



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

<http://dergipark.org.tr/ticaretfbid>



Araştırma Makalesi / Research Article

AYDINLATMA SİSTEMLERİNİN YENİLENME GEREKSİNİMLERİ*

RENEWAL REQUIREMENTS OF LIGHTING SYSTEMS

Faruk UYAN¹

Alpin KÖKNEL YENER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1215095>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
uyan@itu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
07.12.2022

Kabul Tarihi / Accepted
22.12.2022

Öz

Aydınlatma teknolojisinin tarihsel gelişimine bakıldığında, ışık kaynaklarının verimliliği ve yaşam ömrünün sürekli olarak geliştirildiği görülmektedir. Bu durum, binalarda kullanılan eski teknolojiye sahip ışık kaynaklarının veya bu kaynaklar ile tasarlanmış ve uygulanmış mevcut aydınlatma sistemlerinin yenilenme çabasını beraberinde getirmektedir. Ancak bu yenileme eylemi, teknolojinin hızına yetişmeye çalışan bir telaş ile değil, kurallı ve tanımlı bir proje süreci ile gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada, mevcut aydınlatma sistemlerinin yenilenme sürecine ilişkin oluşturulması gereken bir proje yaklaşımının ilk ayağı olan, yenilenme gereksiniminin değerlendirilmesi aşaması ile ilgili konular irdelenmektedir. Mevcut aydınlatma sistemleri çeşitli sebepler ile yenilenmeye gereksinim duyabilmektedir. Bu sebepler çalışmada, kullanıcı konforu ile ilgili gereksinimler, enerji tüketimi ile ilgili gereksinimler, çevresel konular ile ilişkili gereksinimler, yaşam ömrü ve teknoloji ile ilgili gereksinimler olarak ele alınmıştır. Bu konular ile ilgili güncel standart, yönetmelik ve literatür derlenmiştir. Ayrıca gerek Covid-19 pandemisinin sosyal yaşantımıza getirdiği değişimler, gerekse küresel çevre hedeflerinin de sonucunda ortaya çıkan gereksinimlere yer verilmiştir. Çalışma, bir mevcut aydınlatma sisteminin yenilenmesi gereğinin değerlendirilebileceği ilgili konular ve güncel bilgileri bünyesinde içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, enerji etkinliği, konfor şartları, Retrofit, yenileme.

Abstract

In the historical development of lighting technology, it has been tried to continuously improve the efficiency and life span of light sources. Today, LED technology are much more efficient than many previously used technologies. Therefore, there is an effort to renew the existing lighting systems designed and applied with these old technology light sources. However, this renewal operations should be carried out with a regular and defined project process, not with a rush trying to keep up with the speed of technology. In this study, the topics related to the evaluation phase of the renewal requirement, which is the first step of a project process that should be created on the renewal of existing lighting systems, are examined. Existing lighting systems may need to be renewed for various reasons. These reasons are discussed in the study as requirements related to user comfort, energy consumption, environmental issues, life-cycle issues, and technology-related requirements. Current standards, regulations and literature on these subjects have been compiled. In addition, both the changes brought by the Covid-19 pandemic to our social life and the needs that emerged as a result of global environmental goals are included. The study includes relevant topics and up-to-date information on whether an existing lighting system needs to be renewed or not.

Keywords: Comfort requirements, energy-efficiency, lighting, renewal, Retrofitting.

*Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde yapılan doktora tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye.
uyan@itu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0948-9186.

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye.
yener@itu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-6452-4650.

1. GİRİŞ

Bina aydınlatma sistemleri, enerji tüketimleri bakımından binalarda kullanılan sistemler arasında önemli bir yere sahiptir. Aydınlatma sistemleri, tüm bina sistemlerinin tükettiği enerji miktarının ortalama %20'si kadarını tüketmekte (IEA, 2021) ve binalar da dünya genelindeki enerji tüketiminin %34'ünden sorumludur (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020). Bu iki verinin birlikteliği, bina aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimlerinin tüm dünyadaki enerji tüketiminin %6,8'lik bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir. Bu bağlamda aydınlatma enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmaların, dünya ölçeğindeki önemi ve küresel enerji tüketiminin azaltılmasına etkisi ortadadır.

Özellikle dünyadaki ve ülkemizdeki 2030 - 2050 çevresel hedefleri ile uyumlu olacak şekilde yeni yapılarda enerji etkin aydınlatma sistemlerinin tasarlanması gerekliliği kadar, mevcutta var olan aydınlatma sistemlerinin enerji etkin olarak yenilenmeleri gerekliliği de ortaya çıkmıştır. Bu durum beraberinde, bina aydınlatma sistemlerinin yenilenmesi sürecine dair bilimsel yöntemlerle hazırlanmış ve sektör pratiğine uygun bir rehberi de gerekli kılmaktadır.

Aydınlatma sistemlerinin yenilenmesi sürecini tanımlayacak bir süreç rehberinin ilk aşaması, sistemin yenilenme gereksiniminin değerlendirilmesidir. Bu çalışma ile amaçlanan, söz konusu yenileme gereksiniminin değerlendirileceği konuların derlenmesidir.

Çalışmada, mevcut aydınlatma sistemlerinin yenilenme gerekliliği şu konular üzerinden irdelenmiştir; sistemlerin kullanıcı konforuna cevap verebilme kabiliyetlerinin yeterliliği, enerji tüketimlerinin minimize edilebilme potansiyelinin varlığı, çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve zamana bağlı olarak hem kullanım hem de bakım olanaklarının sürekliliği. Ayrıca gerek geride bıraktığımız Covid-19 pandemisi, gerekse önümüzdeki yıllarda öngörülen iklim ve enerji krizi ihtimalleri ile ilgili konulara da değinilmiştir.

Çalışma genelinde ele alınan aydınlatma sistemleri yenileme gereksinimleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Aydınlatma sistemlerinin yenilenme gereksinimleri

Yenileme Gereksinimi	İlişkili olduğu konular
Kullanıcı konforu	Görsel konfor şartlarının sağlanması Mevcut sistemin kullanıcılarının memnuniyeti
Enerji tüketimi	Kurulu güç değerlerinin uygunluğu Aydınlatma kontrol sistemlerinin durumu Aydınlatma sisteminin, diğer bina sistemlerine etkisi
Çevresel konular	Sera gazı salımı miktarı Sistem bileşenlerinin geri dönüşüm ve atık planları
Yaşam ömrü ve Teknoloji	Sistemin ve bileşenlerinin yaşam ömürleri Mevcut ürünlerin teknolojilerinin eskimesi Güncel teknolojiye uyum sağlama
Trend ve direktifler	Yakın gelecekte bazı bileşenlerin bulunamayacak olması Global enerji hedefleri

2. KULLANICI KONFORU İLE İLİŞKİLİ YENİLEME GEREKSİNİMLERİ

Konfor durumu, fizyolojik açıdan insanın çevresine minimum düzeyde enerji harcayarak uyum sağlayabildiği ve psikolojik açıdan çevresinden hoşnut olduğu koşullar takımı olarak tanımlanabilir. Bina içinde konfor koşullarının gerçekleştiği durumlarda insanın fizyolojik, fiziksel ve entelektüel performansı maksimum düzeye erişir (İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, 1995). Gerek aydınlatma ile ilgili standartlar gerekse mesleki kurumların (CIE, IESNA gibi) teknik çalışmaları, bazı görsel konfor şartları tanımlamaktadır. Bu görsel konfor şartları en temel haliyle aydınlık düzeyi, renksel geriverim değerleri, kamaşma değerleri ve mahaller için gerekli olan aydınlığın eş dağılım değerleridir. Aydınlatma sistemlerinin temel görevi olan görsel konfor gereksinimlerinin karşılanması; sürdürülebilirlik, enerji korunumu ve çevreye daha az zarar vermek adına göz ardı edilmemeli, işleve bağlı olan bu gereksinimlerin gerçekleştirilmesi öncelikli olarak sağlanmalıdır.

Bir aydınlatma sisteminin, temel işlevi olan görsel konfor şartlarını sağlayamıyor olması, o sistemin yenilenmesini veya iyileştirilmesini gerektirecek en önemli sebeplerdendir.

2.1. Görsel Konfor Şartları İle İlgili Gereksinim

Binalarda kullanıcılar için görsel konfor şartları Türkiye’de de kabul edilen TS EN 12464-1 ve TS EN 12464-2 nolu Avrupa Birliği standartları ile belirlenmiştir. İç mekanlar için olan standart 2021 yılında güncellenmiştir (TS EN 12464-1:2021, 2021). Standartın yeni yayını, eskilerinden farklı olarak, bir mahaldeki görsel konfor şartlarını tanımlarken, aydınlık düzeyi gereksiniminin değişebileceğini belirtmektedir. Bu değişime sebep olacak etkenler şunlardır;

- Görsel işin önemli olması,
- Potansiyel hataların düzeltilmesinin maliyetli olması,
- Yapılan işte hassasiyet, daha yüksek üretkenlik veya yüksek konsantrasyonun büyük önem taşıması,
- Görev ayrıntılarının alışılmadık şekilde küçük boyutlu veya düşük kontrastlı olması,
- Görsel görevin alışılmadık derecede uzun süreli olması,
- Görev alanının düşük gün ışığına sahip olması,
- Çalışanın görme kapasitesi normalin altında olması.

Bir mahalde yukarıdaki etkenlerden 1 veya 2 tanesi bulunuyorsa, standartta o mahal için verilen en düşük aydınlık düzeyi limiti 1 kademe üste, ve eğer bu etkenlerden ikiden fazlası bulunuyorsa, aydınlık düzeyi limiti 2 kademe üste çekilmelidir. Öte yandan eğer mahalde gerçekleştirilecek görsel görev ayrıntıları alışılmadık derecede büyük veya yüksek kontrastlı ise veya görev alışılmadık derecede kısa süreli ise, aydınlık düzeyi limiti bir kademe düşürülebilir notu düşülmüştür.

Aydınlatma standardındaki bu güncelleme, mevcut mahallerin aydınlatma sistemlerinin yeterlilik ve uygunluğunun yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

2021 yılında güncellenen aydınlatma standardında aşağıdaki görsel konfor şartları ile ilgili değerler tanımlanmıştır;

(\bar{E}_m , *required*) Ortalama aydınlık düzeyi (gerekli olan): Aydınlık düzeyi, bir alan üzerine gelen ışık akısının o alana oranı olarak tanımlanır (TS EN 12665, 2019). Bu kriter, bir mekan için gerekli olan en düşük ortalama aydınlık düzeyini belirtmektedir.

(\bar{E}_m , *modified*) Ortalama aydınlık düzeyi (değiştirilmiş): Bu kriter, belirtilen etkenler sebebiyle değiştirilmiş (yükseltilmiş) olan ortalama aydınlık düzeyini belirtmektedir.

(U_o) Aydınlığın düzgün dağılımı: Bir yüzeydeki minimum aydınlığın ortalama aydınlığa oranı (TS EN 12665, 2019).

(R_a) Renksel geriverim değeri: Bir ışıklayıcının, aydınlattığı nesnelerin, renk türü ile ilgili görünüşleri üzerindeki etkisi. Bu etki, bilinçli ya da bilinçsiz olarak, bir referans ışıklayıcısınınca aydınlatılma durumundaki renk türü görünüşleri ile karşılaştırılır (Sirel, 2012).

($RUGL$) Kamaşma: Işıklılıkların uygun olmayan dağılımları ya da aşırı bir karşıtlık sonucu, nesnelerin ya da bunların ayrıntılarının ayırdedilmesinde bir yetenek eksikliği ya da bir güçlük, bir sıkıntıya yol açan görme koşulları (Sirel, 2012).

(\bar{E}_m,z) Görsel iş bölgesinde silindrsel aydınlık: Belirtilen noktada bulunan çok küçük bir silindirin kavisli yüzeyine düşen toplam ışık akısının silindirin kavisli yüzey alanına oranı (TS EN 12665, 2019).

($\bar{E}_m,wall / \bar{E}_m,ceiling$) Yüzeyler üzerindeki aydınlık: Duvar ve tavanlardaki aydınlık, yüzey yansımaları ile birlikte ışıklılığa katkıda bulunur ve algılanan oda parlaklığının göstergeleridir (TS EN 12464-1:2021, 2021).

2.2. Kullanıcı Memnuniyeti İle İlgili Gereksinim

Her ne kadar standartlar ve kurumların teknik çalışmaları bazı sınır değerleri şart koşsa da, yapılan çalışmalarda aydınlatma aygıtlarını kontrol edebilen kullanıcıların sınır değerlerden daha düşük aydınlık düzeyini tercih ettikleri de görülebilmektedir (Stiller, 2012). Michael Stiller, standartlar ile belirlenen aydınlatma gereksinimlerinin son yüzyılda önemli değişiklikler gösterdiğini açıklamaktadır. Aydınlik düzeyi şartları, çeşitli ekonomik ve politik değişimler, çalışma ortamlarının gereksinimlerinin değişimleri, teknolojik değişimler ve kültürel değişimlerle birlikte zaman içerisinde değişimler göstermiştir. 1930’larda flüoresan ve gaz deşarjlı lambaların kullanımı ile birlikte çalışma alanlarında yüksek aydınlık düzeyi elde etmenin maliyeti (daha eski dönemlere kıyasla) düşmüş ve sonucunda aydınlık düzeyi standartlarında daha yüksek değerler hedeflenmiştir. 1970’lerdeki enerji krizi beraberinde, bu aydınlık düzeylerinin düşük düzeylere çekilmesi kararlarını getirmiştir. Tablo 2’de farklı zamanlarda ve farklı ülkelerdeki standartlarda, çalışma alanları için tanımlanan aydınlık düzeylerinin değişken olabildiği görülmektedir (Stiller, 2012).

Yapılan bazı deneysel çalışmalarda, kullanıcılara farklı seçenekler test ettirildiğinde, kullanıcıların sadece aydınlatmanın nicelik değerlerine göre hoşnutluk göstermediği, bunun yanında aydınlatmanın niteliğinin, mekandaki ışık dokusunun da hoşnutluğu etkilediği görülmüştür. Farklı seçenekler arasından yapılan seçimlerde, kullanıcıların hoşuna giden ışık kurgusunun, standartlarda tanımlanan sınır değerlerin çok altında veya çok üzerinde olduğu görülebilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, bir deney setinde kurgulanan ve ölçümle belirlenen ışıklılık değerleri ile deneye katılan katılımcıların algıladıkları parlaklık değerlerinin farklı olabildiği görülmüştür. Katılımcılara sunulan senaryolar, katılımcılar tarafından farklı değerlendirilmiş, ve bu durumlar aydınlatma düzenlemelerinin sadece fizyolojik gereksinimlere göre değil, psikolojik konfora olan etkilerine göre de düzenlenmesi gerektiği şekilde açıklanmıştır (Uyan ve ark., 2018). Benzer araştırmalardan da çıkarılan sonuca göre, aydınlatma sistemlerinin uyması gereken standartların yanı sıra, kullanıcıların tercihleri, zevkleri ve sistemden memnuniyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2. Ofislerde farklı zaman ve farklı ülke standartlarındaki aydınlık düzeyi değerleri

Ülke ve Yıl	Genel	Bilgisayar	Okuma	Çizim
Avusturya, 1984	500 lx	500 lx	-	750 lx
Brezilya, 1990	750-1,000 lx	-	200-500 lx	3,000 lx
Çin, 1993	100-150-200 lx	-	75-100-150 lx	
Fransa, 1993	425 lx	25-425 lx	425 lx	850 lx
Almanya, 1990	500 lx	500 lx	-	750 lx
Birleşik Krallık,	500 lx	300-500 lx	300 lx	750 lx
ABD, 1993	200-300-500 lx	300 lx	200-300-500 lx	1,000-2,000 lx
Japonya, 1989	300-750 lx	300-750 lx	-	750,1000 lx
Rusya, 1995	300 lx	200 lx	300 lx	500 lx
İsviçre, 1997	500 lx	300-500 lx	500 lx	1,000 lx

Kullanıcı memnuniyetini önemli derecede etkileyen bir başka parametre de aydınlatma sistemlerinin kontrol prensipleridir. Çalışmalar, aydınlatma sistemlerinin otomatik şekilde kontrol edilmesinin, kullanıcı memnuniyetini genelde olumsuz etkileyebilecek bir durum olduğunu göstermektedir. Bu sebeple kullanıcılara, çalıştıkları/buldukları bölümü bireysel olarak kontrol etme imkanı tanıyan bölgesel-işleve yönelik aydınlatma imkanının tanınması var olan memnuniyetsizlikleri gidermede yardımcı olabilmektedir (Kunduracı & Kazanasmaz, 2016). Özetle, standartlara uygun tasarlanmış ve görsel konfor şartlarını sağlamakta olan bir aydınlatma sisteminin yenilenme nedenlerinden biri de, kullanıcı memnuniyetsizliği veya kullanıcının farklı beklentileri olabilmektedir.

3. ENERJİ TÜKETİMİ İLE İLİŞKİLİ YENİLEME GEREKSİNİMLERİ

Aydınlatma alanındaki teknolojinin ilerlemesi ve gereksinimlerin zaman zaman yeniden tanımlanması ile birlikte binalardaki mevcut aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimleri, uygulanabilecek farklı olası çözümlere görece daha yüksek kalabilmektedir. Aydınlatma enerji tüketiminin fazla olması durumu aşağıdaki 3 başlık özelinde incelenebilir;

- Mevcut aydınlatma sisteminin kurulu gücünün minimize edilebilme potansiyelinin bulunması,
- Mevcut sistemin kullanım süresini azaltma potansiyelinin bulunması,
- Mevcut aydınlatma sisteminin, diğer bina sistemlerine olan etkisinin azaltılma potansiyelinin bulunması.

Ayrıca aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimlerinin düzeyi ile ilgili bir diğer gösterge olarak, AB tarafından 2007 yılında yayınlanan EN15193 standardında “Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi” (AESG) ortaya konmuştur (CEN/TR 15193-2:2017, 2017). Burada tanımlanan AESG değeri (orijinal metinde LENI olarak kısaltılmaktadır), birim alandaki (m²) yıllık aydınlatma enerji gereksinimini göstermektedir. AESG değerini etkileyen parametreler arasında toplam kurulu güç, aydınlatma kontrol sistemi ve günışığından yararlanma durumu bulunmaktadır. İlgili standardın devamı niteliğindeki, 2017 yılında yayınlanan “açıklama ve gerekçelendirme” yayınında farklı mekan tipleri için referans kurulu güç ve AESG değerleri tanımlanmıştır.

3.1. Kurulu Güç İle İlgili Gereksinim

Aydınlatma aygıtlarının verimi enerji tüketimi başına ortaya çıkarabildiği (üretebildiği) ışık akısı miktarı ile yani “lumen/watt” ile değerlendirilmektedir. Bir akkor telli lambanın verimi 11-15 lm/W kadardır ve bu verim değeri yaklaşık 100 yıl önce kullanılan akkor lambaların verimi ile aynıdır. Bir yağ lambasının veriminin yaklaşık 1 lm/W olduğu düşünülürse, akkor lambaların keşfinin aydınlatma enerjisi korunumu bakımından önemi anlaşılmaktadır. Ancak bugün aydınlatma teknolojisinin geldiği noktada, akkor lambaların yerine kullanılacak şekilde üretilmiş 50-60 lm/W verime sahip kompakt flüoresan lambalar ile 100-120 lm/W verime sahip LED lambalar bulunmaktadır (Philips, 2022).

ABD’de ilk kez 1975’ de kabul edilen ve tam adı, “Alçak Katlı Konutlar Dışındaki Binalar İçin Enerji Standartı” olan Ashrae 90.1 standardının 2019 yılındaki güncel yayınında “Aydınlatma” başlığında, var olan aydınlatma sistemlerinin bakım ve yenilenmelerinde, aydınlatma elemanlarının %50’sinden fazlasının değiştirilmesi durumunda, yeni sistemin, standartta verilen aydınlatma güç yoğunluğu (Lighting Power Density - LPD) sınırlarında tutulması gerektiği belirtilmektedir. LPD kriteri olarak, farklı bina tipolojilerine göre, birim kullanım alanında (standartın orijinalinde square-foot, ft²) izin verilen kurulu aydınlatma gücü değerleri tanımlanmıştır. Bu standartta verilen sınır değerlerden bazıları örnek olarak Tablo 3’de gösterilmiştir (90.1-2019, 2019). Standartın içerisinde yer alan ve üst sınır kabul edilen değerler, aynı standardın 2016 yılında yayınlanan bir önceki versiyonuna göre %10 ile %20 arası bir düzeyde düşürülmüştür. Gelişen teknoloji ile birlikte, binalarda birim alan başına kurulabilecek aydınlatma enerji yükleri üst limitleri aşağı çekilmiştir. Zaman içinde binalarda aydınlatma enerji korunumu potansiyelinin arttığı görülmektedir.

Tablo 3. Ashrae 90.1-2019 Standardında verilen “Aydınlatma Güç Yoğunluğu” sınır değerleri ve aynı değerlerin 2016 yılı yayınındaki durumu.

Bina Tipolojisi	2016 standardı W/m ²	2019 standardı W/m ²	Bina Tipolojisi	2016 standardı W/m ²	2019 standardı W/m ²
Kongre merkezi	8,18	6,88	Hastane	11,30	10,33
Yeme-içme	9,68	8,61	Ofis	8,50	6,88
Öğrenci yurdu	6,56	5,70	Okul / Üniversite	8,71	7,75
Spor salonu	7,31	8,18	Üretim tesisleri	9,68	8,82

CEN/TR 15193-2:2017 numaralı AB standardında da bazı mekan tipleri için kurulu güç referans değerleri tanımlanmıştır. Standart için 2021 yılında bir iyileştirme yayınlanmıştır ancak bu iyileştirmede LENI değerleri güncellenmemiştir. Standart içerisinde yer verilen bazı mekan tipleri için kurulu güç ve LENI referans değerleri Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Bazı mekan tipleri için kurulu güç ve LENI referans değerleri
(CEN/TR 15193-2:2017)

Mekan Tipi	Aydınlatma sisteminin durumu	Kurulu Güç W/m ²	AESG (LENI) kWsaat/m ² .yıl
Sirkülasyon alanı	Standart	7,74	6,81
Kişisel Ofis (Tek kullanıcı)	Enerji etkin	12,18	10,97
Konferans	Enerji etkin	12,37	15,30
Açık Ofis	Enerji etkin	10,73	23,23
Mutfak (Konut dışı)	Enerji etkin	11,54	23,60
Çatı ışıklığı olan üretim alanı	T16 Flüoresan	12,76	2,01
Çatı ışıklığı olmayan üretim alanı	T16 Flüoresan	12,76	41,57

3.2. Aydınlatma Kontrol Sistemleri İle İlgili Gereksinim

Enerji tüketiminin fazla olması, yüksek enerji tüketen ışık kaynakları sebebiyle olabildiği gibi, bir diğer sebep de sistemin doğru kontrol edilmemesi olabilmektedir. Günümüzde aydınlatma kontrol sistemlerinin, aydınlatma enerji tüketimini düşürdüğü yapılan birçok araştırma ve uygulama ile çokça ortaya konmuştur. Binalarda aydınlatma kontrolleri genel olarak 4 tip yöntemle ayrılarak incelenebilir;

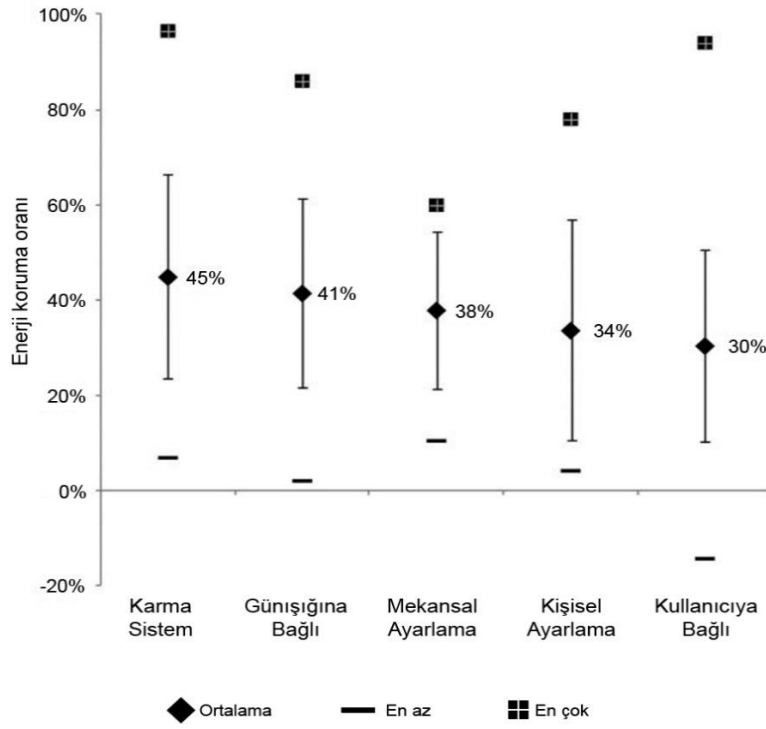
Kullanıcı duyarlı aydınlatma kontrolleri, aydınlık düzeyini mekanda kullanıcı bulunup bulunmamasına göre ayarlar. Bu yöntem için, kullanıcı sensörleri, zaman saatleri, enerji yönetim sistemleri kullanılır.

Günüşiği duyarlı aydınlatma kontrolleri, doğal ışığın varlığına göre mekandaki aydınlık düzeyini otomatik olarak ayarlar ve bu tip kontrol için fotosensörler ve zaman saatleri kullanılır.

Kişisel ayarlama tipi aydınlatma kontrolleri, kullanıcıların kendi kişisel tercihlerine göre aydınlatmayı ayarlamalarına olanak verirler ve loşlaştırma ekipmanları, kablosuz aç-kapa anahtarlar, bilgisayar tabanlı kontroller ve önceden ayarlanmış senaryo seçimleri bu kontrol tipinde yer alır.

Mekansal ayarlama tipi aydınlatma kontrolleri, binalarda mekan bazında ihtiyaçları karşılamak üzere aydınlık düzeyi ayarlamalarının yapıldığı aydınlatma kontrol tipidir.

Ticari binalarda aydınlatma kontrolleri üzerine yapılmış bir çalışmada 88 araştırma yazısında incelenen 240 adet iyileştirme tahmini derlenmiş ve aydınlatma kontrollerinin kullanılmasının aydınlatma enerji tüketimine katkıları Şekil 1'deki grafikte özetlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre, mevcut bir aydınlatma sistemine eklenecek bir aydınlatma kontrol sistemi, enerji tüketimini ortalama %30 ile %45 oranları arasında azaltabilme potansiyeline sahiptir (Williams ve ark., 2012). Bu durumda kontrol edilmeyen bir aydınlatma sistemine kazandırılacak bu tasarruf olanağı, mevcut sistemi yenilemek için bir neden olarak ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 1. Farklı aydınlatma kontrol tiplerinin, mevcut aydınlatma sistemlerine uygulanmaları halinde enerji tüketimlerini azaltma oranları (Williams ve ark., 2012).

3.3. Aydınlatma Sistemlerinin Diğer Bina Sistemlerine Etkisi İle İlgili Gereksinim

Tüm elektrikli ışık kaynakları elektrik enerjisini değişen oranlarda ısı ve ışınımaya çevirirler. Akkor telli lambalar daha çok oranda kızılötesi ışınım ve çok düşük oranda görülebilir ışın yayırlar. LED'ler kızılötesi ve morötesi ışınım yaymaz ve üretilen görülebilir ışığın yanında, kalan enerji ısıya dönüştürülür. Bu ısı, ışık kaynağından sistemin diğer ünitelerine taşınarak hava yolu ile ortama yayılır (Kitsinelis & Kitsinelis, 2015). Elektrikli lambaların çalışma prensipleri nedeniyle ortaya çıkan bu ısı enerjileri ortam sıcaklığına etki eder, böylece sıcak havalarda soğutma yüklerine, soğuk havalarda da ısıtma yüklerine etki ederler.

Literatürde bulunan çeşitli araştırmalar, ışık kaynaklarının ürettiği fazla ısının yapılardaki soğutma yüklerine yaptığı olumsuz etkiyi ortaya koymaktadır. Çin'de farklı iklim bölgelerindeki binalar üzerinde yapılan araştırma ile bu etkiler ortaya konmuştur. Ortaya çıkan sonuçlara göre, bir mekandaki elektrikli aydınlatma ürünlerinden yayılan ısının, sıcak günlerde soğutma yüklerine etkisi, soğuk günlerde ısıtma yüklerine etkisinin birkaç kat fazlası olabilmektedir (Lam ve ark., 2006). Soğuk iklime sahip İsveç Göteborg şehrinde yapılan bir araştırmada, ortama daha fazla ısı yayan enkandesan lambaların daha az enerji tüketen ve ortama daha az ısı yayan LED lambalar ile değişimi sonunda %35-80 arasında enerjinin korunduğu gözlenmiştir (Norden ve ark., 2015).

4. ÇEVRESEL KONULAR İLE İLİŞKİLİ YENİLEME GEREKSİNİMLERİ

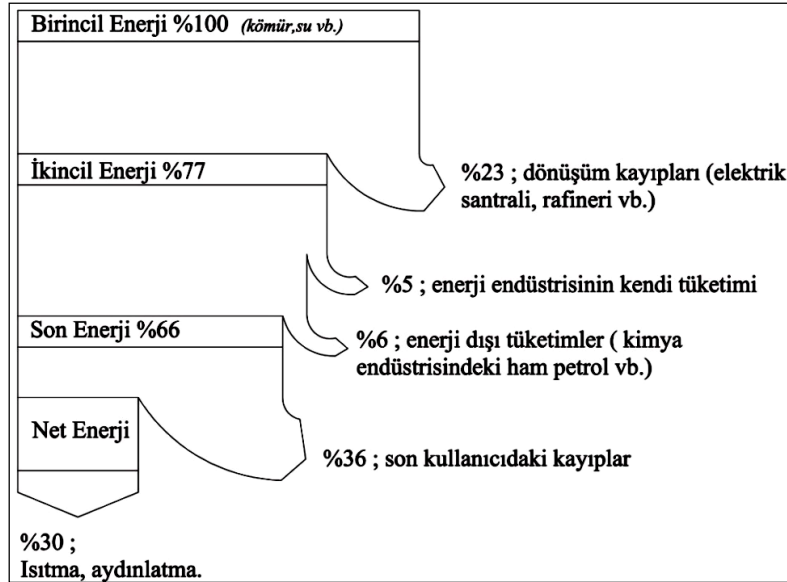
Aydınlatma sistemleri gerek tükettikleri enerjiye gerekse sistemi oluşturan elemanların bileşenlerine bağlı olarak çevreye etki etmektedirler. Kullanım sürecinde tüketilen enerjiye karşılık gelen sera gazı salımları çevre etkisi değerlendirmesinde en büyük etkiyi oluşturan özellik olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanında çevresel konulara dair, aydınlatma sistemi elemanlarının üretim süreçlerindeki çevreye etkileri ve kullanım süreleri sonunda ortaya çıkardıkları atıkların geri dönüşüm ve çevreye zararları ile ilgili konular incelenmektedir.

4.1. Sera Gazı Salımı

Binalar, dünyadaki toplam sera gazı salımının %30'luk kısmından sorumludur (Maldonado ve ark., 2018). Sera etkisi oluşturan gazların normalden fazla salımları, yer yüzeyine ulaşır geri yansıyan ışınımın tutulmasına neden olarak "küresel ısınma" olarak da adlandırılan iklimsel değişikliğe yol açar. İklimsel değişikliğe neden olan başlıca altı sera gazı; KarbonDiOksit (CO₂), Metan (CH₄), Azotoksit (N₂O), Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC) ve KükürtHekzaFlorid (SF₆) olarak sıralanmaktadır. Bunların içinde %80'lik payı ile en önemlisi CO₂ gazıdır (Karakaya & Özçağ, 2003).

Bina aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimlerinin, sera gazı salımına doğrudan etki ettiği düşünülmektedir. 1 kWh elektrik tüketimi için yaklaşık 527 g CO₂ gazı çevreye salınmaktadır. Binalarda aydınlatma sistemlerinde tüketilen son ürün olan elektrik enerjisinin, kömür vb. ilk ham madde üründen son kullanıcının hizmetine sunulduğu aşamaya kadar geçen dönüşüm sürecinde Şekil 2'de görüldüğü gibi yaklaşık %70'lik önemli bir kayba uğramaktadır (Hegger ve ark., 2008). Bu kayıplar göz önünde bulundurulduğunda, son kullanıcı tarafından kullanılan bina aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi daha da fazla önem kazanmaktadır.

Aydınlatma sistemlerinin CO₂ salımının azaltılması, bu sistemlerinin daha az enerji tüketen şekilde yenilenmeleri veya baştan bu hassasiyetle tasarlanmaları ile mümkündür. Yapılan çalışmalar, eski tip ışık kaynağı kullanan aydınlatma sistemlerinin sera gazı salımının, bu sistemlerin güncel LED ışık kaynağı kullanacak şekilde yenilenmesi ile %41 düzeyinde düşürülebileceğini göstermektedir (Sedziwy ve ark., 2018). Tüm sistemin enerji tüketiminin yanında, aydınlatma sistemlerinin sera gazı salımını minimize etmeyi sağlayan başka etkenler de bulunmaktadır. Bu etkenlere örnek olarak; sistemi oluşturan her bir elemanın enerji etkin olması, bu elemanların yaşam ömürlerinin uzun olması, üretim ve hammaddelerin yerel olması, ulaştırma süreçlerinin mümkün olduğunca az olması, geri dönüşümlü ürünlerin ve geri dönüşümlü paketlemeye sahip malzemelerin seçilmesi gösterilebilir.



Şekil 2. Bir kaynağın, binalarda kullanılan elektrik enerjisine dönüşme sürecindeki kayıplar (Hegger ve ark., 2008).

4.2. Geri Dönüşüm ve Atık

Aydınlatma sistemlerinin çevreye etkileri, enerji tüketimleri sebebiyle olmasının yanında bir de içerdikleri malzemelerin kullanım ömürleri sonunda geri dönüşümleri ile ilgidir. Tablo 5’de birbirleri yerine tercih edilebilecek geleneksel ışık kaynaklarının içeriklerinde barındırdıkları malzemeler gösterilmiştir. Enkandesan lambaların içerisinde elektronik bir aksam bulunmamakta ve bu tür lambaların geri dönüşümleri basit katı atık dönüşüm merkezlerinde gerçekleştirilmektedir. Halojen lambalar ise, voltaj dönüşümü için bir transformatör gerektirmekte olup, geri dönüşümü için AB direktiflerinde tanımlanan bir dönüşüme gereksinim duymaktadır. Flüoresan lambalar da ışık yayılımı için bir balasta gereksinim duymaktadırlar ve hem bu elektronik ekipman hem de bünyesinde barındırdığı cıvadan ötürü geri dönüşümleri belirli yönetmeliklere uygun olarak gerçekleşmek zorundadır. Kompakt floresan lambalar çalışmak için harici bir ekipmana gereksinim duymasa da içerisindeki 15,26 gramlık elektronik dahili balastı ve cıva miktarı nedeniyle yine bu lambalar da yönetmeliklere uygun bir geri dönüşüme tabidirler (Welz ve ark., 2011).

Yapıların kendisinin ve tüm alt sistemlerinin tasarım - yapım - kullanım - geri dönüşüm süreçleri yaşam döngüsü düşüncesi ile gerçekleştirilmelidir. Malzemelerin kullanılabilirliğinden bir şey kaybetmeksizin faydalı bir formdan bir başka faydalı forma dönüşmesi üzerine kurulu olan yaşam döngüsü, binalarda, “bina-öncesi”, “bina” ve “bina-sonrası” evreler olarak kategorize edilir (Özçuhadar, 2007). Bu durumda “bina” evresinin olabildiğince uzun süreli olması, bu döngüyü uzatacaktır. Aydınlatma sistemlerinin de kullanım süreleri, aynı amaç doğrultusunda olabildiğince uzun olmalı ve böylece, oluşacak atıkların miktarını ve geri dönüşüm yapılması gereken malzemeleri azaltmalıdır. Bu durum aynı zamanda yeni kullanılacak ekipman miktarını da düşürecektir. Yeni tasarlanacak aydınlatma sistemlerinde bu konuya dikkat edilerek ekipman seçimi yapılması gerektiği gibi, mevcut aydınlatma sistemleri için de iyileştirme potansiyelleri düşünülerek, daha uzun ömürlü ekipmanlar kolayca mevcut sisteme entegre edilebilmektedir.

Tablo 5. Benzer kullanım amacı taşıyan farklı lamba tiplerinin çevresel etkileri (Welz ve ark., 2011).

Lamba türü	Akkor telli	Halojen	Floresan	Kompakt floresan
Güç (Watt)	60W	35W	14W	11W
Net Ağırlık (g)	33,02	29,15	226,25	111,28
Yaşam ömrü (saat)	1000	2000	20,000	10,000
Cam (g)	30	2	46	65
Metal (g)	3	4,63	95,56	4
Elektronik (g)	-	12,92	69,13	15,26
Plastic (g)	-	9,94	13,97	25
Gaz (g)	0,01	0,02	0,80	1
Cıva (g)	-	-	3	4

5. YAŞAM ÖMRÜ VE TEKNOLOJİ İLE İLGİLİ YENİLEME GEREKSİNİMLERİ

Mevcut aydınlatma sistemlerinin yakın gelecekte yaşam ömürlerini dolduracak olmaları, veya sistemin bileşenlerinin yakın gelecekte artık tedarik edilemeyecek olması da bu sistemlerin yenilenmelerini gerektiren nedenler olabilmektedir.

5.1. Yaşam Ömrü Ve Teknoloji İle İlgili Gereksinim

Yapma ışık kaynaklarının tarihsel gelişimi incelendiğinde, her dönem için değişmeyen iki arayış görülmektedir; ışık kaynaklarının enerjiyi daha verimli tüketmeleri ve yine bu ışık kaynaklarının yaşam ömürlerinin daha uzun olabilmesi. Teknolojik ilerlemeler ile birlikte her seferinde daha fazla ışık üretebilen veya aynı miktardaki ışığı daha az enerji ile üreten ama en önemlisi de daha uzun süre dayanan lambalar için araştırmalar yapıldığı anlaşılmaktadır. İlk zamanlarda mekanları aydınlatan fenerler, daha sonra yerlerini yağ lambalarına, sonrasında gaz lambalarına, sonrasında elektrikli lambalara ve günümüzde artık elektronik yöntemle ışık üreten LED lambalara bırakmıştır.

Teknolojik ilerleme ve değişimler, aydınlatma piyasasında da bazı yenilikleri beraberinde getirmekte ve mevcut durumda satın alınabilecek aydınlatma ürünleri veya yedek parça bileşenleri değişebilmektedir. Örneğin 1968 yılında yazılmış bir kitapta yer alan akkor telli tip lambalar, yakın geçmişe kadar firma kataloglarında hiç değişmeden var olabilmelerine rağmen, son 5 yıllık süreçte neredeyse kataloglardan tamamen silinmiştir. Tablo 6’da bu değişimi görülmektedir.

Teknolojinin getirdiği bu değişim, mevcut aydınlatma sistemlerinin belli dönemlerde, henüz yaşam ömürleri bitmiş olmasa bile, yenilenmeleri gerekliliğini doğurabilmektedir.

Tablo 6. Akkor telli lambaların geçmiş ve bugünkü durumları.
(Özkaya, 1968; Philips, 2008; Philips, 2017; Philips, 2022).

Lamba Tipi	1968 Kaynağında	2008 Kataloğu	2017 Kataloğu	2022 Kataloğu
15 Watt Akkor Telli	Var (120 lumen)	Var (115 lumen)	-	-
25 Watt Akkor Telli	Var (230 lumen)	Var (240 lumen)	Var (220 lumen)	-
40 Watt Akkor Telli	Var (420 lumen)	Var (410 lumen)	Var (415 lumen)	Var (415 lumen)
60 Watt Akkor Telli	Var (720 lumen)	Var (700 lumen)	Var (730 lumen)	-
75 Watt Akkor Telli	Var (930 lumen)	-	Var (930 lumen)	-
100 Watt Akkor Telli	Var (1350 lumen)	Var (1330 lumen)	Var (1340 lumen)	-
150 Watt Akkor Telli	Var (2000 lumen)	Var (2140 lumen)	-	-
200 Watt Akkor Telli	Var (2800 lumen)	-	-	-
300 Watt Akkor Telli	Var (4650 lumen)	-	-	-
500 Watt Akkor Telli	Var (8200 lumen)	-	-	-
1000 Watt Akkor Telli	Var (18000 lumen)	-	-	-
1500 Watt Akkor Telli	Var (30000 lumen)	-	-	-

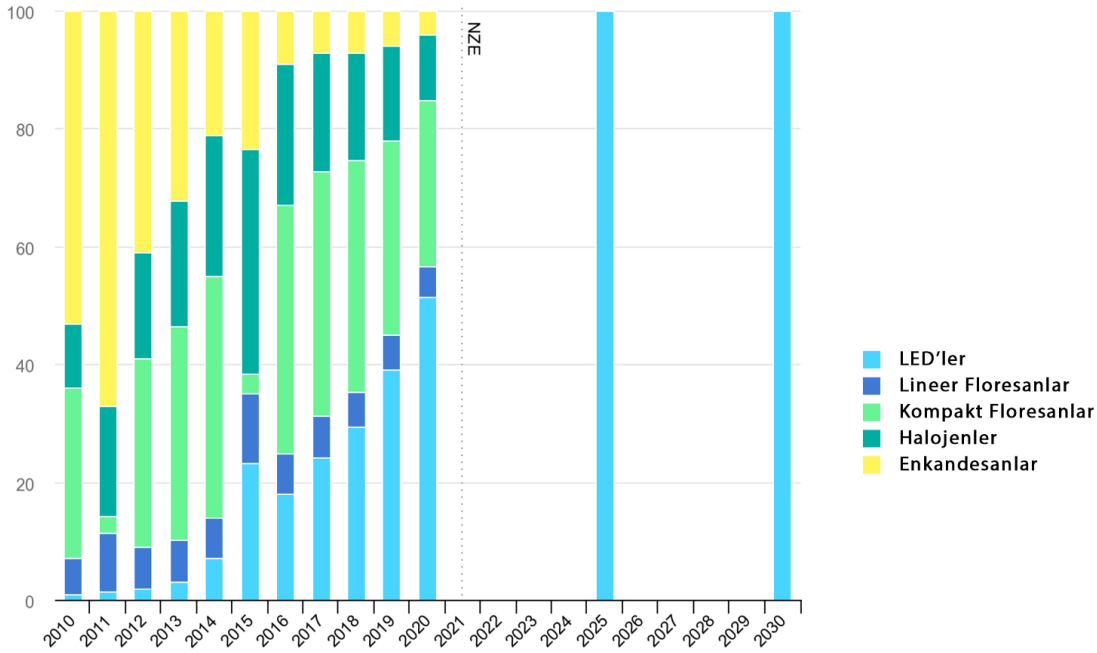
Yapılan araştırmalarda, binaların belirli yaşam süreçlerinin olduğunu ve elektrik sistemlerinin genellikle binalarda 17-29. Yıllar arasında yenilendiğini göstermektedir (Albrice, 2015). Almanya’da yayımlanan, “Bina uygulamalarının ekonomik etkinliği” adlı VDI 2067 standardında da bina aydınlatma sistemlerinin yaşam ömürleri toplam 20 yıl olarak ele alınmaktadır (Lohse ve ark., 2016). Bu durumda bir yapının ömrü devam ederken, o yapının mevcut aydınlatma sisteminin yaşam ömrünün biteceği, ve bu nedenle aydınlatma sisteminin bir veya daha fazla kez yenilenmesi gerekeceği ortaya çıkmaktadır.

5.2. Yakın Gelecek Beklentileri ve Direktifler

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) istatistiklerine göre, dünya genelinde satın alınan ışık kaynakları arasında enkandesan lambaların payı 2010 yılından 2021 yılına kadar oldukça gerilemiş ve bu payı büyük ölçüde LED ışık kaynakları devralmıştır. Ancak diğer geleneksel tip ışık kaynakları bu süreçteki piyasa payını neredeyse aynı ölçüde korumuşlardır. IEA'nın yakın gelecek öngörüsüne göre 2025 ve 2030 yılına gelindiğinde satılan tüm ışık kaynakları Şekil 3'de de görüldüğü gibi LED teknolojili olacaktır (IEA, 2021).

Aydınlatma sistemlerinin yenilenmelerini zorunlu kılacak bir diğer önemli durum da, artık bazı geleneksel tip lambaların satışlarının durdurulması ile ilgili çabaların ve buna bağlı olarak yasal düzenlemelerin yapıyor olmasıdır. Bu konuda güncel en önemli örnek, AB tarafından yayınlanan "Elektrikli ve Elektronik Ekipmanlarda Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması" isimli yasal düzenlemedir (Avrupa Komisyonu, 2011). Bu düzenleme ile, özellikle bünyesinde civa olması nedeniyle, tüm floresan, alçak basınçlı ve yüksek basınçlı deşarj lambaların AB sınırları içerisindeki satışı 2023 - 2027 yılları arasında kademeli şekilde yasaklanmaktadır. Böylece çok yakın bir gelecekte satışı yasaklanacak bu lambaları kullanan sistemlerin, ekipman veya sistem bazında yenilenme gereksinimleri kaçınılmaz olacaktır.

Yakın geçmişte yaşanan Covid-19 pandemisi ile birlikte firmaların evden çalışma oranları büyük oranda artmıştır. Amerika'da daha önce %5 olan evden çalışma oranı pandemi ile birlikte 2020 yılında %50 düzeyine yükselirken, İngiltere'de %4,7 olan oran %43 düzeyine çıkmıştır (Martin ve ark., 2022). Çalışma hayatı ve ev hayatındaki bu denli büyük bir değişim, evlerdeki mevcut iç mekan kurgularında ve hatta yaşam alışkanlıklarında değişiklik yapmayı zorunlu kılacaktır. Yeni ortaya çıkan durumda, bu yeni çalışma ortamlarının daha ideal şartlar kazanması için mevcut şartların iyileştirilmesi için mevcut aydınlatma sistemlerinin yenilenmesi konusu gündeme gelebilecektir. Örneğin daha önceleri sadece akşamları kısa süreliğine kullanılan odalar, artık gün boyu çalışma amacıyla kullanılabilen ve bu odalarda verimli bir günışığı ve görsel konfor şartlarını sağlayan bir aydınlatma düzeni gereksinimi ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 3: Dünya genelinde satılan lamba/ışık kaynağı tiplerine dair IEA'nın gelecek öngörüsü (IEA, 2021).

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma, binalardaki mevcut aydınlatma sistemlerinin yenilenme gereksinimlerinin hangi başlıklarda değerlendirilebileceğine odaklanmıştır. Çalışma içerisinde de belirtildiği gibi, bir mevcut sistem bir çok farklı sebepten ötürü yenilenmeye gereksinim duyabilmektedir. Bu sebepler, kullanıcı konforunu sağlamakla ilgili olabildiği gibi, enerji tüketimini azaltmak, çevresel etkiyi düşürmek veya artık piyasada bulunamayan ekipmanları, yenileri ile değiştirmekle ilgili de olabilirler. Ayrıca güncel küresel politikalar ve hedefler de kullanıcıları bu değişimlere zorunlu bırakabilmektedir.

Öte yandan, her aydınlatma sistemi yenileme veya değiştirme eyleminin, bir atık ürettiği de unutulmamalıdır. Bu süreçler çalışılırken, 2015 yılında yayımlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” ile uyumlu olacak şekilde atık ve geri dönüşüm stratejileri de geliştirilmelidir.

Sonuç olarak kaçınılmaz olan değişim veya yenilemelerin, içinde bulunulan dönemin teknolojisinden yararlanan ama farklı dönemlerde de kullanılabilir, ilkeleri tanımlı bir süreç ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma ve benzeri çalışmalar, mevcut aydınlatma sistemlerinin önce yenilenme gereksinimi belirlemede, sonrasında da değişim/yenileme sürecindeki ilkeleri belirlemede faydalı olacaktır. Bu türden çalışmalar, literatüre katkı sunmanın yanında, yapı sektörü için de bir tür uygulama rehberi şeklinde kullanılabilirlerdir.

Aydınlatma sistemlerinin yenilenmesine ilişkin karar alınması sürecinde çalışmada ele alınan başlıklar altında gerekli değerlendirmelerin yapılmasının akılcı ve sürdürülebilir uygulamalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Albrice, D. (2015). How Long Do Buildings Last. <https://thecondogroup.com/long-buildings-last-david-albrice/> adresinden 06 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.

Avrupa Komisyonu (2011). Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS). https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en adresinden 06 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.

CEN/TR 15193-2:2017 (2017). Binalardaki enerji performansı – Aydınlatma ile ilgili enerji gerekleri – Bölüm 2: EN 15193-1 Modül M9, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- Global Alliance for Buildings and Construction (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf adresinden 06 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- Halonen, L., Tetri, E. & Bhusal, P. (edt.) (2010). Annex 45 Guidebook On Energy Efficient Electric Lighting For Buildings. *Aalto Üniversitesi*, Aalto.
- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T. & Zeumer, M. (2008). Energy Manual: Sustainable Architecture. *Birkhauser Verlag AG*, Basel.
- IEA (2021). Global lighting sales, historical and in the Net-Zero Scenario, 2010-2030, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-lighting-sales-historical-and-in-the-net-zero-scenario-2010-2030> adresinden 6 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- İncedayı, D. (2007). Sürdürülebilirliğin kültürel boyutu, dosya 05 -sürdürülebilirlik: Kent ve mimarlık, *Mimarlar Odası Ankara Şubesi Bülteni*, no:51.
- İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Proje No: İNTAG 201. *TUBİTAK*, Ankara.
- Karakaya, E. & Özçağ M. (2003). *Türkiye Açısından Kyoto Protokolü'nün Değerlendirilmesi Ve Ayrıştırma (Decomposition) Yöntemi ile CO2 Emisyonu Belirleyicilerinin Analizi*, VII. ODTÜ Ekonomi Konferansı, Ankara.
- Kitsinelis, S. & Kitsinelis S. (2015). Light Sources: Basics of Lighting Technologies and Applications, *Routledge*, United Kingdom.
- Kunduracı, A.C., Kazanasmaz, T. (2016). Aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkisine eleştirel bir bakış, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 553-560.
- Lam, J. C., Tsang, C.L. & Yang, L. (2006). Impacts of lighting density on heating and cooling loads in different climates in China, *Energy Conversion and Management*, 47(13-14), 1942-1953.
- Lohse, R., Staller, H. & Riel M. (2016). The economic challenges of deep energy renovation - differences, similarities, and possible solutions in central europe: Austria and Germany. *ASHRAE Transactions*, 122(1), 69-87.
- Maldonado, L., Hidalgo, A. & Hechavarria R. (2018). Greenhouse gas emission reduction by the selection of efficient lighting systems, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 188.
- Martin, L., Hauret, L. & Fuhrer, C. (2022). Digitally transformed home office impacts on job satisfaction, job stress and job productivity. COVID-19 findings. *PLOS ONE* 17(3), e0265131.
- Norden, J., Karlsson, H., Markusson, C., Ruud S., Lindgren, M. & Ollas, P. (2015). *Changing to energy efficient light sources - an analysis of the energy balance of buildings*, 6th International Building Physics Conference, Italy.

- Özçuhadar, T. (2007). *Sürdürülebilir çevre için enerji etkin tasarımın yaşam döngüsü sürecinde incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özkaya, M. (1968). Aydınlatma tekniği, *İtü Teknik Okulu Yayınları*, İstanbul.
- Philips (2017). Fiyat listesi mayıs [Katalog]. *Philips Aydınlatma*, Hollanda.
- Philips (2008). Lighting catalog lamp specification and application guide 2008–2009 [Katalog]. *Philips*, Hollanda.
- Philips (2022). Ürün Kataloğu. <https://www.lighting.philips.com.tr/prof> adresinden 6 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sedziwy, A., Basiura, A. & Wojnicki, I. (2018). Roadway lighting retrofit: Environmental and economic impact of greenhouse gases footprint reduction, *Sustainability*, 10(11), 3925.
- Sirel, Ş. (2012). Aydınlatma sözlüğü, *Yapı Fiziği Enstitüsü*, İstanbul.
- Stiller, M. (2012). Quality lighting for high performance buildings, *The Fairmont Press Inc.* ABD.
- TS EN 12464-1:2021 (2021). Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12665 (2019). Işık ve aydınlatma-Aydınlatma kurallarını belirleyen temel tarifler ve kriterler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uyan, E., Küçükdoğu, M.Ş. & Aydemir, I. (2018). Aydınlatma Kalitesini Belirleyen Psikolojik Parametrelerin Çalışma Alanı Örneğinde İncelenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(33), 51-60.
- Welz, T., Hischer, R. & Hilty L.M. (2011). Environmental Impacts of Lighting Technologies - Life Cycle Assessment And Sensitivity Analysis, *Environ Impact Asses Rev.*, 31(3), 334-343.
- Williams, A., Atkinson, B., Garbesi, K., Page, E. & Rubinstein, F. (2012). Lighting controls in commercial buildings, *The Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8(3), 161-180.
- 90.1-2019 (2019). Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, *ANSI/ASHRAE/IES*, ABD.