedia Engineering*, 53, 208-216. doi:10.1016/j.proeng.2013.02.028
21. Gençoğlu, M. T. (2005) İç aydınlatmada enerji tasarrufu, *III. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 23-25.
22. Göçek, N. F. (2010) Bir hacmin gün ışığı karakteristiğinin çıkarılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
23. Görgülü, S., Kocabey, S., Yüksek, İ., Dursun, B., (2011) Enerji verimliliği kapsamında yapılarda doğal aydınlatma yöntemleri: kırklareli örneği, *Uluslararası II. Trakya Bölgesi Kalkınma - Girişimcilik Sempozyumu*, 97-112.
24. Guan, L.,Berrill, T. ve Brown, R. C. (2015)Measurement of actual efficacy of compact flüorscent lamps (CFLs), *Energy and Buildings*, 86, 601-607. doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.068
25. Halonen, L. (2010) Lighting energy in buildings, *Guide book on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings*, 45, 1-8.
26. Hazırlar, M. A. (2004) Halk kütüphanelerinde iç mimari, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
27. Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü., Kılıç, M. (2003) Evaluating thermal environments for sitting and standing posture, *Int. Com. Heat and Mass Transfer*, 30(8), 1179-1188, 2. doi:10.1016/S0735-1933(03)00183-0
28. Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü., Kılıç, M., Yamankaradeniz, R., (2003) Sürekli rejim enerji dengesi modeline göre ısı konfor bölgeleri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 23-30.
29. Kazanasmaz, Z. T. (2009) Binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesi, 5. *Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 25-36.

30. Kırbaş, İ. (2019) Binalarda enerji verimliliği uygulamaları: MAKU mühendislik mimarlık fakültesi örneği, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 34(2) 835-843. doi:10.29048/makufebed.578340
31. Kocaman, B. (2020) Kapalı Otopark aydınlatmasında floresan ve led lambanın enerji verimliliği açısından karşılaştırılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 1640-1648, doi:10.21597/jist.670665
32. Kölper, C., Bergbauer, W., Straßburg, M., & Linder, N. (2011) Die Licht (r)evolution. weiße LEDs für die allgemeine Beleuchtung, *Physik in Unserer Zeit*, 42(2), 92-98. doi:10.1002/piuz.201001258
33. Kurtay, C., ve Esen, O. (2019) Ofis yapıları için ışık rafı tasarımında 30° ve 45° enlemlerinde optimum verim sağlanması için bir yöntem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2) 835-843. doi:10.17341/gazimmfd.460483
34. Külünkoğlu İslamoğlu, A. K. (2017). Konutlarda enerji tüketimini etkileyen tasarım yöntemleri ve BEP-TR yöntemiyle uygulama örneklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
35. Köse, Ö. Üstün, İ. Yağlı, H. Öztürk, A. Karakuş, C. (2018) Işık tüpüyle doğal aydınlatma sistemlerinin İskenderun bölgesine uygulanabilirliği ve tasarımı, *3e electrotech*.
36. Loisselle, R., Butler, J., Brady, G., Walton, M., & Henze, N., (2015) LED Lighting for oil and gas facilities, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1369-1374. doi:10.1109/TIA.2014.2365357
37. Monteiro, R. V. A., Carvalho, B. C., De Vasconcelos, A. B., De Lima, F. N., Da Fonseca, A. L. A., & De Carvalho Malheiro, T. I. R. (2014) LED tubular lamps and tubular fluorescent: Power quality, *International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP*. 400-404. doi:10.1109/ICHQP.2014.6842778
38. Nishimura, S. (2011) *Türkiye'de enerji tasarrufu potansiyelini kullanmak*, Dünya Bankası Sürdürülebilir Kalkınma Bölümü (ECSSD), Avrupa ve Orta Asya Bölgesi (ECA), 52210-TR.
39. Onaygil, S., (2001) Aydınlatmada verimlilik ve enerji tasarrufu, *2001 İzmir Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir, 6-12.
40. Özkum, E. (2011) Doğal ve yapay aydınlatmanın insan psikolojisi üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, İstanbul.
41. Öztürk, A. E., Aşkın, M., Dal, M., Korunur, S. and Kaymaz, K.. (2017) *Konutlarda Yapay Aydınlatma Enerjisinin Etkin Yönetimi*, ISSN: 2148-0273, 5(2), 74-90.
42. Perdahçı, C., Hanlı, U. (2009) Verimli aydınlatma yöntemleri, *III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 323-327
43. Pimpotkar, S., Speck, J. S., Denbaars, S. P., & Nakamura, S. (2009) Prospects for LED lighting, *Nature Photonics*, 3, 180-182. doi:10.1038/nphoton.2009.32
44. Salata, F., De Lieto Vollaro, A. & Ferraro, A. (2014) An economic perspective on the reliability of lighting systems in building with highly efficient energy: A case study, *Energy Conversion and Management*, 84, 623-632. doi:10.1016/j.enconman.2014.04.063
45. Saka, Ö. (2007) Konya koşullarında güneş pillerinin aydınlatma uygulamalarında kullanım imkanları, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
46. Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015) LEDs for energy efficient greenhouse lighting, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 49 139-147. doi:10.1016/j.rser.2015.04.117

47. Soori, P. K. And Alzubaidi, S. (2011) Study on improving the energy efficiency of office building's lighting system design, *2011 IEEE GCC Conference and Exhibition*, 585-588. doi:10.1109/IEEGCC.2011.575260
48. Şahin, D. (2012) Aydınlatma tasarımının kullanıcı üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkileri açısından incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
49. Şenol, L. and Akman, G.(2019) İmalat işletmelerinde enerji verimliliğinin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(2), 205-215. doi:10.18506/anemon.419560
50. Şener, F. ve Yıldırım Ünnü, S., (2011) Binalarda aydınlatma enerjisi performansının bep-tr yöntemi ile belirlenmesi: örnekler. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 13/16 Nisan 2011/İzmir*, 839-849
51. TMMOB Çalışma Grubu (2008) *Dünya ve Türkiye’de enerji verimliliği oda raporu*, MMO/589, 3. Baskı, Ankara.
52. Ünver, U. (2017) Efficiency analysis of induction air heater and investigation of distribution of energy losses, *Technical Gazette*, 24, 2, 1259-1267. doi:10.17559/TV20151122224719.
53. Yener, A. K. (2007) Binalarda gün ışığından yararlanma yöntemleri: çağdaş teknikler, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, 231-241. Oda Yayın No: E/2007/436 ISBN 978-9944-89-344-2
54. Yüksekaya, T.,Kılınç, B., Gümü, Ç. (2016) *Binalarda Enerji Verimliliği Avrupa Birliği ve Türk Mevzuatı*, Binalarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması için Teknik Yardım Proje Referans No: Europe Aid/134786/IH/SER/TR, Sözleşme No: TR2011/0315.20-01/001
55. Yükselen, M. (2018)Ankara ilindeki konutlarda aydınlatma teknolojisi tercihleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
56. Waide, P.and Tanishima, S, (IEA). (2006) *Light’s Labour’s Lost. Policies for Energy Efficient Lighting Energy*, OECD Publishing, 561. doi:10.1787/ 9789264109520-enExternal