

AYDINLATMA ENERJİSİ PERFORMANSININ BİR OFİS ÖRNEĞİ KAPSAMINDA EN 15193-1+A1:2021 STANDARDINA GÖRE ANALİZİ

Elif ÖZTÜRK GÜL¹, Mustafa KAVRAZ²

¹Giresun Üniversitesi, Şebinkarahisar MYO, İç mekân Tasarımı, Giresun.

²Karedeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.

¹elif.gul@giresun.edu.tr, ²mkavraz@ktu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının kıtlığı ve enerji giderlerinin artması nedeniyle binaların enerji etkin tasarımı tasarımcılar için güncel bir konu haline gelmiştir. Mekânların görsel konfor koşullarının sağlanmasında mimarinin önemli unsurlarından biri olan aydınlatma, yapının enerji performansında büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada, ofislerde aydınlatma enerjisi performansının tahmini için TS EN 15193 standardını dikkate alan bir yaklaşım gerçekleştirilmiştir. Performans tahmini için öncelikle bir ofis tasarımı gerçekleştirilmiş ve ofis mekânının aydınlatmasını etkileyen yapay ve doğal aydınlatma alternatifleri üretilmiştir. Sonraki süreçte ise bu alternatiflerin aydınlatma enerjisi ihtiyacı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla tasarlanan 5x3.75x3 m boyutlarındaki ofis birimi %40 şeffaflık oranına sahip olup tek cephesinde saydam yüzey yer almaktadır. Çalışmada doğal aydınlatma için pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı ve yönlenme özelliklerinin varyasyonlarını içeren, yapay aydınlatma sistemleri için farklı lamba tipi ve kontrol sistemlerinden oluşan senaryolar oluşturulmuştur. Bu araştırma kapsamında aydınlatma tasarım alternatiflerinin değerlendirilerek, yıllık aydınlatma enerji performans tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Analizler sonucunda, LED lambaların kullanımının enerji tüketimi üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu ve Flüoresan lambalara göre önemli ölçüde enerji tasarrufu (%35'e kadar) sağladığını göstermiştir. Çalışmada enerji tüketimi açısından en düşük değeri veren senaryo (219 kWh) açıklıkların güneşe doğrultulması, güneş kontrol elemanının olmaması, %90 cam geçirgenliği ve LED ışıklı, otomatik aydınlatma kontrolü ile elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyetleri nedenleriyle, enerji etkinliğinin gözetilmesi konusu öne çıkmıştır. Enerjinin her alanda olduğu gibi binalarda da verimli kullanılması konusu güncelliğini sürdürmektedir. Mekânların görsel konfor koşullarının sağlanmasında mimarinin önemli unsurlarından biri olan aydınlatma, binanın enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyen bir bileşendir. Dünyada ve ülkemizde, aydınlatmada harcanan enerjinin büyüklüğü nedeniyle, özellikle ofis mekânları gibi uzun süreli ve gün boyu

kullanılan hacimlerde, uygun değerlerde enerji kullanımı önem verilmesi gereken bir konudur. Binalarda aydınlatma enerjisinin etkin kullanımı bina enerji tasarrufunda önemli bir yere sahiptir. Aydınlatmada yapılacak etkili yöntemlerin kullanımı ile bina işletim maliyeti %10 azaltılabilmekte, %30'dan fazla enerji tasarrufu sağlanabilmektedir [1]. Aydınlatmada enerji tasarrufu, işleve uygun bir aydınlatma tasarımı için optimum koşullar oluşturularak, aydınlatma kalitesi düşürülmeden sağlanmalıdır. İyi bir aydınlatma için verimli yapay aydınlatma elemanlarının kullanımı önem taşımaktadır. Görsel konforun sağlanabilmesi için gerekli aydınlatma seviyesi, daha az enerji

tüketimine olanak sağlayan doğru ve uygun aydınlatma elemanlarının kullanımı ile mümkün olabilmektedir [2]. Aydınlatma enerji tüketiminin minimize edilerek enerji etkinliğinin artırılması ve yapma aydınlatma sisteminin kuruluş yükünün azaltılması, iç mekân gün ışığı etkinliğini çeşitli tasarım kararları ile artırarak mümkün olabilmektedir [3]. Bu bağlamda, sürdürülebilir binaların aydınlatma tasarımları ve mevcut binaların bu doğrultuda yenilenmesi, doğal ve yapma aydınlatma ürünlerinin uygun bir şekilde seçimi, analizi ve kullanımı ile oluşturulmaktadır. Ofisler günışığının etkin olduğu saatlerde aktif kullanılan, kullanıcı sağlığı, konforu ve verimi yönünden özenle tasarlanması gereken yapı tipolojileridir. Bu nedenle, ofis mekânlarında doğal ve yapay aydınlatma düzenlerinin işleve, eyleme uygun, enerji etkin tasarım ölçütleri dikkate alınarak, görsel konfor koşullarını karşılayacak biçimde kurgulanması gereklidir. Böylece, ofislerde optimum enerji kullanımı ile görsel konforun sağlanmasının ve kullanım süresince kullanım ve bakım giderlerinin azaltılmasının ülke ekonomisine ve iş kalitesinin artmasına katkısı da büyük olacaktır.

AB ülkeleri binalarda enerji performansının belirlenmesi için çeşitli çalışmalarda bulunmuş ve 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yayınlanmıştır. (2002/91/EC). Bu yönetmeliğin amacı, binaların enerji etkinliğinin belirlenmesi için ortak bir metodolojinin ortaya konmasıdır. Bu yönetmeliğin takiben binalarda aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması için EN 15193 Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri standardı hazırlanmıştır. 2021 yılında güncellenen yeni versiyonu EN 15193-

1+A1 standardı, Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurulunun toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiş ve TS EN 15193-1+A1 standardı olarak yürürlüğe girmiştir. Standartta binaların aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem, mevcut binalar için, yeni veya yenilenecek binaların tasarımı esnasında değerlendirme amacı ile kullanılabilir. Bu standartta hacminde kullanılan aydınlatma sistemleri, lambalar, kontrol sistemleri, hacmin sahip olduğu açıklıkların ve cephe sistemlerinin özellikleri, coğrafik konum gibi çeşitli değişkenlerden yararlanılarak, bir hacmin ya da binanın aydınlatma enerjisi hesaplanabilmektedir [4]. Literatürde bu bağlamda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [5, 6, 7]. Yapılan bir çalışmada, İtalya'da, 9 farklı bina tipolojisinde, aydınlatma enerji gereksinimleri EN 15193-1 standardına göre değerlendirilmiş ve LENI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, flüoresan yapay aydınlatma kaynağının LED sisteme dönüşümü, LENI değerlerini en fazla etkileyen değişken olmuştur [8].

Bu çalışma kapsamında, Trabzon ili koşulları için bir ofis hacmi örneğinde çeşitli yapay ve doğal aydınlatma senaryoları geliştirilerek yıllık aydınlatma enerjisi performansı açısından değerlendirilmiştir. Enerji performans değerlendirmesi hedefi ile için EN 15193 Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri standardında önerilen yöntem kullanılmıştır. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve ofis hacmi örneği

için geliştirilen alternatiflerin etkinliği tartışılmıştır.

2. TS EN 15193-1+A1 BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI - AYDINLATMA ENERJİSİ GEREKSİNİMLERİ

Standard, binaların aydınlatma enerji gereksinimini yapma aydınlatma kurulu gücüne ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak mekânda sağlanan günışığı etkinliğine göre belirlenmesine imkân sağlamaktadır. TS EN 1593-1+A1 standardı kapsamında tanımlanan hesaplama yöntemine göre bir binada ele alınan herhangi bir hacim veya bölümde aydınlatma amacıyla tüketilen yıllık enerji miktarı aşağıda verilen Eşitlik 1 ile hesaplanabilmektedir.

$$W_{L,t} = \{ (P_n \times F_c) \times F_o [(t_D \times F_D) + t_N] \} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (1)$$

$W_{L,t}$: Yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi (kWh)

P_n : Bir hacim veya bölüme ilişkin tüm lambaların toplam kurulu aydınlatma gücü (W)

F_c : Sabit aydınlık faktörü

t_D : Gün saatleri kullanımı (h)

F_o : Kullanıma bağlı faktör

F_D : Günışığı bağımlılık faktörü

t_N : Gün saatleri dışında kullanım (h)

Standard kapsamında yapma aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesinde iklim, yönlenme, sabit ve hareketli güneş kontrol elemanı varlığının hesaplamalara dâhil edilmesi ile iç mekânda günışığı

etkinliği detaylı bir şekilde belirlenebilmektedir. Kullanılan yöntemde yer alan günışığı bağımlılık faktörü (F_D), hacimlerin günışığından yararlanması durumunda gün saatleri içinde aydınlatma enerjisi gereksiniminde gerçekleşebilecek azalmayı ifade etmektedir. Bu değer günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,C}$) değerlerine bağlı olarak belirlenmektedir [9,10]. Günışığı sağlama faktörünün belirlenmesi için çeşitli indislerin hesaplanması gerekmektedir. Ele alınan hacimdeki pencere boyutları, hacim boyutları, pencere önünde engel bulunması gibi durum özellikleri incelenerek, pencere açıklığına ilişkin günışığı faktörü hesaplanmakta ve bu değere göre günışığı etkisi, “güçlü, orta, zayıf, hiç” olarak sınıflandırılmaktadır. Günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,C}$) değeri, günışığı bağımlılık faktörüne (F_D) etki eden diğer bir faktördür. Yapma aydınlatma kontrol sisteminin sağlayacağı enerji etkinliğini belirten katsayıdır. F_D , C değerleri, yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel veya otomatik olması durumuna ve günışığı etkisine bağlı olarak hesaplamalara katılmaktadır. [9,10]. Sonuç olarak F_D (*Günışığı bağımlılık faktörü*) değeri Eşitlik 2’ye göre hesaplanmaktadır:

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C}) \quad (2)$$

3. YÖNTEM

3.1. Çalışma Mekânının Tanıtılması

Çalışmada Trabzon'da yer aldığı düşünülen iki kişilik bir ofis mekânı ele alınmaktadır. Hacmin boyutları, literatürde belirtilen büro tipleri ve mimari tasarımda kullanılan aks ölçüleri dikkate alınarak 1.25 lik modül boyutu kullanılarak oluşturulmuştur. Boyutları 3.75 x 5 x 3 m belirlenen mekânın %40 saydamlık oranında bir yan al açıklığı olduğu kabul edilmiştir. Mekâna ait iç yüzey yansıtma katsayıları, TS EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma, İç Çalışma Mekânları başlıklı standartta önerilen aralıklarda olacak şekilde zemin, duvar ve tavan için sırasıyla 0.20, 0.50, 0.70 olarak alınmıştır. Özellikleri belirlenen ofis hacmi, Dialux evo simülasyon programında, ofis mekanları için uygun olabilecek donatı,

malzemeler ve renk şeması doğrultusunda modellenmiştir (Şekil 1).

3.2. Yapay Aydınlatma Senaryolarının Geliştirilmesi

Standard, binaların aydınlatma enerji gereksinimini yapma aydınlatma kurulu gücüne ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Gün içinde enerji tüketimleri fazla olan ofis hacimlerinde kullanıcı performansı ve verimli çalışmanın artırılması ve görsel konfor koşullarının kullanıcı performansına olumlu katkı sağlaması için enerji hesaplamalarında ilk sorulan soru yapay aydınlatmanın ofis binalarında görsel konfor koşullarını yeterince sağlayıp sağlamadığıdır. Görsel konfor koşulları açısından sağlanması gereken değerler TS EN 12464-1 standardı referans alınarak belirlenmiştir (Tablo 1) [11].



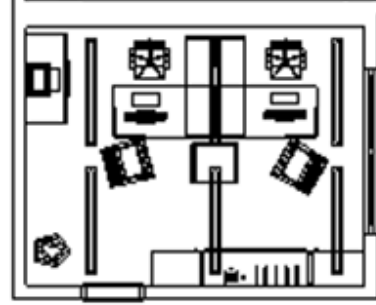
Şekil 1. Ofis hacmi Dialux-evo model

Tablo 1. TS EN 12464-1 uyarınca sağlanması önerilen aydınlatma koşulları

Eylem türü	E_{ort} (lm/m ²)	U_o (E_{min}/E_{ort})	UGR
Bilgisayar destekli çalışma birimleri (CAD WorkStations)	≥ 500	≥ 0,6	≤19

Dialuxevo programında yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen veriler Tablo 2’ de gösterilmektedir.

Bu bağlamda yapay aydınlatma için geliştirilen iki alternatif bu kriterleri sağlayacak ürünler olarak daha önce yapılmış olan çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçiminde, mikroprizmatik yansıtıcılı ürünler olarak seçilmiştir [12]. Yapay aydınlatma düzeni, Şekil 2’de verilen plan üzerinde görüldüğü gibi masanın kesişim aksında ve koridor akslarında, pencere aksına ve bakış doğrultusuna paralel olarak tasarlanmıştır. Hesaplamalar 0,80 m yüksekliğinde çalışma düzleminde



Şekil 2. Aygıt yerleşim planı

Tablo 2. Yapay aydınlatma aygıt özellikleri ve görsel konfor sonuçları

Işık yeğinlik dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık Akısı / lm	Lamba Gücü/W	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥ 500 lux	Düğünlük $\geq 0,6 U_0$	Kamaşma < 19 UGR
		Zumbel Mlevo EA LED3600-840 M600L12 LDO KA WH [STD]	3540	30	LED	600	0,71	15,1
		RIDI WL 221P	2688	45	Flüore san	500	0,75	17,8

3.3. Bütünleşik Aydınlatma Senaryolarının Geliştirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan ofis hacmi için yapay ve doğal aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Ofislerde mekânlardaki aydınlık seviyesine ve ışığın dağılımına etki eden tasarım

parametreleri doğrultusunda doğal aydınlatma değişkenleri belirlenmiştir. Herhangi bir dış engelin olmadığı varsayılan ofis hacmine ait doğal aydınlatma senaryoları; pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, yönelme ve güneş kontrol elemanı değişkenlerine bağlı olarak geliştirilmiştir. Yatay güneş kontrol elemanının tasarımında, güneş

ışınlarının Trabzon'a en dik geldiği gün ve saatten yararlanılmıştır. Bunun için, 21 Haziran saat 12.00'de Trabzon'da güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısına ait veriler Kandilli Rasathanesi Güneş Fiziği bölümünden alınmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda Trabzon İli için gölgeleme istenen tarihlerde profil açısı 72°C olarak belirlenmiştir. Bu profil açısına göre yapılan çizimler sonucunda yatay gölgeleme elemanın boyutuna 57.5 cm olarak karar verilmiştir. TS EN 15193-1+A1:2021 standardında bir binanın aydınlatma sistemlerinin otomatik olarak

kontrol edilebilmesi, enerji tüketiminin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bir hacmin aydınlatma kontrolünün otomatik veya manuel olarak tasarlanıp tasarlanmadığı hesaplamalarda belirleyici etkiye sahiptir. Bu bağlamda, enerji analizleri için iki farklı kontrol senaryosu oluşturulmuştur. Yapay aydınlatma ve doğal aydınlatma sistemlerinin belirtilen standart doğrultusunda optimum bütünleştirilmesi ve enerji analizlerinin yapılması üzerine belirlenen bütünleşik aydınlatma senaryoları Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Bütünleşik Aydınlatma Senaryoları

Yapay Aydınlatma		Doğal Aydınlatma			
Kontrol sistemi	Işık Kaynağı – Lamba Gücü	Pencere boyutları (w x h) cm	Camın geçirgenliği	Yönelme	Güneş Kontrol elemanı
Mantel / açma-kapama	Y1: 30W- LED	P1:240x180	G1=0,65	Güney	K1: Mevcut değil
Otomatik	Y2: 45W-Flüoresan	P2:360x120	G2=0,78	Kuzey	K2: Dış yatay saçak (57,5 cm)
			G3=0,90		K3:İç jaluzi

3.4. Hesap Yöntemine Göre Ofis Hacminde Aydınlatma Enerjisi Gereksinimlerinin Hesaplanması

Bu bölümde ele alınan ofis hacmi için aydınlatma enerjisi gereksiniminin hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2'de tanıtılan Eşitlik (1) uyarınca her bir senaryo için hesaplamalar yapılmıştır.

Toplam Kurulu Aydınlatma Gücü (P_n) Hesaplanması: Çalışma kapsamında oluşturulan yapay aydınlatma alternatiflerine ait görsel konfor değerlendirmeleri Bölüm 3.2'de belirtilmiştir. Bu aygıtlardan biri 30 W

gücünde, LED ışık kaynağına sahip ZumbotelMlevo EA modeli, diğeri 45W

gücünde flüoresan ışık kaynağına sahip RIDİ WL 221P modeli olarak belirlenmiştir. Ele alınan hacimde iki farklı güçteki aygıtlara (Y1,Y2) ilişkin kurulu güç (Watt) hesaplanmıştır. Buna göre Y1=180W, Y2=270W olarak toplam kurulu güç değerleri hesaplanmıştır.

Sabit Aydınlatma Faktörü (F_c) Hesaplanması: Bu değer, bir hacimde toplam kurulu aydınlatma gücünün sabit aydınlık kontrolüne bağlı tüketimine ilişkin faktördür ve hacimlerde loşlaştırılabilir aydınlatma sistemi

kontrolü olması durumunda hesaba katılmaktadır. Burada loşlaştırmaya bağlı bir aydınlatma kontrolü ele alınmadığı için sabit aydınlık faktörü (F_C) değeri 1 (etkisiz) kabul edilmiştir.

Gün Uzunlukları ve Çalışma Saatleri İlişkisi t_D ve t_N Değerlerinin Hesaplanması: Hesap yöntemine göre bina kullanım saatlerine bağlı olarak yıllık t_D ve t_N değerlerinin belirlenmesi standartta bina tipolojilerine göre hazırlanmış tablodan seçilebilmektedir. Bu çalışmada seçilen bina tipolojisini ofis olması nedeni ile (t_D) yıllık gün saatleri kullanımı 2250 (t_N) yıllık gün saatleri dışında kullanım 250 olarak belirlenmiştir.

Kullanıma bağlı Faktörün (F_0) Hesaplanması: Çalışma kapsamında incelenen hacim için kullanıma bağlı değerlerin hesaplanması, aydınlatma kontrolüne bağlı faktör ve mekânların kullanım oranları dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Buna göre mekânların kullanılmama oranını belirten yokluk faktörü (F_A) değerleri ve mekânın sahip olduğu varsayılan aydınlatma kontrol sisteminin ilişkilendirildiği tablo ile kullanıma bağlı faktör (F_0) değerleri belirlenmektedir. Çalışmada geliştirilen hacim iki kişilik bir ofisi temsil etmektedir ve standarda belirtilen tablodan (F_A) değeri 0.30 olarak belirlenmiştir. Kontrol sisteminin ilişkilendirilmesi ile (F_0) değeri kontrol sisteminin manüel olması durumunda 0.900, otomatik olması durumunda 0.800 olarak seçilmiştir.

Gün Işığı Bağımlılık Faktörü (F_D) Hesaplanması: Yıllık toplam aydınlatma enerjisinin hesaplanması için günışığı bağımlılık faktörü (F_D)'nün belirlenmesi

gerekmektedir. Günışığı bağımlılık faktörü, yapma aydınlatma sistemlerinin kontrol özelliğine ve günışığı sağlama faktörüne bağlıdır. Günışığı sağlama faktörü hacmin bulunduğu coğrafi konumun enlem ve boylam değerlerine, günışığı faktörünün sınıfına ve istenen ortalama aydınlık düzeyine göre değişim göstermektedir. Geliştirilen bu çalışmada, Trabzon İline ait enlem ve boylam değerleri ($41^\circ 0' 19''$ Kuzey, $39^\circ 43' 4''$ Doğu) ile Trabzon İli için Tipik Meteorolojik Yıl olarak derlenmiş verilerden elde edilen dış aydınlık değerleri doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Ofis hacimleri için istenen ortalama aydınlık düzeyi 500 lux olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerler doğrultusunda her senaryo için Gün Işığı Bağımlılık Faktörü (F_D) hesaplanmış ve formül içinde kullanılmıştır.

3.5. Senaryolara İlişkin Toplam Aydınlatma Enerjisi Tüketim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ele alınan ofis hacmi için geliştirilen yapay ve doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimleri 144 farklı senaryo için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yer alan her bir senaryoda, oluşturulan 6 değişkenden 5 tanesi sabit tutularak 1 tanesi değiştirilmiştir. Bu işlem her senaryo için yinelenmiştir. Çalışmada önerilen enerji hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük değer 219 kwh en yüksek değer 520 kwh olarak hesaplanmış ve bu senaryolara ilişkin değişkenler Tablo 4'de belirtilmiştir.

Tablo 4. En düşük ve en yüksek hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri

Yapay Aydınlatma Değişkenleri		Doğal Aydınlatma Değişkenleri				Enerji kwh
Lamba türü	Kontrol sistemi	Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	
LED (30W)	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	219
Flüoresan (45 W)	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	520

Ofis hacim için geliştirilen aydınlatma tasarım parametreleri ve standartta belirtilen yöntem ile yapılan hesaplamalar sonucunda edilen enerji değerleri arasında korelasyon değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde SPSS analiz programı ile Pearson Korelasyon Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient) hesaplaması kullanılmıştır. Bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanımlanan değişkenlerin, TS EN 15193-1 standardında önerilen hesaplama yöntemi ile elde edilen yıllık aydınlatma enerji gereksinimlerini (kWh) farklı düzeylerde etkiledikleri görülmüştür. Tablo 5’de ofis hacminde yapma aydınlatma sistemi, kontrol sistemi, pencere biçimi, yönelme, camın ışık geçirgenliği ve güneş kontrol elemanı parametreleri ile Eşitlik 1 uyarınca yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen aydınlatma enerjisi gereksinimleri

(kWh) arasındaki anlamlı ilişkileri gösteren Pearson Korelasyon katsayısı mutlak değeri (r) ve anlamlılık düzeyi (p) değerleri belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yapma aydınlatma sisteminin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etki eden parametre olduğu görülmüştür. Geliştirilen değişkenler ile enerji değerlerinin ilişkilerine bakıldığında lamba gücü ve lamba türü değişkenleri ile yıllık aydınlatma enerji gereksinimi değerleri arasında %99 güven düzeyinde korelasyon görülmüştür ($p < 0.01$). Kontrol sistemi ve yönelme değişkenleri ile yıllık aydınlatma enerji gereksinimi değerleri arasında ise %95 güven düzeyinde korelasyon görülmüştür ($p < 0.05$). Güneş kontrol elemanı, pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliği parametrelerinin enerji gereksinimini daha düşük düzeyde etkilediği belirtilmiş ve anlam düzeyinde bir ilişki bulunmamıştır.

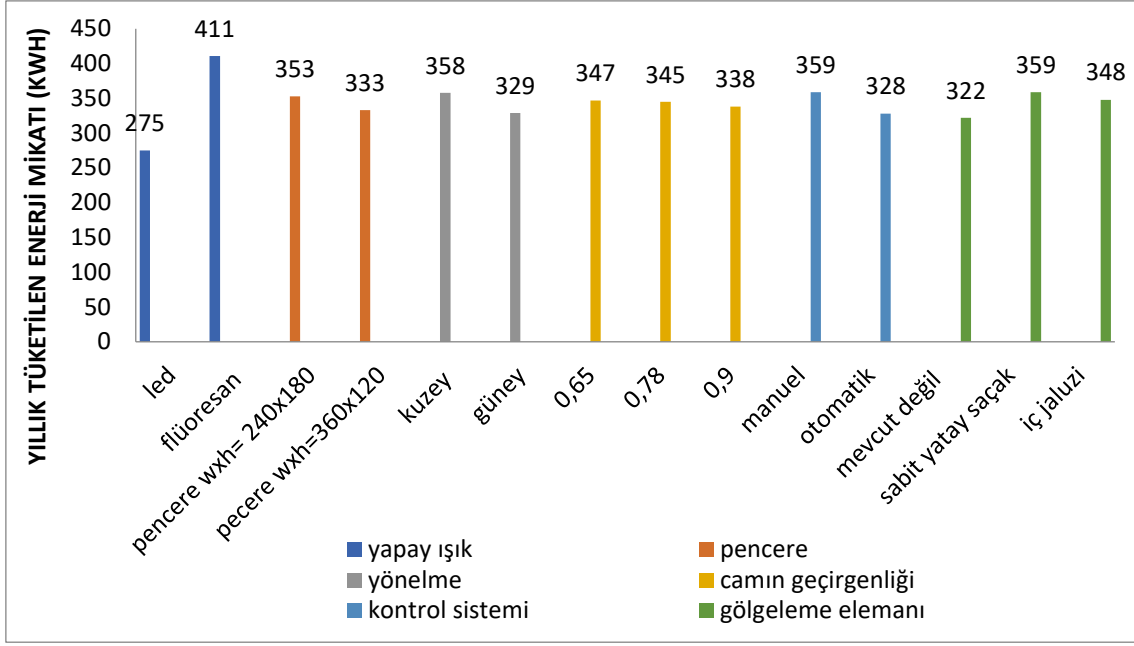
Tablo 5. Bütünleşik aydınlatma senaryoları ile yıllık toplam aydınlatma enerjisi arasındaki anlam ilişkileri

Yapay aydınlatma parametreleri	Korelasyon katsayısı Anlamlılık değeri	TS EN 15193-1+A1 Yıllık Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi
Lamba Gücü	r	.901**
	p	.000
Lamba türü	r	.901**
	p	.000
Kontrol Sistemi	r	-.209*
	p	.012
Doğal aydınlatma parametreleri	Korelasyon k. Anlamlılık d.	
Pencere biçimi	r	-.134
	p	.108
Camın ışık geçirgenliği	r	-.051
	p	.545
Yönelme	r	.193*
	p	.021
Güneş kontrol elemanı	r	.141
	p	.091

p<0.01	p< 0.05	0.1 < p< 0.05	0.7 < p<0.1
--------	---------	---------------	-------------

Önerilen enerji hesap yöntemi ile bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan yapma aydınlatma sistemi, kontrol sistemi, pencere biçimi, yönelme, camın ışık geçirgenliği ve güneş kontrol elemanı parametrelerine bağlı olarak hesaplanan yıllık aydınlatma enerji gereksinim değerleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Şekil 3’de hesaplanan sonuçlar incelendiğinde alternatifler arasında en büyük farkın LED ve Flüoresan ışık kaynakları arasında olduğu görülmüştür. Yapma aydınlatma tasarımının LED lamba kullanımı ile gerçekleştirildiği durumda, flüoresan lamba kullanımına oranla %33 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Kontrol sisteminin otomatik olması manuel seçeneğine göre

%9 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Gölgeleme elemanları arasındaki fark dikkate alındığında, gölgeleme elemanının mevcut olmadığı durumda %10 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır. Gölgeleme elemanının yatay saçak olması en fazla enerji tüketiminin görüldüğü seçenek olmuştur. Yönelme parametresi incelendiğinde pencere açıklıklarının güney cephesinde yer almasının kuzey cephesine göre enerji tüketiminde %8 oranında düşüş sağladığı görülmektedir. Pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliği parametreleri dikkate alındığında, alternatifler arasında yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri arasında değişimler olmakla beraber farkların çok düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimle

4. SONUÇ

Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve maliyetleri nedeniyle, aydınlatma sistemi tasarımlarında enerji etkinliğinin gözetilmesi konusu son derece önemlidir. Binalarda aydınlatma enerjisinin etkin kullanımı bina enerji tasarrufunda önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle ofis mekânları gibi uzun süreli ve gün boyu kullanılan hacimlerde, harcanan aydınlatma enerjisinin optimum düzeyde tutulması hedefi ile doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin bu amaca yönelik tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında Türkiye'nin Trabzon İli koşulları için bir uygulanma gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen ofis hacmi için yapay ve doğal aydınlatma sistemlerinin optimum birleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Yapay ve doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmış ve enerji performans değerlendirilmesi

gerçekleştirilmiştir. Yapay aydınlatma alternatiflerinin belirlenmesinde görsel konfor koşulları dikkate alınmıştır. Alternatiflere ait görsel konfor performansının değerlendirilmesi, yapay aydınlatma sistemi ile sağlanan aydınlık düzeyinin uygunluğu, yapay aydınlatma sistemi ile sağlanan düzgünlüğün uygunluğu ve yapay aydınlatma sisteminin kamaşma açısından uygunluğunun belirlenmesi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Belirtilen kriterler sonucu elde edilen veriler TS EN 12164-1 standardında yer alan sınır değerler kapsamında değerlendirilmiştir.

Oluşturulan doğal ve yapay aydınlatma tasarımı parametrelerinin enerji performans değerlendirmeleri için bina kullanıcılarına ilişkin parametreler, binanın kullanım saatleri ve binanın yapay ve doğal aydınlatma sistemine ait özellikleri dikkate alan TS EN 15193-1+A1:2021 standardında önerilen

hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada önerilen enerji hesap yöntemi ile elde edilen veriler doğrultusunda bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan değişkenlerin yıllık aydınlatma enerji gereksinimleri üzerindeki etkilerini görmek üzere korelasyon değer tablosu oluşturulmuştur. Buradaki sonuçlar incelendiğinde, yapay aydınlatma sisteminin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etkileyen parametre olduğu görülmüştür. Aydınlatma enerji tüketiminin minimize edilerek enerji etkinliğinin artırılması ve yapma aydınlatma sisteminin kuruluş yükünün azaltılması, iç mekân gün ışığı etkinliğini çeşitli tasarım kararları ile artırarak mümkün olabilmektedir. Çalışmada oluşturulan senaryolarda, doğal aydınlatma değişkenleri ile toplam enerji yükünün ne şekilde

düşürülebileceği yönünde veriler elde edilmiştir. Doğal aydınlatma sistemi değişkenleri arasından yönelme parametresi yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etkileyen parametre olarak grafikte yer almıştır. İkinci derecede önem düzeyine sahip parametre güneş kontrol elemanı olarak görülmüştür. Pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliğinin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en düşük düzeyde etkilediği görülmüştür. Tüm bu değerlendirmeler sonucu elde edilen veriler, ofislerde görsel konfor ve optimum enerji kullanımına ilişkin bir yaklaşım oluşturmakta olup, aydınlatma tasarımlarında uygun tasarım seçeneklerinin oluşturulması ya da bir aydınlatma düzeninin iyileştirilmesi sürecinde kullanılabilir olmayı hedeflemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özdeniz, D., Ofislerde Aydınlatma Otomasyonu. https://www.emo.org.tr/ekler/0d965fca19f20cc_ek.pdf 24 Mart 2023.
- [2] Perdahçı, C. ve Hanlı, U., 2010. Verimli Aydınlatma Yöntemleri, 3E Electrotech, Mart.
- [3] Kutlu, R., 2019. Bir Tasarım Ögesi Olarak Günışığı, The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication- TOJDAC 9, 2, 226-233.
- [4] T.S.E., 2021. Binalardaki Enerji Performansı-Aydınlatma ile ilgili Enerji Gereklileri – Bölüm1 :Özellikler, ModülM9 : TS EN 1593-1 +A1. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [5] Ünnü, S.Y., Şener,F., ve Yener, A.K., Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesinde Kontrol Sistemlerinin Rolü.

https://www.emo.org.tr/ekler/2c98423fcd965fca19f20cc_ek.pdf .16 Eylül 2021.

- [6] Kılıç, Z. A., Harputoğlu, E., R. ve Yener, A., K., 2021. Binalarda Günışığı Etkinliğine bağlı Aydınlatma Enerji Gereksiminin Belirlenmesi: TS EN 1593-1:2017 ve İklim Dayalı Günışığı Modeli, 13. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 6-7 Ekim, BildirilerKitabı, 151-159.
- [7] Karatay, M. ve Günaydın, İ.T., 2021. Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Yapma Aydınlatma Sistemi ve Farklı İklim Bölgeleri Üzerinden Analizi, Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Nautral&Medical Sciences, 8,17,95-113.
- [8] Pompei, L., Blaso, L., Fumagalli, S. ve Bisegna, F., 2022. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 1593-1:2017, Energy & Buildings, 263, 112025.

[9] Yener, A. K., 2011.Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesi için bir Yöntem: Bep-tr, X. Ulusal Tesistat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir, 829-836.

[10] Yener, A., K., Sümengen Ö., Kaçel, S. ve Kılıç, A., 2019.Aydınlatma enerji performansının belirlenmesinde yeni standart: TS EN 15193-1 <https://pldturkiye.com/aydinlatma-enerji-performansinin-belirlenmesinde-yeni-standart-ts-en-15193-1/PLD>

[Türkiye](#) Mimari Aydınlatma Tasarımı Portalı. 21 Ocak 2021.

[11] T.S.E., 2014. Işık ve Aydınlatma – İş Yerlerinin Aydınlatılması- Bölüm1: TS EN 12464-1. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

[12] Gül, Ö. E. ve Kavraz, M., 2021. Ofislerde Yapay Aydınlatma Tasarım Parametrelerinin Görsel Konfor ve Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi, 13. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 6-7 Ekim, Bildiriler Kitabı, 135-142.