



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI/YEŞİL BİNALARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE BİR KONTROL SİSTEMİ ÖNERİSİ

Ahmet Can CEVAHİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKILLI/YEŞİL BİNALARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE BİR KONTROL SİSTEMİ ÖNERİSİ

Ahmet Can CEVAHİR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2017, 89 Sayfa

Jüri
Yrd.Doç.Dr. Akif DURDU
Yrd.Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Yrd.Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

Dünya üzerindeki enerji üretimi için kullanılan fosil kaynaklarının ömrü gün geçtikçe kısalmaktadır. Bu yüzden ülkelerin çoğunluğu enerji verimliliğinin sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması için çeşitli politikalar oluşturmuşlardır. Enerji tüketiminin gerçekleştiği yapıların başında binalar gelmektedir. Binalar, konutlar ile birlikte toplam tüketilen enerji miktarının %40'lık bir kısmını kapsamaktadır. Bu oranın içerisinde çeşitli alt sistemler bulunmaktadır. Bu alt sistemlerden havalandırma ve iklimlendirme sistemleri %45-50'lik bir oranla en çok enerjinin tüketildiği yapıların başında gelmektedir. Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerini takiben aydınlatma sistemleri %30'luk bir oranla enerjinin en çok tüketildiği ikinci alt sistemdir. Eğer bu sistemler üzerinde enerji tasarruf önlemleri alınırsa %30'luk bir enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Avrupa'da yayınlanan 'EN 15193-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri' standardı ve Türkiye'de yayınlanan 'Binalarda Enerji Performansının Hesaplanması Yöntemi' baz alınarak beş farklı şehir ve beş farklı bina türünde çeşitli kontrol sistemlerine göre tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi yardımıyla 'Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi' bulunarak binanın hangi enerji sınıfında olduğuna karar verilmiştir. Bu karar sonucunda binaların aydınlatılmasında kullanılan aydınlatma kontrol sistemlerinin verimliliği incelenmiş ve hangi kontrol sisteminin daha verimli olduğuna karar verebilen bir kontrol sistemi önerisi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma Enerjisi Verimliliği, Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi, Aydınlatma Enerjisi Verimlilik Sınıfı, Binalarda Enerji Performansı, Binalarda Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri, Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi, EN 15193

ABSTRACT

MS THESIS

INSPECTION OF THE EFFECTS OF SMART / GREEN BUILDINGS ON ENERGY EFFICIENCY AND PROPOSAL OF A CONTROL SYSTEM

Ahmet Can CEVAHİR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

Advisor: Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2017, 89 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Akif DURDU
Asst.Prof.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Asst.Prof.Dr. Mümtaz MUTLUER

The life of the fossil resources used for energy production on Earth is getting shorter day by day. Therefore, the majority of countries have established various policies for the provision of energy efficiency and the use of renewable energy sources. At the beginning of the buildings where the energy consumption takes place are the buildings. The buildings, together with the houses, cover 40% of the total amount of energy consumed. There are various subsystems within this ratio. From these subsystems, ventilation and air conditioning systems are at the beginning of structures where the most energy is consumed with a rate of 45-50%. Following the ventilation and conditioning systems, lighting systems are the second subsystem with the highest consumption of energy at a rate of 30%. If energy saving measures are taken on these systems, there is a 30% energy saving potential. In this thesis study, the total amount of lighting energy consumed according to various control systems in five different cities and five different building types will be calculated on the basis of the 'EN 15193-Lighting Energy Requirement' standard published in Europe and the 'Calculation Method of Building Energy Performance' published in Turkey. With this calculated annual illumination energy, 'Lighting Energy Numeric Indicator' will be determined and it will be decided which energy class the building is in. As a result of this decision, the efficiency of the lighting control systems used to illuminate the buildings will be examined and a control system proposal will be made by deciding which control system is more efficient.

Keywords: Lighting Energy Efficiency, Lighting Energy Numeric Indicator, Lighting Energy Productivity Class, Energy Performance in Buildings, Illumination Energy Requirements in Buildings, Energy Performance Calculation Method in Buildings, EN 15193

ÖNSÖZ

Günümüzde enerji ihtiyacımızı karşılamak için kullanılan fosil kaynaklarında küresel ısınma ve çeşitli sebeplerden dolayı ciddi bir şekilde düşüş meydana gelmiştir. Enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan petrol, doğalgaz ve kömür gibi enerji rezervlerinin ortalama olarak 100-150 yıl içerisinde tükeneceği öngörülmektedir. Bundan dolayı Avrupa Birliği ve çeşitli ülkeler enerji tasarrufu sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi gerçekleştirmek için çeşitli politikalar oluşturmaktadırlar. Bu politikalardan biri Avrupa Birliği ülkeleri tarafından oluşturulan 'Binalarda Enerji Performansı Direktifi'dir. Bu direktife göre Avrupa'da bulunan ülkeler arasında ortak bir enerji politikası oluşturulmuş ve enerji verimliliğinin sağlanması için çeşitli standartlar meydana getirilmiştir. Bu standartlardan birisi 'EN 15193-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri' standardıdır. Bu standarda göre aydınlatma yapılacak olan binanın toplam kurulu aydınlatma gücü, günışığı bağımlılık faktörü, kullanıma bağlı faktör, gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süresi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak çeşitli binalarda tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanabilmektedir. Türkiye'de ise Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde hızlanan enerji verimlilik politikası 2007 yılında 'Enerji Verimliliği Kanunu' ile resmileşmiştir. Bu kanunu takiben Avrupa'da yayınlanan direktif baz alınarak 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği' oluşturulmuştur. Bu yönetmelikle beraber binalarda tüketilen enerji miktarını hesaplamak için bir hesaplama metoduna ihtiyaç duyulmuştur. Bu hesaplama metodu ihtiyacı Avrupa'da kabul edilen EN 15193 standardı baz alınarak hazırlanan 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ' ile karşılanmıştır. Bu hesaplama yöntemi yardımıyla Türkiye koşullarında yer alan binalar için yıllık tüketilen çeşitli enerji sistemlerinin enerjisi hesaplanabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ise 'EN 15193' standardı ve 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi' yardımıyla beş farklı bina türü ve beş farklı şehir için çeşitli kontrol sistemlerine göre toplam tüketilen yıllık aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan aydınlatma enerjisi miktarları yardımıyla aydınlatılmış olan bölgenin alanına bağlı olarak 'Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi' bulunarak kullanılan aydınlatma kontrol sistemlerinin hangi enerji verimlilik sınıfında yer aldığı bulunmuş ve hangi kontrol sisteminin kullanılmasının enerji verimliliği açısından daha olumlu olduğuna karar verilerek bir kontrol sistemi önerisi yapılmıştır.

Ahmet Can CEVAHİR
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **8**

3.1. Hesaplama Yöntemleri 9
3.1.1. Hızlı yöntem 9
3.1.2. Kapsamlı yöntem 11
3.1.2.1. Toplam aydınlatma enerjisinin hesaplanması 12
3.1.2.2. Toplam kurulu aydınlatma gücünün hesaplanması 14
3.1.2.3. Kullanıma bağlı faktörün hesaplanması 17
3.1.2.4. Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanması 20

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **42**

4.1. Beş Farklı Bina Tipi İçin Toplam Kurulu Aydınlatma Gücünün Hesaplanması 43
4.2. Gün Saatleri Kullanımı (t_D) ve Gün Saatleri Dışındaki Kullanım (t_N) Sürelerinin Hesaplanması 46
4.3. Günışığı Bağımlılık Faktörünün Hesaplanması (F_D) 50
4.4. Kullanıma Bağlı Faktörün Hesaplanması (F_O) 53
4.5. Beş Farklı Şehir ve Bina Türüne Ait Kontrol Sistemlerine Göre Değişen Yıllık Tüketilen Aydınlatma Enerjisi Miktarının Hesaplanması 54

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **62**

5.1 Sonuçlar 62
5.2 Öneriler 64

KAYNAKLAR **70**

EKLER **72**

ÖZGEÇMİŞ **80**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

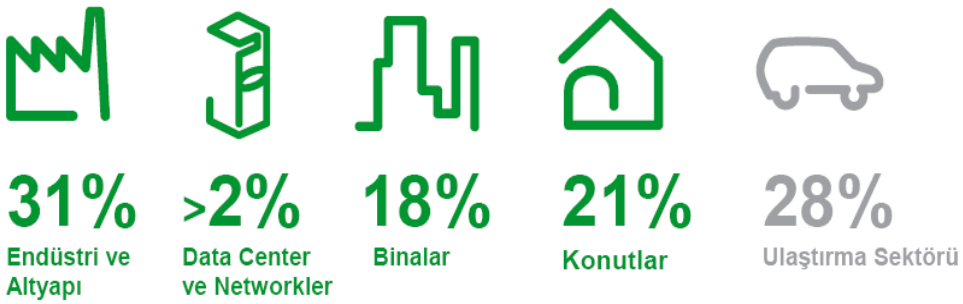
A:	Binanın toplam kullanım alanı (m^2)
a:	Dikdörtgen hacmin derinliği (m)
a_{fds}, b_{fds}:	$F_{D,S}$ değerinin hesaplanması için gerekli katsayılar
a_d:	Günışığından yararlanan bölgenin derinliği (pencereye dik uzunluk) (m)
A_D:	Günışığından yararlanan yatay çalışma düzleminin toplam alanı (m^2)
A_{daire}:	Konut daire alanı (m^2)
$A_{D\ duvar1}$:	Günışığından yararlanan yatay çalışma düzleminin toplam alanı (m^2)
$a_{d\ duvar1}$:	Günışığı bölgesinin derinliği (duvar 1 için) (m)
a_{dort}:	Günışığı bölgesinin ortalama derinliği (m)
A_{Dkes}:	Günışığından yararlanan yatay çalışma düzleminin kesişen alanı (m^2)
A_{DT}:	Günışığından yararlanan toplam yatay çalışma düzleminin alanı (m^2)
AESG:	Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2.yıl)
b:	Dikdörtgen hacmin genişliği (m)
b_d:	Günışığından yararlanan bölgenin uzunluğu (m)
D:	Günışığı faktörü (%)
D_C:	Karkas cephe açıklığı için günışığı faktörü (%)
ÇS:	Günlük çalışma saatleri süresi (h)
ÇS1:	Çalışma saati başlangıcı
ÇS2:	Çalışma saati bitişi
$E_{hesaplanan}$:	Bir hacim için hesaplanan aydınlık düzeyi (lux)
$E_{istenen}$:	Bir hacim için istenen aydınlık düzeyi (lux)
EA_{bina}:	Karşı bina engel açısı (º)
EA_{fin}:	Düşey eleman engel açısı (º)
F_A:	Yokluk Faktörü
F_C:	Sabit aydınlık faktörü
F_D:	Günışığı bağımlılık faktörü
$F_{D,n}$:	Bir hacim veya bölüme ilişkin günışığı bağımlılık faktörü
$F_{D,C,n}$:	Bir n bölümüne ilişkin günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol faktörü
F_{DS}:	Günışığı sağlama faktörü
$F_{D,S,n}$:	Bir n bölümüne ilişkin günışığı sağlama faktörü
F_O:	Kullanıma bağlı faktör
F_{OC}:	Kullanıma bağlı aydınlatma kontrol sistemi faktörü
GU:	Gün uzunluğu (h)
GU1:	Güneş doğuş saati
GU2:	Güneş batış saati
h_{At}:	Avlu veya atrium yüksekliği (m)
h_{Li}:	Lentonun yerden yüksekliği (m)
$h_{çd}$:	Çalışma düzleminin yerden yüksekliği (m)
h_{pen}:	Pencere yüksekliği (m)
I_{De}:	Derinlik indisi
I_O:	Engel indisi, engel için düzeltme katsayısı
$I_{O,CA}$:	Avlu veya atrium için düzeltme katsayısı
$I_{O,OB}$:	Lineer karşı engel için düzeltme katsayısı
$I_{O,GDF}$:	Camlı çift cidarlı cepheler için düzeltme katsayısı
$I_{O,OV}$:	Saçak için düzeltme katsayısı

$I_{O,VF}$: Düşey elemanlar için düzeltme katsayısı
I_T: Geçirgenlik indisi
k: Hacim indisi
k_1: Pencere doğramasına ilişkin faktör
k_2: Cam kirliliğine ilişkin faktör
k_3: Cepheye dik gelmeyen ışık için faktör
$k_{AT,2}$: Atrium çatısı cam kirliliğine ilişkin faktör
$k_{AT,3}$: Atrium çatısı dik gelmeyen ışık için faktör
$k_{GDF,1}$: Camlı çift cidarlı cepheler için doğramaya ilişkin düzeltme katsayısı
$k_{GDF,2}$: Camlı çift cidarlı cepheler için cam kirliliğine ilişkin düzeltme katsayısı
$k_{GDF,3}$: Camlı çift cidarlı cephelerde cepheye dik gelmeyen ışık için faktör
n_1: Hacim veya bölümde kullanılan aynı tip lambaların sayısı
P_i: Aygıt gücü (W)
P_n: Bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü (W)
P_p: Aygıt parazit gücü (W)
P_{ci}: Aygıtların otomatik kontrolüne ilişkin parazit güç, lambaların kapalı olduğu süre için (W)
P_{ei}: Acil durum aydınlatması şarj gücü (W)
P_{pi}: Aygıta ilişkin parazit güç (W)
P_{pc}: Toplam kurulu parazit güç (W)
P_{pn}: Bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü (W)
P_{em}: Bir hacim veya bölümde acil durum aydınlatmasına ilişkin toplam şarj gücü (W)
P_{HI}: Aydınlatma sisteminin harcadığı hafta içi günlük güç (W)
P_{HS}: Aydınlatma sisteminin harcadığı hafta sonu günlük güç (W)
P_{toplam}: Konutlarda aydınlatma sisteminin harcadığı toplam güç (W)
Ø: Işık akısı (lm)
t: İşletim süresi (h)
t_D: Gün saatleri kullanımı (h)
t_e: Acil durum aydınlatması şarj süresi (h)
t_N: Gün saatleri dışında kullanım (h)
t_o: Yıllık işletim süresi (h)
t_p: Parazit güç kullanım süresi (h)
t_y: Standart yıl (h) (8760 h)
x_n: Pencere ve duvar arasındaki uzunluk (m)
w_{At}: Avlu veya atrium genişliği (m)
w_{I_d}: Avlu veya atriuma ilişkin derinlik indisi
W: Toplam yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh/yıl)
W_{AC}: Aydınlatma otomatik kontrolüne ilişkin yıllık parazit güç (kWh)
W_{bina}: Toplam yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh/yıl)
W_{EM}: Acil durum aydınlatmasına ilişkin yıllık parazit enerji (kWh)
W_K: Toplam konut alanları aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)
W_t: Toplam aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)
$W_{L,t}$: Aydınlatma için tüketilen toplam enerji (kWh)
W_L: Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh/yıl)
W_p: Yıllık parazit enerji tüketimi (kWh/yıl)
$W_{P,t}$: Aygıta ilişkin parazit enerji tüketimi (kWh)
W_{YIL}: Konutlarda yıllık toplam aydınlatma enerjisi (kWh)
w_{pen}: Pencere genişliği (m)
γ_{enlem}: Binanın bulunduğu yörenin enlem açısı (º)

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, binalarda gerekli olan aydınlatma seviyesi ve konfor koşullarından, endüstriyel tesislerde ise üretilen ürün ve elde edilen kar miktarından ödün vermeksizin toplam tüketilen enerji miktarından elde edilen tasarruf oranıdır.

Dünya üzerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynakları hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu fosil kaynaklarından petrolün yaklaşık olarak 50 yıl içerisinde, doğalgazın 100 yıl içerisinde, kömürün ise 150 yıl içerisinde tükeneceği öngörülmektedir (Koç ve Şenel, 2013). Bunun için ülkeler enerji tasarrufu sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi sağlanması için çeşitli politikalar oluşturmuşlardır. Enerjinin en çok tüketildiği sektörlerin başında %40'lık bir oranla binalar ve konutlar, bunu takiben %30'luk bir oranla endüstriyel tesisler gelmektedir. Enerji tüketim miktarını azaltmanın yanı sıra sera gazı ve CO_2 salınımlarını azaltarak küresel ısınma hızını bir miktar düşürmek gerekmektedir. Şekil 1.1'de çeşitli sektörlere göre enerji tüketim oranları gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Çeşitli sektörlere göre enerji tüketim oranları (Dinç, 2013)

Ülkemizde bina sektöründe %30, sanayi sektöründe %20 ve ulaşım sektöründe %15 olmak üzere önemli ölçüde enerji tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2008).

Binalarda enerji tasarrufunun sağlanması çok önemli bir konudur. %40'lık bir oranla binalar ve konutlar enerjinin en çok tüketildiği yapıların başında gelmektedir. Binalarda enerji tasarruf önlemlerinin alınması için Avrupa'da 2002 yılında "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" yayınlanmıştır. Bu direktif 4 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Türkeş ve Kılıç, 2004). Avrupa Parlamentosu ve Konseyi

tarafından kabul edilen bu direktif mevcut ve yeni yapılacak binalarda enerji performansı için ortak bir yöntem ve denetleme getirmek için oluşturulmuştur. AB'deki yaklaşık 100 milyon bina, birliğin enerji talebinin %40'lık bir bölümünü oluşturmaktadır ve karbondioksit salınımının da %40'lık bir kısmını gerçekleştirmektedir (Yorkan, 2009). Kyoto protokolüne göre karbondioksit salınımını azaltmayı taahhüt etmiş olan Avrupa Birliği "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" ile bu taahhüdü ve enerji tüketim miktarını azaltmayı hedeflemektedir (Anonymous, 2002). Avrupa Birliği tarafından alınan bu önlemler neticesinde 2010 yılı için taahhüt edilen %22 oranındaki enerji tasarrufu ve 44 milyon tonluk karbondioksit salınımında azalma taahhütleri büyük oranda gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2008). Türkiye'de ise Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde hızlanan enerji tasarruf politikası 2007 yılında resmileşmiştir. 2007 yılında kabul edilen 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu 2 Mayıs 2007 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin arttırılmasıdır. Bu kanunun kapsamı; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim, dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin arttırılmasına ve desteklenmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik usul ve esaslardır (Anonim, 2007).

Enerji Verimliliği Kanunu'nun 7.maddesinin 1.fıkrasının (ç) bendine göre mesken amaçlı kullanılan binalarda, ticari binalarda ve hizmet binalarında enerji performansına ilişkin usul ve esaslar Türk Standartları Enstitüsü ve Genel Müdürlük ile müştereken hazırlanarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak bir yönetmelikle düzenlenir. Bu kapsamda, Enerji Verimliliği Kanunu'nun 7.maddesinin 1.fıkrasının (ç) ve (d) bentlerine dayanılarak 2008 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik Avrupa Birliği tarafından yayınlanan "Binalarda Enerji Performansı Direktifi" temel alınarak oluşturulmuştur. Bu yönetmeliğin amacı, dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve

uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir. Bu yönetmelik, mevcut ve yeni yapılacak konut, ticari ve hizmet amaçlı kullanılan binalarda uygulanmak üzere; mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı ve elektrik tüketen binaların sabit ekipmanları konularındaki asgari performans kriterlerine, enerji performans hesaplama usullerine, enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına, binaların kontrolleri ve enerji kimlik belgesini hazırlayacak ve denetleyecek onaylanmış bağımsız yetkili kuruluşların yetkilendirilmesine ve yetkilerinin düzenlenmesine, ülke enerji politikasının oluşturulmasına yönelik gerekli araştırmalar, incelemeler yapılmasına ve bunun sonucunda elde edilen deneyimler ile ilgili bilgilerin toplanmasına ilişkin usul ve esasları kapsar (Anonim, 2008).

Binalarda tüketilen enerji miktarlarına bakıldığı zaman en çok enerji tüketilen sistemler havalandırma ve iklimlendirme sistemleridir. Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin ardından ikinci sırada aydınlatma sistemleri gelmektedir. Bu durum Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Binalarda bulunan çeşitli kontrol sistemlerinin enerji tüketim oranları (Dinç, 2013)

Aydınlatma sistemleri konutlarda ve ticari binalarda çok önemli bir enerji tüketim oranına sahiptir. Avrupa Birliği Konseyi binalardaki ve diğer alanlardaki enerji tüketim miktarlarını azaltmak ve bunun için belirli yöntemler ve standartlar oluşturmak

için Avrupa Standardizasyon Komitesi'ni görevlendirmiştir. Bu komite enerji tasarruf önlemlerinin yanı sıra diğer birçok alanla ilgili standartlar oluşturmuştur. Bu standartların arasında EN 15193 "Binalarda Enerji Performansı- Aydınlatma için Enerji Özellikleri" standardı da bulunmaktadır (Anonymous, 2007). Bu standart yardımıyla binalarda tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı belirli hesaplama metotları yardımıyla hesaplanabilmektedir. Türkiye' de ise CEN tarafından oluşturulan binalar ile ilgili standartlar Türkiye koşullarına göre düzenlenerek "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" kapsamında "Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR)" oluşturulmuştur. Bu hesaplama yöntemi içerisinde EN 15193 standardı temel alınarak toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarını hesaplamak için oluşturulmuş "Bina Enerji Performansı-Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" yöntemi bulunmaktadır (Anonim, 2010). Bu tez çalışmasında, Türkiye koşullarına göre düzenlenmiş olan "Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi-Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" metodu yardımıyla beş farklı bina tipi ve beş farklı şehir için toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanarak, bu yöntem içerisinde bulunan kontrol sistemlerinden hangisinin daha verimli olduğu analiz edilmiş ve bir kontrol sistemi önerisi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında Avrupa standardı olan ve Türk standardı olarak da kabul edilmiş olan TS EN 15193 "Binalarda enerji performansı-Aydınlatma için enerji özellikleri" standardı ve bu standart baz alınarak "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" çerçevesinde oluşturulmuş "Bina Enerji Performansı- Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" yöntemi kullanılarak yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değere göre aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi değeri bulunarak binalarda kullanılması gereken kontrol sistemlerine dair bir öneri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın genel hatlarını TS EN 15193 standardı ile ulusal hesaplama yöntemi oluşturmaktadır. Bu iki kaynak haricinde bu temel konu üzerinde oluşturulmuş çeşitli kaynaklardan da yararlanılmıştır.

TS EN 15193 "Binalarda enerji performansı-Aydınlatma için enerji özellikleri" standardı incelenecek olursa, bu Avrupa standardı binalarda aydınlatma enerji gereksinimlerinin tahmin edilmesi için kurallar ve prosedürler oluşturmak ve binaların enerji performansının sayısal bir göstergesi için bir metodoloji oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Binalar için doğru aydınlatma standartlarına sahip olmak son derece önemlidir. Bunun için çeşitli faktörlere göre binalarda tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanarak kontrol sistemi önerisi bu standart yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu standart yardımıyla farklı enlem derecelerinde bulunan çeşitli bina türleri için farklı kontrol sistemlerinde yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanabilmektedir. Bu kontrol sistem çeşitleri günışığı etkisine ve yoğunluk durumuna bağlı kontrol sistemleri olarak ayrılmaktadır. Bu tez çalışmasında Avrupa'da kabul edilen bu standart yardımıyla yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değer yarımıyla aydınlatma enerjisi sayısal göstergesi değeri bulunarak kullanılması gereken kontrol sisteminin önerisi yapılmıştır. Bu standart Avrupa Parlamentosu tarafından 2002 yılında kabul edilen 'Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan bir başka kaynak "Bina Enerji Performansı- Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" yöntemi incelenecek olursa, bu yöntem "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ" çerçevesinde hazırlanmıştır. Bu tebliğin amacı, 5/12/2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği kapsamında, binanın enerji tüketimine etki eden tüm parametrelerin, konut, ofis, eğitim,

sağlık, otel, alışveriş ve ticaret merkezleri gibi mevcut ve yeni binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilen bina enerji performansı hesaplama yönteminin yayınlanmasını sağlamak maksadıyla hazırlanmıştır. Bu tebliğ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Bu tebliğ yardımıyla binalarda bulunan çeşitli alt sistemlerin toplam tükettiği enerji miktarı değerleri ve bu değerlerin iyileştirilmesi için yapılması gereken yöntemlere ulaşılabilmektedir. Bu tez çalışmasında bu tebliğ içerisinde bulunan "Bina Enerji Performansı-Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" yöntemi kullanılmıştır. Çünkü bu tez çalışmasında aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği incelenmiştir. Bundan dolayı diğer alt sistemlerin enerji verimliliğine etkileri incelenmeyecektir. "Bina Enerji Performansı- Aydınlatma Enerji Gereksinimlerinin Hesaplanması" yönteminin hazırlanma amacı, binalarda aydınlatma enerjisi gereksiniminin belirlenmesine ilişkin düzenlemeleri ve binaların enerji performansının belirlenmesi için sayısal bir göstergenin hesaplanması yöntemini tanıtmak üzere hazırlanmıştır. Bu hesaplama yönteminde aydınlatma kontrolünün etkinliğine ilişkin veri sağlanması için, aydınlatma amaçlı tüketilen enerjinin ayrı olarak ölçülmesi teknikleri de açıklanmaktadır. Bu hesaplama yöntemi, binalarda iç aydınlatma amacıyla tüketilen enerji miktarının değerlendirilmesine yönelik hesap adımlarını ve aydınlatma enerjisi gereksinimine ilişkin sertifikalandırma amacıyla kullanılabilecek bir sayısal göstergeyi tanıtmaktadır. Bu yöntem, mevcut binalar için veya yeni veya yenilenecek binaların tasarımı için kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan bir başka kaynak ise 5627 numaralı Enerji Verimliliği Kanunu'dur. Bu kanun 2007 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Bu kanunun amacı, enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Bu kanunun kapsamı ise, enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsar.

Bu tez çalışmasında kullanılacak bir başka kaynak ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'dir. Bu yönetmeliğin amacı, dış iklim şartlarını, iç mekan gereksinimlerini, mahalli şartları ve

maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO2) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir. Kapsamı, mevcut ve yeni yapılacak konut, ticari ve hizmet amaçlı kullanılan binalarda uygulanmak üzere; mimari tasarım, mekanik tesisat, aydınlatma, elektrik tesisatı ve elektrik tüketen binaların sabit ekipmanları konularındaki asgari performans kriterlerine, enerji performans hesaplama usullerine, enerji kimlik belgesinin hazırlanmasına, binaların kontrolleri ve enerji kimlik belgesini hazırlayacak ve denetleyecek onaylanmış bağımsız yetkili kuruluşların yetkilendirilmesine ve yetkilerinin düzenlenmesine, ülke enerji politikasının oluşturulmasına yönelik gerekli araştırmalar, incelemeler yapılmasına ve bunun sonucunda elde edilen deneyimler ile ilgili bilgilerin toplanmasına ilişkin usul ve esasları kapsar. Hukuki dayanak olarak, bu yönetmelik, 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nun 7. maddesinin birinci fıkrasının (ç) ve (d) bentleri ile 3/5/1985 tarihli ve 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 44 üncü maddesine dayanılarak hazırlanmıştır.

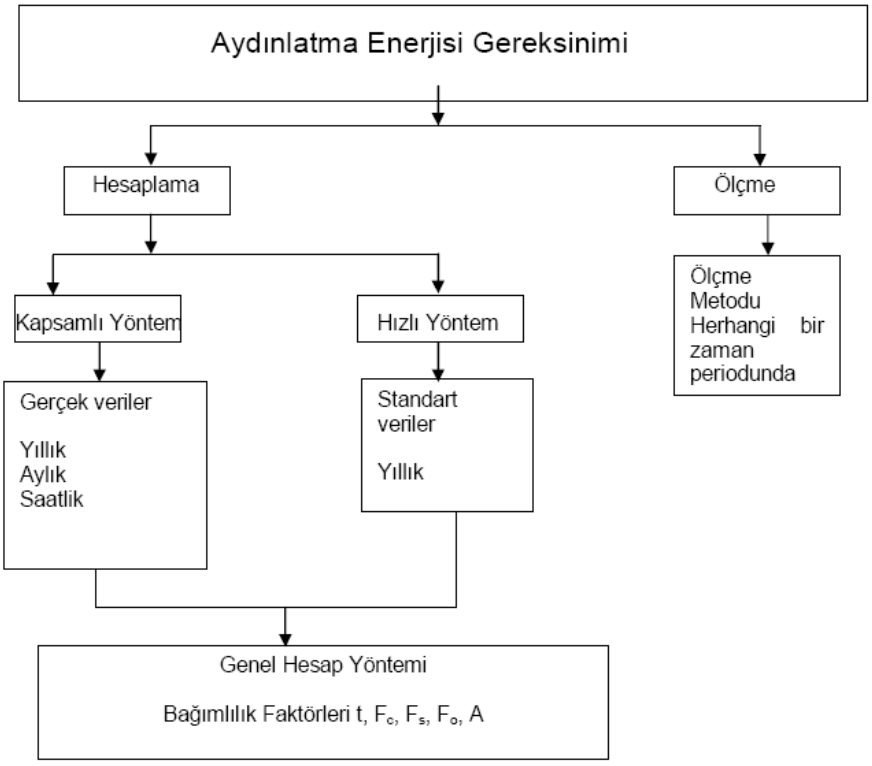
Akademik yayın olarak ise M. Tian ve Y. Su tarafından 2014 yılında yazılan "An improvement to calculation of lighting energy requirement in the European Standard EN 15193: 2007" makalesi, G. Parise ve arkadaşları tarafından yazılan "Energy performance of interior lighting systems" makalesi, L. Martirano tarafından yazılan "Lighting systems to save energy in educational classrooms" makalesi gibi çeşitli akademik yayınlardan yararlanılmıştır.

Bu tez çalışmasının genel hatlarını yukarıda tanımlanan kaynaklar oluşturmaktadır. Bu kaynakların haricinde, yukarıda tanımlanan standartlar, yönetmelikler ve kanunlar çerçevesinde oluşturulmuş kaynaklardan da yararlanılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

'Binalarda Enerji Performansı-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri' hesaplama yöntemi, çeşitli faktörlere göre binalarda tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarını bulmak ve enerji performansının belirlenmesi için sayısal bir göstergenin oluşturulması amacıyla EN 15193 standardı temel alınarak hazırlanmış bir metottur. Bu hesaplama yöntemi mevcut, yenilenecek veya yeni yapılacak binalar için uygulanabilmektedir.

Şekil 3.1'de yöntemin ana hatları ve içerisinde bulunan çeşitli hesaplama yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi Hesaplama Yöntemleri (Anonim,2010)

Bu yöntem yardımıyla binalarda tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı, toplam kurulu aydınlatma gücü, günışığı bağımlılık faktörü, kullanıma bağlı faktör, yokluk faktörü, sabit aydınlık faktörü, gün saatleri kullanımı, gün saatleri dışında kullanım gibi faktörlere bağlı olarak hesaplanabilmektedir (Şener ve ark., 2010). Ayrıca bu hesaplama yöntemi ve hesaplama yapılan alanın ya da bölgenin hacmi yardımıyla Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) hesaplanarak binanın hangi enerji sınıfında olduğu bulunabilmektedir.

Bu hesaplama yöntemi, konutlar ve diğer binalar için hazırlanmış bir yöntemdir. Diğer binalardan kastedilen ofis, hastane, okul, otel, imalathane, restoran gibi bina türleridir. Konutlar ve diğer binaların toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanırken farklı metotlar kullanılmaktadır (Şener ve Sezen, 2010). Bu hesaplama yönteminde konutlar için kullanılan hesaplama metodunda kontrol sistemlerinin etkisi ele alınmamıştır. Bu yüzden hesaplama diğer bina türleri için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sabit aydınlık faktörü sadece loşlaştırma yapılan kontrol sistemlerinde kullanıldığı için bu faktör de hesaplama metoduna dahil edilmemiştir.

3.1. Hesaplama Yöntemleri

Bina Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi Hesaplama Metodunda hızlı yöntem ve kapsamlı yöntem olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır (Anonim, 2010). Bu yöntemlerden hızlı yöntem konutlar için, kapsamlı yöntem ise ticari binalar için kullanılan yöntemlerdir.

3.1.1. Hızlı yöntem

Bu yöntem, konutlarda yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde kullanılan metoda göre konutta tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı saatlik kullanım oranlarına göre değişmektedir. Hafta içi ve hafta sonu konutlarda tüketilen aydınlatma enerjisi oranları farklılık gösterdiğinden dolayı hesaplama yapılırken hafta içi ve hafta sonu tüketilen enerji miktarları ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bu hesaplama yönteminde kullanılan formüller ve değerler genel hatlarıyla aşağıdaki gibidir.

Toplam kurulu aydınlatma gücünün hesaplanması için konutta kullanılan tüm lamba türleri ve sayıları ayrı olarak hesaplanmalıdır (Anonim, 2010).

Lamba tipi 1 için:

$$P_{i1} = lamba\ sayısı\ (n_1)\ x\ g\text{ücü}\ (P_1) \quad (3.1)$$

Lamba tipi 2 için:

$$P_{i2} = lamba\ sayısı\ (n_2)\ x\ g\text{ücü}\ (P_2) \quad (3.2)$$

Lamba tipi n için:

$$P_{in} = lamba\ sayısı\ (n_n)\ x\ gücü\ (P_n) \quad (3.3)$$

Bir konutta kullanılan floresan, kompakt floresan, enkandesan gibi lamba türlerine göre yukarıda verilen formül yardımıyla her bir lambanın kurulu aydınlatma gücü hesaplanabilmektedir. Her bir lambanın kurulu aydınlatma gücü hesaplandıktan sonra konuttaki toplam kurulu aydınlatma gücüne ise aşağıdaki formül yardımıyla ulaşılmaktadır.

$$P_{toplam} = P_{i1} + P_{i2} + \cdots + P_{in}\ (W) \quad (3.4)$$

Toplam kurulu aydınlatma gücü hafta içi ve hafta sonu kullanım oranlarına göre değişmektedir. Bundan dolayı hafta içi ve hafta sonu kullanım oranları saatlik olarak toplanıp, toplam kurulu aydınlatma gücü ile çarpılarak günlük harcanan aydınlatma güç miktarı bulunmalıdır. Bu değer aşağıdaki formüller aracığıyla bulunur.

Hafta içi günler için:

$$P_{Hi} = P_{toplam} \times 8.095 \quad (3.5)$$

Hafta sonu günler için:

$$P_{HS} = P_{toplam} \times 8.335 \quad (3.6)$$

Denklem (3.5) ve Denklem (3.6)'da verilen 8.095 ve 8.335 değerleri, Şekil 3.2'de gösterilen hafta içi ve hafta sonu günlük kullanım oranlarının toplamı sonucunda elde edilen değerlerdir (Anonim 2010).

Şekil 3.2'deki değerlere bakıldığı zaman hafta içi ve hafta sonunda en çok kullanımın olduğu saatler 18:00 ile 22:00 saatleri arasıdır.

Yukarıdaki denklemler ve Şekil 3.2'deki oranlar yardımıyla bir konutta tüketilen yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarı Denklem (3.7)'deki formül yardımıyla hesaplanır.

Yıllık Toplam Aydınlatma Enerjisi Yükü:

$$W_{YIL} = (52 \times 5 \times P_{Hi}) + \big((52 \times 2 + 1) \times P_{HS}\big)\ (kWh) \quad (3.7)$$

Konutlarda Kullanıma Bağlı Oran (Oran $_{saat}$)					
Gün	Saat	Oran	Gün	Saat	Oran
Pazartesi - Cuma	00:00	0.26	Cumartesi - Pazar	00:00	0.30
	01:00	0.08		01:00	0.09
	02:00	0.04		02:00	0.06
	03:00	0.03		03:00	0.04
	04:00	0.02		04:00	0.03
	05:00	0.06		05:00	0.04
	06:00	0.09		06:00	0.07
	07:00	0.32		07:00	0.18
	08:00	0.32		08:00	0.21
	09:00	0.26		09:00	0.315
	10:00	0.25		10:00	0.345
	11:00	0.225		11:00	0.325
	12:00	0.22		12:00	0.315
	13:00	0.245		13:00	0.32
	14:00	0.24		14:00	0.31
	15:00	0.235		15:00	0.305
	16:00	0.285		16:00	0.32
	17:00	0.325		17:00	0.35
	18:00	0.79		18:00	0.77
	19:00	0.82		19:00	0.79
	20:00	0.82		20:00	0.78
	21:00	0.83		21:00	0.78
	22:00	0.80		22:00	0.75
	23:00	0.53		23:00	0.56

Şekil 3.2. Hafta içi ve hafta sonu saatlere göre günlük kullanım oranları (Anonim, 2010)

Yıllık toplam aydınlatma enerjisi yükü hesaplandıktan sonra Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi Denklem (3.8)'e göre hesaplanır.

$$AESG_{konut} = W_{YIL}/A_{daire}(\frac{kWh}{m^2} \times yıl) \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'deki A_{daire} sabiti, konut müstakil ise tüm konut alanını, apartman tipi ise daire alanını temsil etmektedir.

Hızlı hesaplama metoduna göre sadece konut tipi binaların toplam aydınlatma enerji gereksinimi hesaplanabilmektedir. Diğer tip binaların hesaplama metodu ise kapsamlı yönteme göre yapılmaktadır. Ayrıca hızlı hesaplama metodu ile kontrol sistemlerinin aydınlatma enerjisi tüketimine nasıl etki ettiği analiz edilememektedir. Bu yüzden hesaplama yapılırken kapsamlı metot kullanılarak beş farklı bina tipi için kontrol sistemlerinin mukayesesi yapılmıştır.

3.1.2. Kapsamlı yöntem

Bu yöntem yardımıyla toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı yıllık, aylık ve günlük olarak hızlı metoda göre daha kapsamlı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Bu

yöntem kullanılırken toplam kurulu aydınlatma gücü, günışığı bağımlılık faktörü, kullanıma bağlı faktör, sabit aydınlık faktörü, yokluk faktörü, kullanılan kontrol sistemlerinin türleri, hesaplama yapılan şehrin konumu, gün ışığı etkisi gibi faktörler göz önüne alınmalıdır (Aksakal, 2010). Bu hesaplama yöntemi genel olarak ticari binalar için kullanılmaktadır. Ticari binaların içerisinde otel, restoran, ofis, imalathane, okul, hastane gibi bina çeşitleri bulunmaktadır.

3.1.2.1. Toplam Aydınlatma Enerjisinin Hesaplanması

Bir alanda harcanan toplam aydınlatma enerjisi miktarı günışığı bağımlılık faktörü, kullanıma bağlı faktör, gün saatleri kullanımı, gün saatleri dışında kullanım, sabit aydınlık faktörü, toplam parazit güç, acil durum aydınlatma aygıtlarının şarj güçleri gibi değişkenler yardımıyla hesaplanabilmektedir (Asker, 2017). Toplam harcanan aydınlatma enerjisi miktarı Denklem (3.9)'daki eşitlik yardımıyla bulunabilmektedir.

Herhangi bir zaman diliminde aydınlatma için harcanan toplam enerji miktarı:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{3.9}$$

Denklem (3.9)'daki eşitlikte W_t sembolü herhangi bir zaman diliminde aydınlatma için harcanan toplam enerjiyi, $W_{L,t}$ sembolü aydınlatma için harcanan enerjiyi, $W_{P,t}$ sembolü ise parazit güç için harcanan enerjiyi temsil etmektedir **(**Anonymous, 2007). Aydınlatma için harcanan enerjiyi hesaplamak için Denklem (3.10) kullanılır.

Aydınlatma için harcanan enerji miktarı:

$$W_{L,t} = \sum\{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_O \times F_D) + (t_N \times F_O)]\}/1000\ (kWh) \tag{3.10}$$

Denklem (3.10)'daki P_n sembolü toplam kurulu aydınlatma gücünü, F_c sembolü sabit aydınlık faktörünü, t_D sembolü gün saatleri kullanımını, F_O sembolü kullanıma bağlı faktörü, F_D sembolü günışığı bağımlılık faktörünü, t_N sembolü ise gün saatleri dışında kullanımı temsil etmektedir (Anonim, 2010).

P_n toplam kurulu aydınlatma gücü, bir hacimde bulunan tüm lambaların güçlerinin ve sayılarının çarpımının toplamı sonucunda bulunur. Bir hacimdeki aydınlık

düzeyi çalışma ortamlarına göre farklılık göstermektedir. Çalışma ortamları ofis, imalathane, hastane, okul gibi değişik mekanlar olabilir. Her mekanın kendine ait aydınlık düzeyi bulunmaktadır. Buna göre ortamın aydınlık düzeyi ve kullanılan lambaların türüne göre P_n kurulu aydınlatma gücü değeri değişebilmektedir (Anonymous, 2013). F_C sabit aydınlık faktörü loşlaştırmalı kontrol sistemleri için kullanılan bir sabit olduğundan dolayı kontrol sistemleri ve tüketilen aydınlatma enerji miktarı arasında eşit bir şekilde karşılaştırma yapılabilmesi için hesaplama yapılırken ihmal edilmiştir. t_D gün saatleri kullanım süresi, çalışma saatleri içerisinde güneşin var olduğu süreyi temsil etmektedir. F_O kullanıma bağlı faktör, kullanılan kontrol sistemlerine göre değişen bir faktördür. F_D günışığı bağımlılık faktörü, aydınlatılan bölgenin konumuna ve günışığı etkisine göre değişen bir faktördür. t_N gün saatleri dışında kullanım süresi, çalışma saatleri içerisinde güneşin olmadığı süreyi temsil etmektedir. Bu değişkenlerin hepsi ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

Bir hacimde parazit güç için harcanan enerji miktarı ise Denklem (3.11)'deki gibi hesaplanabilmektedir.

Parazit güç için harcanan enerji miktarı:

$$W_{P,t} = \sum\{(P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \times t_{em})\}/1000\ (kWh) \qquad (3.11)$$

P_{pc}: Bir hacimdeki toplam parazit güç

t_y: Bir yıl içindeki toplam süre (h)

t_D: Gün saatleri kullanımı (h)

t_N: Gün saatleri dışında kullanım (h)

P_{em}: Bir hacimdeki acil durum aydınlatma aygıtlarının şarj güçlerinin toplamı

t_{em}: Acil durum aydınlatma aygıtlarının şarj süresi (h)

Parazit güç için harcanan enerji miktarı aydınlatılacak olan hacimde kullanılan kontrol sistemlerinin sayısı ve türü belli olmadığı için bu tez çalışmasında kesin olarak hesaplanamamıştır. Ancak 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi' ne göre aydınlatılacak bölgenin alanına göre bir hacimdeki toplam parazit güç 5 kWh/m^2 değerinde bir sabit olarak, acil durum aydınlatma aygıtlarının güçleri ise 1 kWh/m^2 değerinde bir sabit olarak alınabilmektedir (Anonim, 2010). Bu tez çalışmasında da bu sabitler kullanılarak toplam parazit gücü ve kullanılacaksa acil durum aydınlatma aygıtlarının şarj güçleri toplamı bu sabitler yardımıyla bulunmuştur.

Denklem (3.10) ve Denklem (3.11)'deki eşitlikler yardımıyla aydınlatma için harcanan enerji miktarı ve parazit güç için harcanan enerji miktarı bulunarak bu bulunan değerlerin toplanması sonucunda Denklem (3.9)'da tanımlanan aydınlatma için harcanan toplam enerji miktarı değerine ulaşılmıştır.

3.1.2.2. Toplam kurulu aydınlatma gücünün hesaplanması

Toplam kurulu aydınlatma gücünün hesaplanabilmesi için oda indeksi (k), verim (η), gerekli olan toplam ışık akısı (Ø), kullanılan lambaların ışık akısı ($Ø_{lamba}$), aydınlık düzeyi (E), bakım faktörü (m) gibi değişkenlerin bilinmesi gerekmektedir (Özkaya, 1998). Oda indeksi (k) Denklem (3.12)'deki gibi hesaplanmaktadır.

Oda indeksi:

$$k = \frac{a \times b}{H \times (a+b)} \tag{3.12}$$

k: Oda indeksi
a: Aydınlatılacak bölgenin kısa kenar uzunluğu (m)
b: Aydınlatılacak bölgenin uzun kenar uzunluğu (m)
H: Armatür ile çalışma yüzeyi arasındaki uzaklık (m)

Oda indeksi (k) bulunduktan sonra aydınlatma verim tablosundan verim değeri bulunur. Aydınlatma verim tablosu Çizelge 3.1'deki gibidir. Aydınlatılacak bölgenin indeksi hesaplandıktan sonra gerekli olan ışık akısı Denklem 3.13'deki formül yardımıyla elde edilir.

Gerekli olan ışık akısı:

$$Ø = \frac{E_{istenen} \times a \times b}{\eta \times m} \tag{3.13}$$

Ø: Gerekli olan ışık akısı (lm)
$E_{istenen}$: İstenen aydınlık düzeyi (lux)
a: Aydınlatılacak bölgenin kısa kenar uzunluğu (m)
b: Aydınlatılacak bölgenin uzun kenar uzunluğu (m)
η: Verim
m: Bakım faktörü

Çizelge 3.1. Aydınlatma Verim Tablosu (Gençoğlu, 2005)

Tavan	0.8				0.5				0.3	
Duvar	0.5		0.3		0.5		0.3		0.1	0.3
Zemin	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1	0.3	0.1
k	Oda Aydınlatma Verimi Faktörü η									
0.6	0.24	0.23	0.18	0.18	0.20	0.19	0.15	0.15	0.12	0.15
0.8	0.31	0.29	0.24	0.23	0.25	0.24	0.20	0.19	0.16	0.17
1	0.36	0.33	0.29	0.28	0.29	0.28	0.24	0.23	0.20	0.20
1.25	0.41	0.38	0.34	0.32	0.33	0.31	0.28	0.27	0.24	0.24
1.50	0.45	0.41	0.38	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.26
2.00	0.51	0.46	0.45	0.41	0.41	0.38	0.37	0.35	0.31	0.30
2.50	0.56	0.49	0.50	0.45	0.45	0.41	0.41	0.38	0.35	0.34
3	0.59	0.52	0.54	0.48	0.47	0.43	0.43	0.40	0.38	0.36
4	0.63	0.55	0.58	0.51	0.50	0.46	0.47	0.44	0.41	0.39
5	0.66	0.57	0.62	0.54	0.53	0.48	0.50	0.46	0.44	0.4

Gerekli olan ışık akısı hesaplandıktan sonra kullanılacak toplam armatür sayısı Denklem (3.14)'teki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

Toplam armatür sayısı:

$$N = \frac{Ø}{Ø_{lamba}} \tag{3.14}$$

N: Kullanılacak armatür sayısı

Ø: Toplam ışık akısı (lm)

$Ø_{lamba}$: Kullanılan lambaların ışık akısı (lm)

Toplam kullanılacak armatür sayısı bulunduktan sonra elde edilen aydınlık düzeyi seviyesi tekrar hesaplanmalıdır. Hesaplan aydınlık düzeyi eğer istenilen aydınlık düzeyinin %10 fazlasından fazla ya da %10 eksiğinden az ise hesaplanan aydınlık düzeyi istenilen aydınlık düzeyi ihtiyacını karşılamamaktadır (Özkaya, 1998). Böyle bir durumda hesaplamalar tekrar yapılarak kullanılan lambaların türleri ve sayıları kontrol edilmelidir. Armatür sayısı bulunduktan sonra hesaplanan aydınlık düzeyi Denklem (3.15)'deki eşitlik yardımıyla bulunur.

Hesaplanan Aydınlık düzeyi:

$$E_{hesaplanan} = \frac{N \times Ø_{lamba} \times \eta \times m}{a \times b} \tag{3.15}$$

$E_{hesaplanan}$: Hesaplama sonucunda elde edilen aydınlık düzeyi (lux)

N: Toplam kullanılması gereken armatür sayısı

$Ø_{lamba}$: Kullanılan lambaların ışık akıları (lm)

η: Verim

m: Bakım faktörü

a: Aydınlatılacak bölgenin kısa kenar uzunluğu (m)

b: Aydınlatılacak bölgenin uzun kenar uzunluğu (m)

Denklem (3.15)'deki işlem sonucunda bulunan değer $E_{istenen} \times 1.1 < E_{hesaplanan} < E_{istenen} \times 0.9$ koşulunu sağlıyorsa hesaplanan değer kabul edilebilir bir değerdir. Eğer bu koşulu sağlamıyorsa o zaman hesaplamalar yeniden yapılmalı, kullanılan armatür sayısı ve türü yeniden gözden geçirilmelidir.

Bu tez çalışmasında beş farklı bina tipi kullanılmış olduğu için her bina tipine ait farklı aydınlık düzeyleri mevcuttur. Bu aydınlık düzeyleri "EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma-Çalışma alanlarının aydınlatılması- Bölüm 1: İç çalışma alanları" standardında belirtilmiştir (Anonim, 2014). Bu standartta belirtilen aydınlatma yapılacak çalışma ortamlarından bazılarının aydınlık düzeyleri Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3.2. Çalışma ortamlarına göre aydınlık düzeyleri (Gençoğlu, 2005)

Bina Tipi	Hacim Türü	$E_{istenen}$ (lux)
Ofis	Açık Ofis (7 ve üstü kişilik)	500
Ofis	Arşiv	200
Hastane	Açık Ofis (7 ve üstü kişilik)	500
Hastane	Ameliyathane	1000
Eğitim Binası	Derslik (ilköğretim)	300
Eğitim Binası	Derslik (lise, üniversite vb.)	500
Otel	Açık Ofis	500
Otel	Mutfak	500

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde beş farklı bina türü için toplam tüketilen aydınlatma enerjisi hesaplanırken, her bina türünün aydınlık düzeyine göre toplam kurulu aydınlatma gücü bulunarak, diğer parametrelerin de yardımıyla toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

3.1.2.3. Kullanıma bağlı faktörün hesaplanması

Kullanıma Bağlı Faktör (F_O), aydınlatılacak olan bölgedeki kurulu gücün, kullanım süresi içerisindeki tüketim miktarına bağlı faktör olarak tanımlanmaktadır. Eğer aydınlatma sistemi merkezi olarak açılıp kapatılıyorsa ya da bir hacmin aydınlatma kontrolü tek bir anahtar üzerinden gerçekleştiriliyorsa bu durumunda kullanıma bağlı faktör değerinin hesaplanmasına gerek kalmaz, direkt olarak $F_O = 1$ alınır. Ancak bu durum için aydınlatma yapılan hacmin alanı önemlidir. Eğer 30 m^2'den büyük bir alan tek bir anahtarla ya da merkezi olarak kontrol ediliyorsa bu durumda F_O=1 alınır. Bununla birlikte aydınlatma yapılacak alan, merkezi kontrol ya da manuel kontrol sistemi yerine otomatik sensörler aracılığıyla kontrol ediliyorsa ya da başka bir ifadeyle otomatik kontrol sensörlerinin kontrol ettiği alan, aydınlatılacak bölgenin alanına eşit ya da yakın bir büyüklükte ise bu durumda $F_O < 1$ olur ve bu durumda F_O değerinin hesaplanması gerekmektedir. $F_O < 1$ şartının sağlandığı bir başka durum ise 30 m^2'den küçük bir alanın otomatik kontrol ve hareket sensörleri yardımıyla kontrol edilmesidir (Anonymous, 2007).

F_O değeri Denklem (3.16), (3.17) ve (3.18)' de gösterildiği gibi üç farklı durum için hesaplanabilmektedir.

F_O kullanıma bağlı faktörün hesaplanması:

$0.9 \leq F_A \leq 1$durumunda;

$$F_O = [7 - (10 \times F_{OC})] \times (F_A - 1) \quad (3.16)$$

$0 \leq F_A < 0.2$ durumunda;

$$F_O = 1 - [(1 - F_{OC}) \times F_A / 0.2] \quad (3.17)$$

$0.2 \leq F_A < 0.9$ durumunda;

$$F_O = F_{OC} + 0.2 - F_A \quad (3.18)$$

Denklem (3.16), (3.17) ve (3.18)' de gösterildiği gibi kullanıma bağlı faktör (F_O), F_{OC} ve F_A olmak üzere iki farklı değişkene bağlıdır. F_{OC} değişkeni aydınlatma kontrolüne bağlı faktör olarak tanımlanmaktadır. Aydınlatma kontrol sisteminde otomatik hareket sensörünün olup olmamasına, kullanılan kontrol sistemlerinin türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Aydınlatma kontrol sisteminde kullanılan kontrol

sistemi çeşitleri ‘Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi’ ve ‘EN 15193’ standardına göre, elle açma / elle kapama, elle açma/elle kapama - otomatik söndürme sinyali ilaveli, otomatik açma / otomatik loşlaştırma, otomatik açma / otomatik kapama, elle açma / otomatik loşlaştırma, elle açma/otomatik kapama olmak üzere altı çeşide ayrılmaktadır (Zinzi ve Mangione, 2015). Bu tez çalışmasında hesaplama yönteminde ve standartta belirtilen kontrol sistemlerinden beş tanesi kullanılmıştır. Bu kontrol sistemlerinin türlerine göre aydınlatma kontrolüne bağlı faktörün (F_{OC}) değeri değişmektedir. Kontrol sistemi türlerine göre F_{OC} faktörünün aldığı değerler Çizelge 3.3‘de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Aydınlatma Kontrolüne Bağlı Faktör (F_{OC}) değerleri (Anonymous, 2007)

Otomatik hareket sensörü olmayan mekanlar	F_{OC}
Elle açma / Elle kapama	1.00
Otomatik hareket sensörü olan mekanlar	F_{OC}
Otomatik açma / Otomatik loşlaştırma	0.95
Otomatik açma / Otomatik kapama	0.90
Elle açma / Otomatik loşlaştırma	0.90
Elle açma / Otomatik kapama	0.80

Otomatik açma/otomatik loşlaştırma kontrol sistemine göre, hacimde bir hareket algılandığı zaman, lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından otomatik olarak devreye girer ve en geç 5 dakika içinde otomatik olarak normal çalışma koşullarının %20’sinden daha az olmayacak şekilde ayarlanmış daha düşük bir ışık çıktısına ayarlanırlar. Ayrıca hacimde son hareketin algılanışını takip eden 5 dakika içinde hiçbir hareket algılanmazsa lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından tamamen kapatılır.

Otomatik açma/otomatik kapama kontrol sistemine göre, hacimde bir hareket algılandığı zaman lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından otomatik olarak devreye girer, son hareketin algılanışından 15 dakika sonra ise otomatik olarak kapatılır.

Elle (Manuel) açma/otomatik loşlaştırma kontrol sistemine göre, lambalar, aydınlatılacak bölgeye yakın olarak yerleştirilmiş bir anahtar tarafından elle açılırlar. Eğer elle kapatılmazlarsa en geç 15 dakika içinde otomatik olarak normal çalışma koşullarının %20’sinden daha az olmayacak şekilde ayarlanmış daha düşük bir ışık çıktısına ayarlanırlar. Ayrıca odada son varlığın algılanışını takip eden 15 dakika içinde hiçbir hareket algılanmazsa lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından tamamen kapatılır (Anonim, 2013).

Elle (Manuel) açma/otomatik kapama kontrol sistemine göre, lambalar, aydınlatılacak bölgeye yakın olarak yerleştirilmiş bir anahtar tarafından elle açılırlar. Eğer elle kapatılmazlarsa, odada son hareketin algılanışından en geç 15 dakika sonra ise aydınlatma kontrol sistemi tarafından kapatılırlar.

Kullanıma bağlı faktör değerinin hesaplanmasında aydınlatma kontrolüne bağlı faktörün (F_{OC}) yanı sıra yokluk faktörünün (F_A) de hesaba katılması gerekmektedir. F_A yokluk faktörü aydınlatma yapılacak binanın türüne ve hacmine göre değişen bir faktördür. Bina içerisindeki kişi sayısı arttıkça F_A yokluk faktörünün değeri de azalmaktadır. Çizelge 3.4'de bina türüne ve bina içerisinde hacimlere göre F_A yokluk faktörünün aldığı değerler görülmektedir.

Çizelge 3.4. Bina ve hacim türlerine göre yokluk faktörü (F_A) değerleri (Anonymous,2007)

Bina Türü	F_A	Hacim Türü	F_A
Ofisler	0.2	1 kişilik ofis odası	0.4
		2 kişilik ofis odası	0.3
		Açık planlı ofis > 6 kişilik 10 m^2	0.2
Eğitim Binaları	0.2	Derslikler	0.25
		Koridorlar	0.6
Otel ve Restoranlar	0	Otel odası	0.6
		Mutfak	0
Hastaneler	0	Tedavi odaları	0.4
		Hasta yatak odaları	0
İmalathaneler	0	Depo alanları	0.4
		Boyahaneler	0.2
		Açık depolar	0.2

Aydınlatma kontrolüne bağlı faktör (F_{OC}) ve yokluk faktörü (F_A) bulunduktan sonra kullanıma bağlı faktör (F_O) bulunabilir. Bu tez çalışmasında beş farklı bina tipi kullanılacağı için her binanın kendine ait F_A yokluk faktörü değeri olacaktır. Bu çalışmada kullanılacak bina türleri ofis, hastane, otel, imalathane ve eğitim binasıdır. Hesaplama yapılacak bina türlerinin yanı sıra, bina türündeki hacim tipi de önemlidir. Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde bina türlerine göre kullanıma bağlı faktör değeri hesaplanarak toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı bulunacak ve hangi bina türünde, hangi kontrol sisteminde ne kadarlık bir aydınlatma enerjisi tüketimi gerçekleştirildiği analiz edilmiştir.

3.1.2.4. Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanması

Günışığı bağımlılık faktörü, günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve günışığı bağımlı yapma aydınlatma kontrol faktörüne ($F_{D,C}$) bağlı olarak değişen bir faktördür (Tian ve Yuehong, 2014). Denklem (3.19)'da $F_{D,S}$ ve $F_{D,C}$ fonksiyonlarına bağlı olarak günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanmasında kullanılan eşitlik gösterilmektedir.

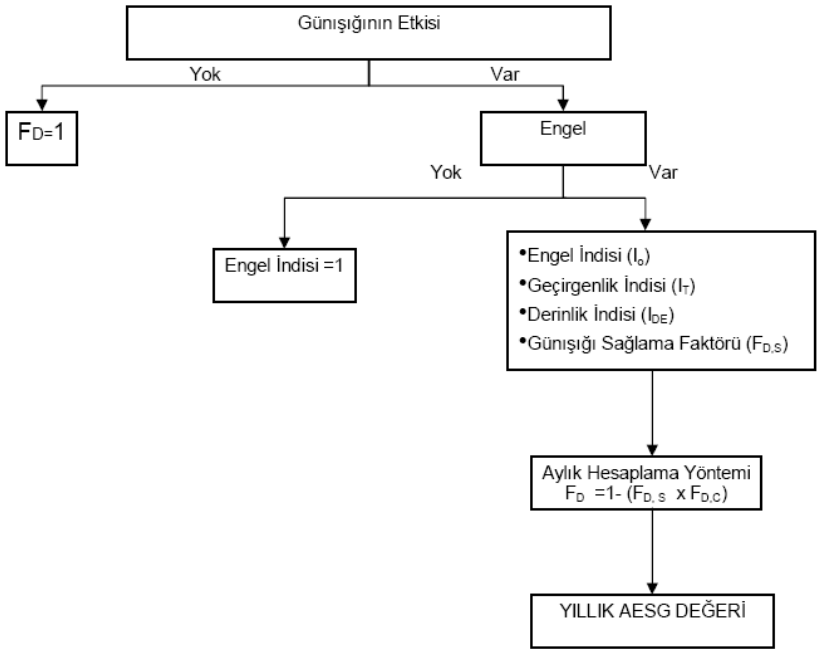
$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C}) \tag{3.19}$$

F_D : Günışığı bağımlılık faktörü

$F_{D,S}$: Günışığı sağlama faktörü

$F_{D,C}$: Günışığı bağımlı yapma aydınlatma kontrol faktörü

Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanmasına dair akış diyagramı Şekil 3.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3. Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplamasına dair akış diyagramı (Anonim, 2010)

Şekil 3.3'de görüldüğü üzere aydınlatılacak bina içerisinde günışığı etkisi yoksa günışığı bağımlılık faktörünün değeri $F_D = 1$ alınır. Aksi durumda, yani günışığı etkisinin olduğu durumda ise günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanması için gerekli

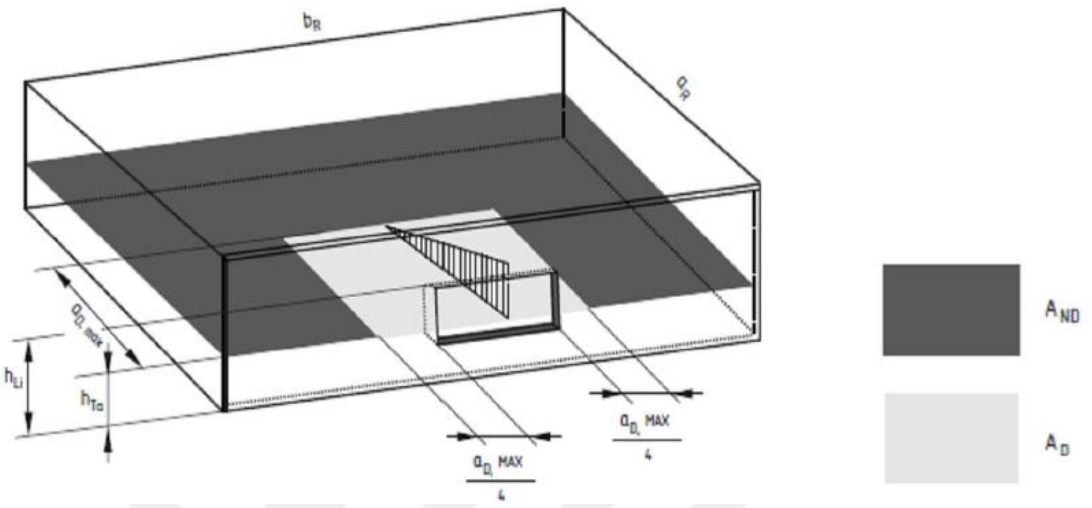
işlemler yapılır. İlk olarak günışığı sağlama faktörünün ($F_{D,S}$) hesaplanması gerekmektedir. Günışığı sağlama faktörü, aydınlatacak olan bölgenin belli bir zaman aralığında aydınlık düzeyine olan etkisini ifade eden bir faktördür. Günışığı sağlama faktörünün hesaplanması için engel indisi (I_O), derinlik indisi (I_{DE}), geçirgenlik indisi (I_T) gibi faktörlerin bilinmesi gerekmektedir (Wright ve Letherman, 1998). Bu faktörler bulunduktan sonra günışığı etkisinin etkisiz, zayıf, orta ya da güçlü olduğuna karar verilerek günışığı bağımlılık faktörünün değeri hesaplanır. Günışığı sağlama faktörü hesaplandıktan sonra, günışığı bağımlı yapma aydınlatma kontrol faktörü ($F_{D,C}$) hesaplanır. Yapma aydınlatma kontrol faktörü, aydınlatılacak olan bölgede kullanılmış olan yapma aydınlatma kontrol sisteminin günışığına bağlı kontrol edilebilmesini dikkate alan bir faktördür. Bu faktör günışığı etkisine ve kullanılan kontrol sisteminin manuel ya da otomatik olmasına bağlı olarak değişir. Bu iki değer de bulunduktan sonra artık günışığı bağımlılık faktörü değeri hesaplanabilir. Anlatılan bütün işlemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Günışığı bağımlılık faktörü Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi ve EN 15193 standardına göre 5 adımda hesaplanmaktadır. Bu adımlar aşağıdaki gibidir.

1. Binanın günışığı alan ve almayan bölümleri belirlenmelidir.
2. Hacme ilişkin parametrelerin, cephe geometrisinin ve dış engellerin hacme giren günışığı üzerindeki etkisi günışığı faktörü kavramı kullanılarak dikkate alınmalıdır.
3. Enerji tasarrufu potansiyeli yöresel iklim, aydınlık düzeyi ve günışığı faktörünün fonksiyonu olan günışığı sağlama faktörü $F_{D,S}$ değerine bağlı olarak belirlenmelidir.
4. Günışığı kullanımı mevcut günışığı değerine ve yapma aydınlatma kontrol tipine bağlı ($F_{D,C}$) olarak belirlenmelidir.
5. F_D yıllık ve aylık değerleri belirlenmelidir.

Birinci adımda aydınlatacak olan bölgenin günışığı alan ve günışığı almayan bölümleri tespit edilmelidir. Bunun için ilk olarak aydınlatılacak bölgenin şekil geometrisi belirlenmeli ve çeşitli durumlara göre günışığı alan bölgenin alanı bulunmalıdır. Günışığı alan bölgenin alanının hesaplanması geçirgenlik indisi (I_T) ve derinlik indisi (I_{DE}) gibi faktörlerin hesaplanmasında önemlidir. Bu faktörler yardımıyla

günışığı sağlama faktörü bulunarak günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.4'de bir hacime ait günışığı alan ve günışığı almayan bölgelerin gösterimi verilmektedir.

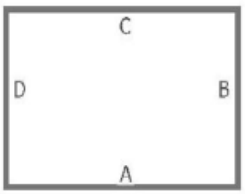
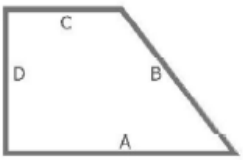
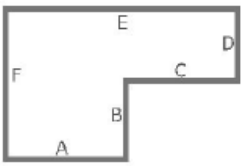
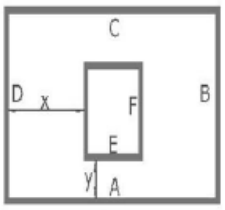


Şekil 3.4. Bir hacimdeki günışığı alan ve almayan bölümlerin gösterilmesi (Anonim, 2010)

Şekil 3.4'de gösterildiği üzere A_D sembolü ile gösterilen değişken günışığı alan bölgeyi temsil etmektedir. A_{ND} sembolü ile gösterilen değişken ise günışığından yararlanılamayan alanı temsil etmektedir. h_{Li} lentonun (pencerenin üst kotu) yerden yüksekliğini, h_{Ta} ise pencerenin alt kotunun yerden yüksekliğini temsil etmektedir. a_R hacmin derinliğini, b_R ise hacmin uzunluğunu ifade eder. a_D günışığı alan bölgenin derinliğini (pencereye dik uzunluk), b_D sembolü ise günışığı alan bölgenin uzunluğunu (pencereye paralel uzunluk) temsil etmektedir.

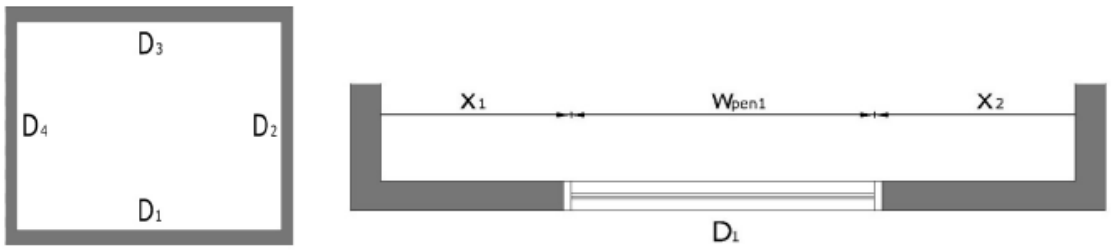
Aydınlatılacak bölgeye ait günışığı alan bölgenin alanını belirlemek için ilk olarak aydınlatılacak bölgenin geometrisi belirlenmelidir ve bu geometrinin alan formül ifadesi bilinmelidir. Şekil 3.5'de farklı geometri yapılarına sahip olan hacimler ve hacimlerin alanlarının belirlenmesi için kullanılan formüller gösterilmektedir.

Aydınlatılacak olan bölgelerin şekil geometrileri dikdörtgen, yamuk, L tipi, O tipi gibi farklı karakter yapılarına sahip olabilir. Bu çalışmada aydınlatılacak yapı formunun günışığı alan bölgesinin alanı dikdörtgen geometri yapısına sahip form üzerinden bulunacaktır. Diğer hacimler için de yine aynı metot kullanılarak günışığı alan bölgenin alanı bulunabilir.

Oda Formu	Şekil	Alan
Dikdörtgen		A,B, C, D A_{hacim} =A x B
Yamuk		A,B, C, D A_{hacim} =[(A + C) x D]/2 Not: A ve D duvarları birbirine dik kabul edilir.
L tipi		A,B, C, D, E, F A_{hacim} =(A x B) + (E x (F-D) Not: Kenarlar birbirine dik kabul edilir.
O tipi		A,B, C, D, E, F, x, y A_{hacim} =(A x B) - (E x F) Not: Kenarlar birbirine dik kabul edilir.

Şekil 3.5. Farklı oda formları ve bu formların formüllerinin gösterimi (Anonymous, 2007)

Eğer dikdörtgen hacimde tek bir duvar varsa işlemler aşağıdaki gibi yapılır. Şekil 3.6'de dikdörtgen bir hacim ve bu hacimde bir pencere olması durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Dikdörtgen hacim formu ve bir pencereli durum

Günışığı alan bölgenin alanın hesaplanabilmesi için günışığı alan bölgenin derinliği (a_D) ve uzunluğu (b_D) bilinmelidir. Ayrıca geçirgenlik indisi, derinlik indisi gibi faktörlerin hesaplanabilmesi için de pencere alanı bulunmalıdır. Şekil 3.6'da gösterilen şekilde w_{pen1} D_1 duvarındaki pencerenin genişliğini temsil eder.

Denklem (3.20)'de pencerenin alanını temsil eden eşitlik, Denklem (3.21)'de günışığı alan bölgenin alanının ifadesi ve Denklem (3.22) ve (3.23)'de ise bu alanı hesaplamak için kullanılmış a_D ve b_D değişkenlerini ifade eden eşitlik gösterilmektedir (Jakubiec ve ark., 2011).

$$A_C = h_{pen} \times w_{pen} \quad (3.20)$$

A_C: Pencere alanı (m^2)
h_{pen}: Pencere yüksekliği (m)
w_{pen}: Pencere genişliği (m)

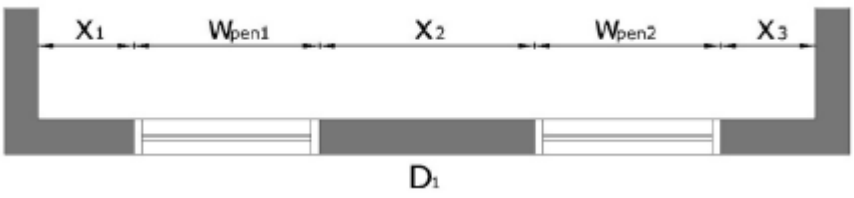
$$A_D = a_D \times b_D \quad (3.21)$$

$$a_D = 2.5 \times (h_{Li} - h_{çd}) \quad (3.22)$$

$$b_D = w_{pen} + a_D/2 \quad (3.23)$$

A_D: Günışığından yararlanan toplam yatay çalışma düzlemleri alanı (m^2)
a_D: Günışığından yararlanan bölgenin derinliği (pencereye dik uzunluk)
b_D: Günışığından yararlanan bölgenin uzunluğu (pencereye paralel uzunluk)
h_{Li}: Lentonun yerden yüksekliği (Pencerenin üst kotu)
$h_{çd}$: Çalışma düzlemi yüksekliği

Bir duvarda iki tane ve daha fazla pencere olması durumu Şekil 3.7'de gösterildiği gibidir. Bu durumda günışığı alan bölgenin toplam alanı, pencere alanı, günışığı alan bölgenin deriliği ve uzunluğu Denklem (3.24), (3.25) ve (3.26) 'da tanımlandığı gibidir.



Şekil 3.7. Bir pencerede birden fazla pencere olması durumu

Şekil 3.7'de gösterilen w_{pen1} ve w_{pen2} sembolleri birinci ve ikinci pencerelerin genişliğini temsil etmektedir. Bu genişliklerden hareketle ilk olarak pencerelerin alanı hesaplanmalıdır. Pencerenin alanı Denklem (3.24) ve (3.25)'de tanımlandığı gibidir.

Toplam pencere alanı:

$$A_C = h_{pen} \times w_{pen} \quad (3.24)$$

$$A_{CT} = A_{C1} + A_{C2} + \cdots + A_{CN} \quad (3.25)$$

Günışığı alan bölgenin derinliği ve uzunluğu:

$$a_{D1} = 2.5 \times (h_{Li} - h_{ta}), \ldots\ldots\ldots\ldots a_{Dn} = 2.5 \times (h_{Lin} - h_{ta}) \quad (3.26)$$

$$b_{D1} = w_{pen1} + a_{D1}/2, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots b_{Dn} = w_{penn} + a_{Dn}/2 \quad (3.27)$$

Eğer tüm günışığı bölgeleri üst üste düşüyorsa veya toplam b_D, b'nin en az %75'ine eşitse b_D = b alınır. Bu durumda a_D olarak ortalama değer alınır ve bu duvardaki A_{DT} değeri a_{Dort} x b_D olarak hesaplanır.

$$a_{Dort} = (a_{D1} + a_{D2} + \cdots + a_{Dn})/n \quad (3.28)$$

$$A_{DT} = a_{Dort} \times b_D \quad (3.29)$$

Yukarıdaki durum söz konusu değilse tüm hacimlerin derinlikleri ve uzunlukları ayrı ayrı bulunarak toplam günışığı alan bölgenin alanı bulunur. Bu eşitlikler aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$A_{D1} = a_{D1} \times b_{D1} \quad (3.30)$$

$$A_{Dn} = a_{Dn} \times b_{Dn} \quad (3.31)$$

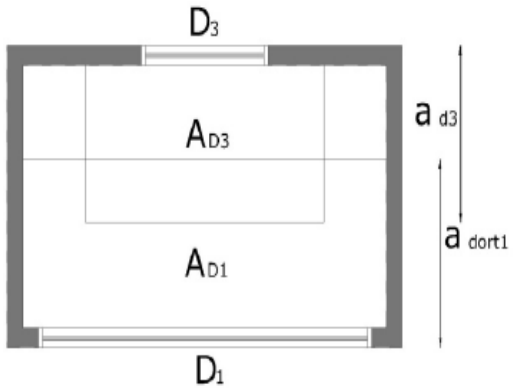
$$A_{DT} = A_{D1} + A_{D2} + \cdots + A_{Dn} \quad (3.32)$$

Karşılıklı duvarlarda bir veya birden fazla pencere olması durumunda (D1-D3 ya da D2-D4 duvarları) günışığı alan bölgelerin alanları ayrı ayrı bulunarak üst üste düşme durumu olup olmadığı kontrol edilir. D1 ve D3 duvarlarında birden fazla pencere olması durumunda günışığının üst üste düşmesi durumu varsa toplam alan A_D olarak alınmalıdır. Üst üste düşme kontrolü yapılması için $a_{d\ duvar1}$ ve $a_{d\ duvar3}$ değerleri ortalama değer olarak hesaplanmalıdır.

$$a_{d\ duvar1,3} = a_{dort1,3} \tag{3.33}$$

Birinci duvarda birden fazla pencere varsa ve üçüncü duvarda tek bir pencere varsa, birinci duvar için $a_{d\ duvar1} = a_{dort1}$ alınır. Üçüncü duvar için ise bu duvardaki pencerenin a_d değeri alınarak üst üste düşme kontrolü yapılır ve üst üste düşen alan toplam alandan çıkarılır.

$$A_{Dkes} = (a_{d3} + a_{dort1} - a) \times b_{d3} \tag{3.34}$$



Şekil 3.8. Birinci ve üçüncü duvarlarda pencere olması durumu (Anonymous, 2007)

Birinci duvarda tek pencere, üçüncü duvarda ise birden fazlan pencere olması durumunda $a_{d\ duvar3} = a_{dort3}$ alınır ve birinci duvardaki pencere için ise $a_{d\ duvar1} = a_{d1}$ alınır. Bundan sonra ise üst üste düşme durumu olup olmadığı kontrol edilerek üst üste düşen bölgenin alanı toplam alandan çıkarılır.

$$A_{Dkes} = (a_{d1} + a_{dort3} - a) \times b_{d1} \tag{3.35}$$

Her iki duvarda da birer tane pencere olması durumunda günışığı alan bölgenin uzunluğu ayrı ayrı hesaplanarak toplam günışığı alan bölgenin alanı bulunur. Bu durum için gereken eşitlikler aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$a_{kes} = a_{d1} + a_{d2} - a \tag{3.36}$$

$$b_{kes} = (x_1 - a_{d1}/4 + b_{d1}) + (x_3 - a_{d2}/4 + b_{d2}) - b \tag{3.37}$$

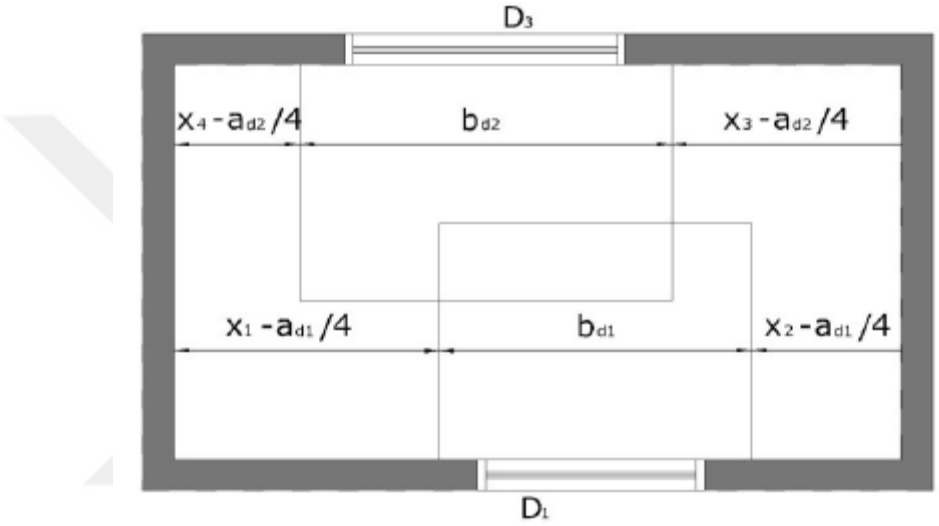
$$A_{KES} = a_{kes} \times b_{kes} \tag{3.38}$$

$$A_{DT} = A_{D1} + A_{D2} - A_{KES} \tag{3.39}$$

Üst üste düşme durumu yoksa günışığı alan bölgenin alanını hesaplamak için Denklem (3.40) eşitliği kullanılır.

$$A_{DT} = A_{D1} + A_{D2} \tag{3.40}$$

Birinci ve üçüncü duvarlarda birer pencere olması durumunda günışığı alan bölgenin uzunluğunu ve derinliğe bağlı uzunluğu ifade eden durum Şekil 3.9'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Birinci ve üçüncü duvarlarda birer pencere bulunması durumu

Yukarıdaki değerlendirmeler pencerelerin birinci ve üçüncü duvarlarda olması durumunda geçerlidir. Bu değerlendirmeleri ek olarak ikinci ve dördüncü duvarlardaki pencereler için de yapmak gerekir.

İkinci ve dördüncü duvarlarda birden fazla pencere olması durumunda günışığı alan bölgenin derinlikleri her iki duvardaki pencereler için ortalama değer alınır. Bu durum Denklem (3.41)'de gösterildiği gibidir.

$$a_{d\ duvar2} = a_{dort2} \tag{3.41}$$

$$a_{d\ duvar4} = a_{dort4} \tag{3.42}$$

İkinci duvarda birden fazla, dördüncü duvarda ise tek bir pencere olması durumunda $a_{d\ duvar2} = a_{dort2}$ olarak, $a_{d\ duvar4} = a_{d4}$ olarak alınır. Bu durum Denklem

(3.43)'de gösterilmiştir. Üst üste düşme durumu varsa üst üste düşen bölgenin alanı toplam alandan çıkartılır.

$$A_{DKES} = (a_{d4} + a_{dort2} - b) \times b_{d4} \quad (3.43)$$

Yukarıdaki durumdan farklı olarak dördüncü duvarda birden fazla, ikinci duvarda tek bir pencere olması durumunda $a_{d\ duvar2} = a_{d2}$, $a_{d\ duvar4} = a_{dort4}$ olarak alınır. Bu durum Denklem (3.44)'de gösterilmiştir.

$$A_{DKES} = (a_{d2} + a_{dort4} - b) \times b_{d2} \quad (3.44)$$

İkinci ve dördüncü duvarda da birer pencere olması durumunda günışığı alan bölgelerin kesiştiği yerin derinliği ve uzunluğu aşağıdaki denklemlerde ifade edildiği gibidir. Derinlik ve uzunluk birimleri yardımıyla toplam günışığı alan bölgelerin kesiştiği alan bulunarak toplam günışığı alan bölgenin alanından çıkartılmalıdır.

$$a_{kes} = a_{d1} + a_{d2} - b \quad (3.45)$$

$$b_{kes} = (x_1 - a_{d1}/4 + b_{d1}) + (x_3 - a_{d2}/4 + b_{d2}) - a \quad (3.46)$$

$$A_{KES} = a_{kes} \times b_{kes} \quad (3.47)$$

$$A_{DT} = A_{D1} + A_{D2} - A_{KES} \quad (3.48)$$

Günışığı alan bölgelerin kesişmemesi durumunda Denklem (3.49)'daki eşitlik kullanılır.

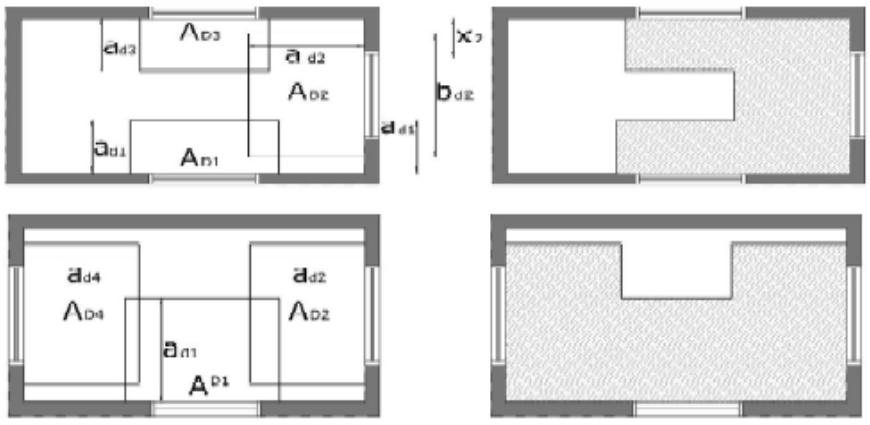
$$A_{DT} = A_{D1} + A_{D2} \quad (3.49)$$

Eğer pencereler karşılıklı duvarlarda değil de yan yana bulunan duvarlarda ise bu durumda yukarıda tanımlanan eşitlikler yardımıyla günışığı alan bölgelerin kesişen bölümleri toplam alandan çıkarılarak günışığı alan bölgenin toplam alanı bulunur. Yan yana bulunan duvarlarda pencere olması durumu Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



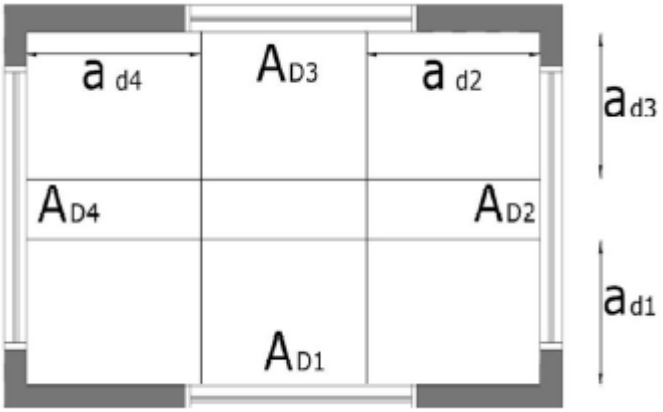
Şekil 3.10. Köşe duvarlarda pencereler olması durumu (Anonymous, 2007)

Şekil 3.11'de üç farklı duvarda bir veya birden fazla pencere olması durumunda günışığından yararlanılan bölgenin toplam alanı gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Üç farklı duvarda bir veya birden fazla duvar olması durumu

Şekil 3.12'de ise dört duvarda da bir ya da birden fazla pencere olması durumunda günışığı alan bölgelerin toplam alanları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Dört duvarda bir veya birden fazla pencere olması durumu (Anonim, 2010)

Aydınlatılacak bölgenin günışığı alan kısmının alanı bulunduktan sonra günışığı sağlama faktörünün ($F_{D,S}$) hesaplanması aşamasına geçilebilir. Günışığı sağlama faktörünün hesaplanabilmesi için geçirgenlik indisi (I_T), derinlik indisi (I_{DE}) ve engel indisi (I_O) faktörlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Geçirgenlik indisinin hesaplanabilmesi için önceki bölümlerde incelenen aydınlatılacak bölgedeki pencere alanı (A_C) ve aydınlatılacak bölgenin günışığı alan kısmının alanının (A_D) bilinmesi gerekmektedir. Bu duruma ilişkin eşitlik Denklem (3.50)'de gösterildiği gibidir.

$$I_T = A_C / A_D \tag{3.50}$$

I_T: Geçirgenlik indisi

A_C: Pencere Alanı (m^2)

A_D: Günışığı alan bölgenin alanı (m^2)

Geçirgenlik indisi hesaplandıktan sonraki aşamada derinlik indisinin hesaplanması gerekmektedir. Derinlik indisinin hesaplanabilmesi için aydınlatılacak olan bölgedeki günışığı alan bölgenin derinliği, bölgedeki pencerenin üst kotunun yüksekliği ve çalışma düzleminin yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu durumu tanımlayan eşitlik Denklem (3.51)'de gösterildiği gibidir.

$$I_{DE} = a_D/(h_{Li} - h_{çd}) \quad (3.51)$$

I_{DE}: Derinlik indisi

a_D: Günışığı alan bölgenin derinliği

h_{Li}: Pencerenin üst kotunun yerden yüksekliği (Lento yüksekliği)

$h_{çd}$: Çalışma düzleminin yerden yüksekliği

Geçirgenlik indisi ve derinlik indisi hesaplandıktan sonra engel indisinin de hesaplanması gerekmektedir. Engel indisi (I_O), karşı bina engel için düzeltme faktörü, yatay saçak için düzeltme faktörü, düşey gölgeleme elemanı için düzeltme faktörü, avlu ve atrium için düzeltme faktörü, camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü gibi verilere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu durum Denklem (3.52)'deki eşitlikte gösterildiği gibidir.

$$I_O = I_{O,OB} \times I_{O,OV} \times I_{O,SF} \times I_{O,CA} \times I_{O,GDF} \quad (3.52)$$

I_O: Engel indisi

$I_{O,OB}$: Karşı bina engel için düzeltme faktörü

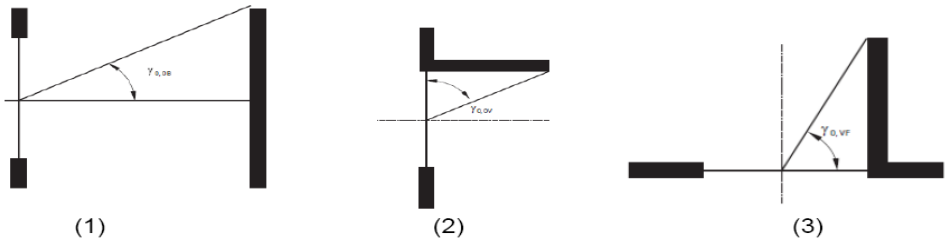
$I_{O,OV}$: Yatay saçak için düzeltme faktörü

$I_{O,VF}$: Düşey gölgeleme elemanı için düzeltme faktörü

$I_{O,CA}$: Avlu veya atrium için düzeltme faktörü

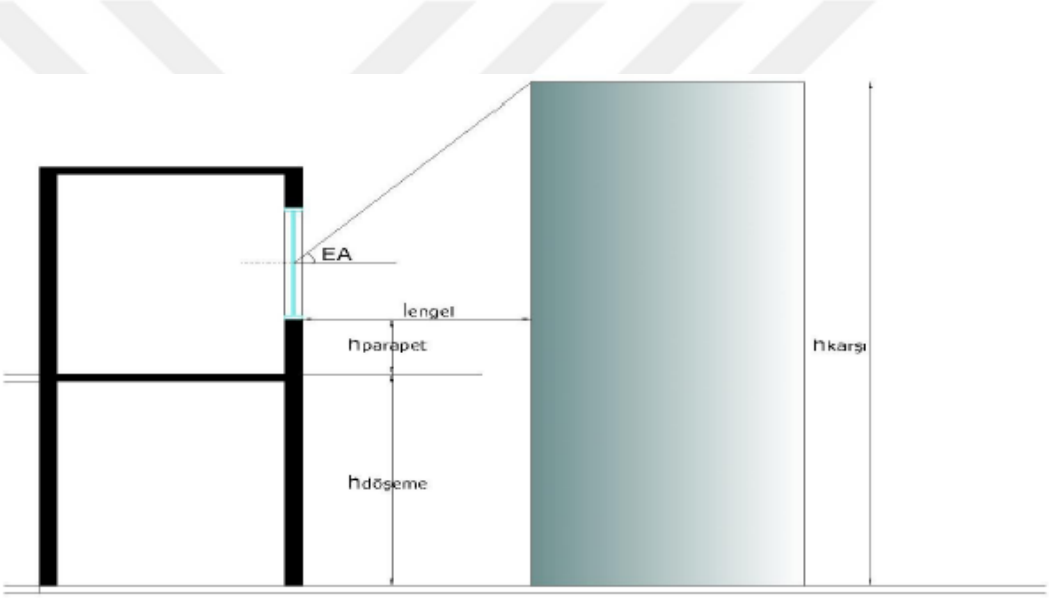
$I_{O,GDF}$: Camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü

Şekil 3.13'de gösterilen birinci şekilde pencerenin karşısında engel olması durumu, ikinci şekilde pencereye dik durumda yatay bir engelin olması durumu, üçüncü şekilde ise pencereye dik bir engelin olması durumları ayrı ayrı gösterilmektedir. Bu engel indisleri hesaplanarak toplam engel indisi bulunmuştur.



Şekil 3.13. Çeşitli engellerin pencerenin konumuna göre durumları

Pencerenin karşısında engel olması durumunda karşı bina engel için düzeltme faktörünün ($I_{O,OB}$) hesaplanması gerekmektedir. $I_{O,OB}$ faktörünün hesaplanabilmesi için pencerenin karşısındaki engelin üst kotuyla pencerenin orta noktası arasında kalan engel açısının (EA) bulunması gerekir. Bu durum Şekil 3.14'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.14. Aydınlatılacak bölgedeki pencerenin karşısında engel bulunması durumu (Anonim, 2010)

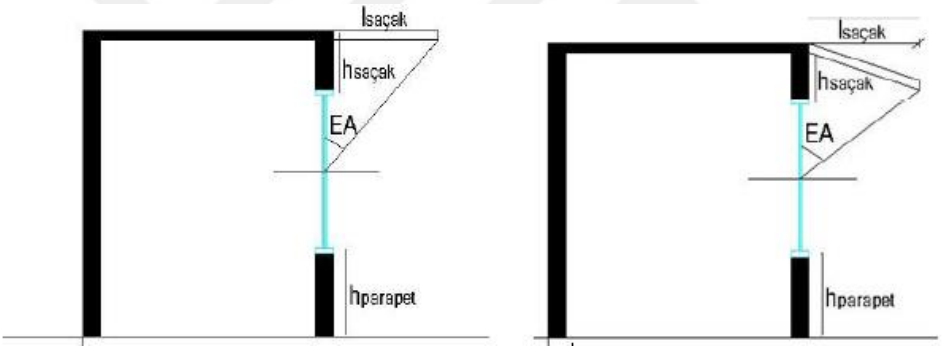
Engel açısının 60°' den büyük olması durumunda günışığının enerji verimliliği üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durumda $I_{O,OB}$ = 0 alınır. Engel açısının 60°'den küçük olması durumunda ise hesaplamalar aşağıdaki Denklem (3.53)'e göre yapılır.

$$I_{O,OB} = \cos\ (1.5 \times EA_{bina}) \tag{3.53}$$

Pencereye dik durumda yatay bir engelin bulunması durumunda (pencere üzerindeki saçak gibi) yatay saçak için düzeltme faktörünün ($I_{O,OV}$) hesaplanması gerekmektedir. Saçağın uç noktası ile pencerenin orta noktası arasında kalan engel açısının 67.5°'den büyük olması durumunda günışığının enerji verimliliği üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Bu durumda $I_{O,OV} = 0$ alınır. Eğer engel açısı 67.5°'den küçük ise bu durumda hesaplamanın yapılması gerekmektedir. Yatak saçak için düzeltme faktörünün hesaplanmasına dair işlemler Denklem (3.54)'de gösterildiği gibidir.

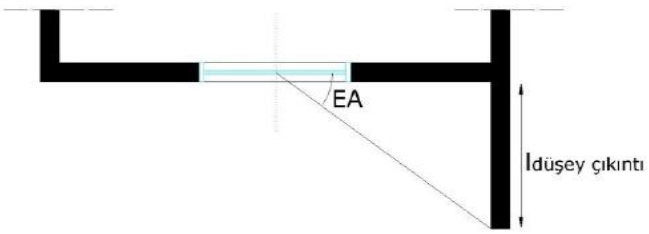
$$I_{O,OV} = \cos\ (1.33 \times EA_{saçak}) \tag{3.54}$$

Pencereye dik durumda yatay bir engelin olması durumu Şekil 3.15'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.15. Pencereye dik durumda yatay engel olması durumu (Anonim, 2010)

Pencerenin karşısında bir engel olması durumu ve pencereye dik durumda yatay bir engelin olması durumu incelendikten sonra pencereye dik bir engelin olması durumu incelenmelidir. Pencereye dik bir engelin bulunması durumu Şekil 3.16'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.16. Pencereye dik bir engelin olması durumu

Pencereye dik bir engelin olması durumunda düşey gölgeleme elemanı için düzeltme faktörü $I_{O,VF}$ hesaplanmalıdır. Bu hesaplama Denklem (3.55)' deki eşitlik yardımıyla gerçekleştirilir.

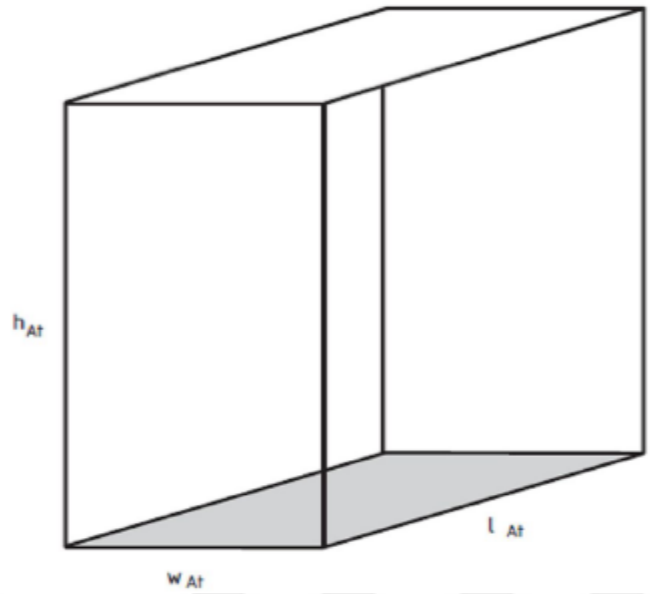
$$I_{O,VF} = 1 - EA_{fin}/300 \quad (3.55)$$

Aydınlatılacak bölgede iç avlu ya da atrium bulunması durumunda avlu veya atrium için düzeltme faktörünün ($I_{O,CA}$) hesaplanması gerekmektedir. Aydınlatılacak olan mekanda iç avlu ya da atrium bulunmuyorsa $I_{O,CA}$ = 1 alınır. Atrium veya iç avlunun bulunması durumunda $I_{O,CA}$ faktörünün hesaplanabilmesi için iç avlu veya atriuma bağlı derinlik indisi (w_{i_d}), bulunulan kattan iç avlu veya atriumun en üst noktasına kadar olan yükseklik (h_{At}), atrium veya iç avlunun boyu (I_{At}), atrium veya iç avlunun eni (w_{At}) gibi faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Atrium veya iç avluya bağlı derinlik indisi Denklem (3.56)'daki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$w_{i_d} = h_{At} \times (I_{At} + w_{At})/(2 \times I_{At} \times w_{At}) \quad (3.56)$$

w_{i_d}: İç avlu veya atriuma bağlı derinlik indisi
h_{At}: Bulunulan kattan atrium veya iç avlunun en üst noktasına kadar olan yükseklik
I_{At}: Atrium veya iç avlunun boyu
w_{At}: Atrium veya iç avlunun eni

Şekil 3.17'de atrium veya iç avlunun geometrik ifadesi gösterilmektedir. Bu şekilde h_{At}, I_{At} ve w_{At} faktörleri görülmektedir.



Şekil 3.17. Atrium veya iç avlunun geometrik ifadesi

Denklem (3.57)'de iç avlular için düzeltme faktörünün hesaplanması, Denklem (3.58)'de ise atrium için düzeltme faktörünün hesaplanmasına dair eşitlikler görülmektedir. Derinlik indisinin 1.18 değerinden büyük olduğu durumlar için $I_{O,CA} = 0$ alınır.

İç avlu için düzeltme faktörü:

$$I_{O,CA} = (1 - 0.85) \times w_{i_d} \tag{3.57}$$

Atrium için düzeltme faktörü:

$$I_{O,CA} = \tau_{At} \times k_{AT1} \times k_{AT2} \times k_{AT3} \times (1 - 0.85) \times w_{i_d} \tag{3.58}$$

τ_{At}: Atrium camının ışık geçirgenliği

k_{AT1}: Atrium penceresinin doğrama çarpanı (genellikle 0.7)

k_{AT2}: Atrium cam kirlilik faktörü (genellikle 0.8)

k_{AT3}: Dik gelmeyen ışık düzeltmesi (genellikle 0.85)

Bundan sonraki aşamada camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörünün ($I_{O,GDF}$) hesaplanması gerekmektedir. Eğer aydınlatılacak bölgedeki pencerelerde çift

cidar yoksa $I_{O,GDF}$ = 1 alınır. Aydınlatılacak olan bölgedeki pencerelerde çift cidar bulunması durumunda işlemler Denklem (3.59)'daki eşitliğe göre yapılır.

$$I_{O,GDF} = \tau_{GDF} \times k_{1\,GDF} \times k_{2\,GDF} \times k_{3\,GDF} \quad (3.59)$$

$I_{O,GDF}$: Camlı çift cidarlı pencere için düzeltme faktörü
τ_{GDF}: Çift cidarlı camın ışık geçirgenliği
$k_{1\,GDF}$: Pencere doğrama çarpanı (genellikle 0.7)
$k_{2\,GDF}$: Cam kirlilik faktörü (genellikle 1)
$k_{3\,GDF}$: Dik gelmeyen ışık düzeltmesi (genellikle 0.85)

Karşı bina engel için düzeltme faktörü ($I_{O,OB}$), yatay saçak için düzeltme faktörü ($I_{O,OV}$), düşey gölgeleme elemanı için düzeltme faktörü ($I_{O,VF}$), iç avlu veya atrium için düzeltme faktörü ($I_{O,CA}$) ve camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü ($I_{O,GDF}$) verileri bulunduktan sonra engel indisinin (I_O) hesaplanması aşamasına geçilebilir. Engel indisinin hesaplanabilmesi için kullanılan eşitlik Denklem (3.60)' da gösterildiği gibidir.

Engel indisinin hesaplanması:

$$I_O = I_{O,OB} \times I_{O,OV} \times I_{O,VF} \times I_{O,CA} \times I_{O,GDF} \quad (3.60)$$

Engel indisi (I_O) de hesaplandıktan sonra, günışığı faktörünün (D_C) hesaplanması gerekmektedir. Günışığı faktörü, geçirgenlik indisi (I_T), derinlik indisi (I_{DE}) ve engel indisine (I_O) bağlı olarak Denklem (3.61)'deki eşitlikte ifade edildiği gibi hesaplanır.

$$D_C = (4.13 + 20 \times I_T - 1.36 \times I_{DE}) \times I_O \quad (3.61)$$

Günışığı faktörü belirlendikten sonra günışığı faktörünün sınıflandırılması aşamasına geçilir. Günışığının etkisi zayıf, orta, güçlü ve etkisiz olarak sınıflandırılmaktadır. Bunun için günışığı faktörü, cam ışık geçirgenliği, pencere doğrama çarpanı, cam kirlilik faktörü, dik gelmeyen ışık düzeltmesi gibi faktörlerin bulunarak D değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bulunan D değeri ve günışığı faktörü (D_C) yardımıyla günışığının zayıf, orta, güçlü ve etkisiz olarak hangi düzeyde

etki ettiği belirlenir. D değerinin belirlenmesi için kullanılan formül Denklem (3.62)' de gösterildiği gibidir.

$$D = D_C \times \tau \times k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (3.62)$$

τ: Cam ışık geçirgenliği

k_1: Pencere doğrama çarpanı (genellikle 0.7)

k_2: Cam kirlilik faktörü (genellikle 0.8)

k_3: Dik gelmeyen ışık düzeltmesi (genellikle 0.85)

Çizelge 3.5'de aydınlatılacak olan bölgede kullanılan pencerelerdeki bazı camlara ait ışık geçirgenliği faktörü değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Bazı cam türlerine göre geçirgenlik katsayısı (Anonim, 2010)

Cam Türü	Geçirgenlik(τ)
Yalınkat Cam, 4 mm	34
Yalınkat Cam, 6 mm	34
Isıcam Yalıtım Camları	31
Düz Cam, 3 mm	90
Düz Cam, 4 mm	89
Düz Cam, 5 mm	89
Düz Cam, 15 mm	83
Yalınkat camlar- Yeşil (4mm)	78
Yalınkat camlar- Füme (4mm)	57
Yalınkat camlar- Mavi (4mm)	66
Isı yalıtımlı- Yeşil	64
Isıcam Klasik (4+4)	80
Isıcam Klasik (6+6)	78
Isıcam Sinerji (4+4)	79
Isıcam Sinerji (6+6)	77
Isıcam Konfor (4+4)	71
Isıcam Konfor (6+6)	69

Denklem (3.61) ve Denklem (3.62)'deki eşitlikler yardımıyla D_C ve D değerleri bulunduktan sonra günışığı etkisinin sınıflandırılması yapılmalıdır. D_C ve D değerlerine göre günışığı etkisinin sınıflandırılması Çizelge 3.6'de gösterildiği gibidir. Çizelge 3.6'deki değerlere göre D ve D_C faktörlerinden hangi faktör daha küçük bir değerde ise günışığı etkisinin sınıflandırılması küçük olan değere göre yapılır. Bu durum Çizelge 3.6'de görülmektedir.

Çizelge 3.6. D_C ve D değerlerine göre günışığı etkisinin sınıflandırılması

Sınıflandırma		Günışığı etkisi
D_C	D	
$D_C \geq \%6$	D > %3	Güçlü
$\%6 > D_C \geq \%4$	$\%3 > D \geq \%2$	Orta
$\%4 > D_C \geq \%2$	$\%2 > D \geq \%1$	Zayıf
$D_C < \%2$	%1 > D	Etkisiz

Çizelge 3.6'deki değerlere ve ifadelere göre günışığının etkisi belirlenmektedir. Günışığının etkisi belirlendikten sonra günışığı sağlama faktörünün ($F_{D,S}$) hesaplanması gerekmektedir. Günışığı sağlama faktörü aydınlatılacak bölgedeki yapının bulunduğu konuma ve aydınlatma yapılacak bölgenin aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine bağlı olarak hesaplanan a_{fds} ve b_{fds} katsayılarına bağlı olarak hesaplanmaktadır (Parise ve ark., 2013) . Bu durum Denklem (3.63)'de ifade edildiği gibidir.

$$F_{D,S} = a_{fds} + b_{fds} \times \gamma_{enlem} \tag{3.63}$$

$F_{D,S}$: Günışığı sağlama faktörü

a_{fds}, b_{fds}: Aydınlatılacak bölgenin aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine göre değişen katsayılar

γ_{enlem}: Aydınlatılacak bölgenin enlem olarak konumu

Çizelge 3.7'de aydınlatılacak bölgenin aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine bağlı olarak değişen a_{fds} ve b_{fds} katsayıları görülmektedir. Bu katsayılar ve bölgenin konumuna göre günışığı sağlama faktörü hesaplanır.

Çizelge 3.7. Aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine bağlı olarak a_{fds} ve b_{fds} katsayıları (Anonim,2010)

Aydınlık düzeyi (lx)	Günışığı etkisi	a_{fds}	b_{fds}
300	Zayıf	1.2425	-0.0117
	Orta	1.3097	-0.0106
	Güçlü	1.2904	-0.0088
500	Zayıf	0.9432	-0.0094
	Orta	1.2425	-0.0117
	Güçlü	1.322	-0.011
750	Zayıf	0.6692	-0.0067
	Orta	1.0054	-0.0098
	Güçlü	1.2812	-0.0121

Çizelge 3.7'de görüldüğü gibi a_{fds} ve b_{fds} katsayıları 300, 500 ve 750 lux değerindeki üç aydınlık düzeyi değeri ve üç farklı aydınlık düzeyine göre hesaplanmıştır. Bu katsayıların değeri 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Tebliği'ne göre yapılmıştır.

a_{fds} ve b_{fds} katsayıları bulunduktan sonra aydınlatılacak olan bölgenin enlem derecesi de hesaba katılarak günışığı sağlama faktörü değeri hesaplanır. Bu faktörün bölgenin enlem derecesi, günışığı etkisine bağlı a_{fds} ve b_{fds} katsayılarına bağlı olarak hesaplanması sonucunda bulunan değerler Çizelge 3.8'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.8. Aydınlık düzeyi, günışığı etkisi ve enlem derecesine bağlı olarak belirlenen $F_{D,S}$ değerleri

Aydınlık Düzeyi(lx)	Günışığı Etkisi	Enlem					
		36	37	38	39	40	41
300	Zayıf	0.8213	0.8096	0.7979	0.7862	0.7745	0.7628
	Orta	0.9281	0.9175	0.9069	0.8963	0.8857	0.8751
	Güçlü	0.9736	0.9648	0.956	0.9472	0.9384	0.9296
500	Zayıf	0.6048	0.5954	0.586	0.5766	0.5672	0.5578
	Orta	0.8213	0.8096	0.7979	0.7862	0.7745	0.7628
	Güçlü	0.926	0.915	0.904	0.893	0.882	0.871
750	Zayıf	0.428	0.4213	0.4146	0.4079	0.4012	0.3945
	Orta	0.6526	0.6428	0.633	0.6232	0.6134	0.6036
	Güçlü	0.8456	0.8335	0.8214	0.8093	0.7972	0.7851

Günışığı sağlama faktörü hesaplandıktan sonra günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü faktörü ($F_{D,C}$) değeri hesaplanmalıdır. Günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü faktörü değeri aydınlatma kontrol sisteminin türüne ve günışığı etkisine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum Çizelge 3.9'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.9. Aydınlatma Sisteminin kontrolü ve günışığı etkisine bağlı olarak bulunan $F_{D,C}$ değerleri (Anonim, 2010)

Yapma Aydınlatma Sisteminin Kontrolü	Günışığı girişine bağlı olarak $F_{D,C}$ değerleri		
	Zayıf	Orta	Güçlü
Manuel	0.2	0.3	0.4
Otomatik	0.75	0.77	0.85

Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'da bulunan değerler yardımıyla Denklem (3.19)'da günışığı bağımlılık faktörü (F_D) bulunabilir. Bu değer araştırma sonuçları ve tartışmaları bölümünde detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Toplam kurulu aydınlatma gücü, kullanıma bağlı faktör, günışığına bağlı faktör gibi veriler incelendikten sonra yıllık toplam harcanan aydınlatma enerjisi miktarını hesaplayabilmek için gün saatleri kullanımı (t_D) ve gün saatleri dışındaki kullanım (t_N) sürelerinin de hesaplanması gerekmektedir. Bu sürelerin hesaplanmasına dair yöntem aşağıda açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasında beş farklı bina ve beş farklı şehir için yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanacağı için her binanın kendine ait bir çalışma saatleri ile her şehrin kendisine ait gün saatleri bulunmaktadır. Bu yüzden her şehrin ve her bina türünün kendisine has özellikleri dikkate alınarak toplam gün saatleri kullanımı ve toplam gün saatleri dışındaki kullanım bu özellikler dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Bu saatler hesaplanırken kullanılan yöntemin mantığı çalışma saatleri içerisinde günışığından ne kadarlık bir süre yararlanıldığı ve yararlanılamadığıdır. Çalışma saatleri içerisinde günışığından yararlanılan süre gün saatleri kullanımını, çalışma saatleri içerisinde günışığından yararlanılamayan süre ise gün saatleri dışındaki kullanımı temsil etmektedir. İstanbul şehri için Ocak ayı içerisindeki gün saatleri ve tüm aylar için çalışma saatleri aşağıdaki gibi tanımlanmış olsun.

İstanbul için ocak ayı gün saatleri:
08:00 – 17:00
GU_1: 08:00 (1.gün saati)
GU_2: 17:00 (2.gün saati)

İstanbul şehrinde tüm aylar için çalışma saatleri:
09:00 - 18:00
$ÇS_1$: 09:00 (1.çalışma saati)
$ÇS_2$: 18:00 (2.çalışma saati)

$ÇS_1 \geq GU_1$ ise $ÇS_1 = t_{D1}$ olmaktadır. $ÇS_1 < GU_1$ ise $GU_1 = t_{D1}$ olmaktadır. $ÇS_2 \leq GU_2$ ise $ÇS_2 = t_{D2}$ olmaktadır. $ÇS_2 > GU_2$ ise $GU_2 = t_{D2}$ olmaktadır.

Denklem (3.64) ve Denklem (3.65)'de gün saatleri kullanımı (t_D) ve gün saatleri dışındaki kullanım (t_N) değerlerinin hesaplanması için kullanılan eşitlikler gösterilmektedir.

Gün saatleri kullanım süresinin hesaplanmasına dair denklem:

$$t_D = t_{D2} - t_{D1} \tag{3.64}$$

Gün saatleri dışındaki kullanım süresinin hesaplanmasına dair denklem:

$$t_N = ÇS - t_D \tag{3.65}$$

Gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım süreleri aydınlatma yapılacak bina türüne ve bina türünün bulunduğu şehrin konumuna göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu sürelerin hesaplanması dördüncü bölüm olan araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde detaylı olarak incelenmiştir.

Yıllık harcanan toplam aydınlatma enerjisi miktarının hesaplanması için gerekli olan toplam kurulu aydınlatma gücü, kullanıma bağlı faktör, günışığına bağımlılık faktörü, gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım süreleri gibi faktörler bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Ancak sabit aydınlık faktörü olan F_C faktörü bu bölümde ve tez çalışmasında ele alınmayacaktır. Çünkü sabit aydınlık faktörü sadece loşlaştırma (dimleme) yapılan aydınlatma kontrol sistemlerinde hesaba katılmaktadır. Eşit bir düzeyde aydınlatma kontrol sistemlerinin karşılaştırmasının yapılabilmesi için sabit aydınlık faktörü hesaba katılmayacaktır. Bu bölümde incelenen faktörler kullanılarak araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde beş farklı şehir ve beş farklı bina türü için yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanarak, bina türleri ve şehirlere göre yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı karşılaştırılmış, ayrıca kullanılan kontrol sistemlerinde tüketilen aydınlatma enerji miktarları da kıyaslanarak, hangi kontrol sisteminin daha verimli olduğunu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde aydınlatma enerjisi için kullanılan toplam enerji tüketimi bulunarak beş farklı şehre, beş farklı bina türüne ve çeşitli kontrol sistemlerine göre karşılaştırmalar yapılacak ve hangi kontrol sisteminde ne kadarlık bir enerji tüketimi gerçekleştirildiği bulunarak, kontrol sistemleri için bir öneri yapılacaktır. Yıllık olarak toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı üçüncü bölümde tanımlanan Denklem (3.9)'daki eşitlik uyarınca gerçekleştirilecektir. Yıllık olarak tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı ve parazit güç için harcanan enerji miktarları ise üçüncü bölümde tanımlanan Denklem (3.10) ve Denklem (3.11)'deki eşitlikler uyarınca gerçekleştirilecektir. Bu denklemleri tekrar hatırlayacak olursak aşağıda tanımlandığı gibidir.

Toplam harcanan aydınlatma enerjisi miktarı:

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \tag{4.1}$$

Aydınlatma için harcanan enerji:

$$W_{L,t} = \sum\{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_O \times F_D) + (t_N \times F_O)]\}/1000\ (kWh) \tag{4.2}$$

Parazit güç için harcanan enerji:

$$W_{P,t} = \sum\{(P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \times t_{em})\}/1000\ (kWh) \tag{4.3}$$

Aydınlatma ve parazit güç için harcanan enerjiler ayrı olarak hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan kontrol sistemleri aygıtlarının türü ve sayısı tam olarak bilinmediği için parazit güç için harcanan enerji miktarı aydınlatılacak olan bölgenin alanına bağlı olarak 5 kWh/m^2 değerinde bir sabit olarak alınmıştır. Acil durum aydınlatması için kullanılan aygıtların şarj güçleri enerjisi için ise yine aydınlatılacak olan bölgenin alanına bağlı olarak 1 kWh/m^2 değerinde bir sabit kullanılmaktadır. Bu sabitler EN 15193 ve 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi Tebliği' uyarınca hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu tez çalışmasında acil durum aydınlatması için harcanan enerji miktarı ihmal edilmiştir. Bu durumda parazit güç için harcanan toplam enerji miktarı aydınlatılacak bölgenin alanına bağlı olarak 5 kWh/m^2 değerinde bir sabit olarak alınmıştır (Martirano, 2011).

Aydınlatma için harcanan enerji miktarını bulmak için ise aydınlatılacak olan bölgedeki toplam kurulu aydınlatma gücü, kullanıma bağlı faktör, günışığı bağımlılık faktörü, gün saatleri kullanım süresi, gün saatleri dışındaki kullanım süresi ve sabit aydınlık faktörü değerleri bulunarak aydınlatma için harcanan enerji miktarı değerine ulaşılmıştır. Ancak sabit aydınlık faktörü (F_C) loşlaştırma (dimerli) kontrol sistemleri için kullanıldığından bu tez çalışmasında hesaplamalara dahil edilmeyecektir. Aydınlatma için harcanan enerji miktarı ile parazit güç için harcanan enerji miktarları hesaplandıktan sonra aydınlatma için harcanan toplam enerji miktarı değerine ulaşılmıştır. Bunun için ilk olarak aydınlatılacak olan bölgedeki kurulu aydınlatma gücü miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama 4.1'inci bölümde ele alınmıştır.

4.1. Beş Farklı Bina Tipi İçin Toplam Kurulu Aydınlatma Gücünün Hesaplanması

Bu tez çalışmasında açık ofis (7 kişilik ve üstü), hastane hasta odası, ilköğretim dersliği, imalathane (fabrika) ve otel odası olmak üzere beş farklı bina türü için hesaplamalar yapılmıştır. "EN 12464-1 Işık ve ışıklandırma-İş mahallerinin aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı alandaki iş mahalleri" standardına göre hasta odası, ilköğretim sınıfı ve otel odası için aydınlık düzeyi seviyesi 300 lx, 7 kişilik ve üstü bir açık ofis binası için aydınlık düzeyi 500 lx, üretim yapılan bir fabrika için aydınlık düzeyi ise 750 lx değerinde alınmalıdır (Neufert ve ark., 1980) . Tüm aydınlatma yapılacak binaların kısa kenar uzunluğu a = 6 m, uzun kenar uzunluğu b = 10 m, armatür ile çalışma düzlemi arasındaki mesafe ise H = 1.9 m alınacaktır. Bakım faktörü olarak m = 0.8 değeri kullanılmıştır. Lamba türü olarak LED lambası kullanılmıştır. LED lambasının ışık akısı 4200 lm değerindedir. Üçüncü bölümde tanımlanan Denklem (3.12) eşitliğine göre aydınlatılacak olan bölgelerdeki oda indeksi Denklem (4.4)'de hesaplandığı gibidir.

$$k = \frac{6\times10}{1.9\times(6+10)} = 1.97 \tag{4.4}$$

Denklem (4.4)'de tanımlanan oda indeksi uyarınca üçüncü bölümde yer alan Çizelge 3.1'de tanımlanan aydınlatma verim tablosundan verim faktörü η = 0.578 değerinde hesaplanır. Verim faktörü bulunduktan sonra aydınlatma yapılacak olan bölgedeki toplam ışık akısı miktarı Denklem (3.13)'deki eşitlik uyarınca

hesaplanmalıdır. Hasta odası, ilköğretim sınıfı ve otel odası için aydınlık düzeyi seviyesi EN 14644-1 standardına göre 300 lx değerinde alınmalıdır. Denklem (4.5)'de 300 lx değerinde aydınlık düzeyine sahip mekanlar için toplam ışık akısı miktarı hesaplanmıştır.

$$Ø_O = \frac{300 \times 6 \times 10}{0.578 \times 0.8} = 38927\ lm \tag{4.5}$$

Denklem (4.5)'de bulunan değer bir LED lambasının ışık akısı olan 4200 lm değerine bölünerek aydınlatılacak olan bölgedeki toplam kullanılacak armatür sayısına ulaşılır. Bu durum Denklem (4.6)'da ifade edildiği gibidir.

$$N = \frac{Ø_O}{Ø_{lamba}} = \frac{38927}{4200} = 9.27 \cong 10 \tag{4.6}$$

60 m^2'lik bir hastane hasta odası, ilköğretim sınıfı ve otel odası için kullanılmış olan armatür sayısı miktarı Denklem (4.6)'daki eşitlikte bulunduğu gibi 10 adettir. Denklem (4.7)'de ise 7 kişilik ve üstü bir açık ofis için toplam harcanan ışık akısı değeri tanımlanmıştır.

$$Ø_O = \frac{500 \times 6 \times 10}{0.578 \times 0.8} = 64878\ lm \tag{4.7}$$

Denklem (4.7)'de bulunan değer aydınlatılacak olan bölgede kullanılacak olan LED lamba türünün ışık akısına bölündüğü zaman ofis binasında kullanılması gereken toplam armatür sayısı miktarına ulaşılmıştır. Bu durum Denklem (4.8)'de tanımlandığı gibidir.

$$N = \frac{Ø_O}{Ø_{lamba}} = \frac{64878}{4200} = 15.44 \cong 16 \tag{4.8}$$

7 kişilik ve üstü açık ofis binası için kullanılması gereken armatür sayısı miktarı Denklem (4.8)'de tanımlandığı gibi 16 adet miktarındadır. Üretim yapılan bir fabrika için ise toplam hesaplanan ışık akısı miktarı değeri Denklem (4.9)'da tanımlandığı gibidir.

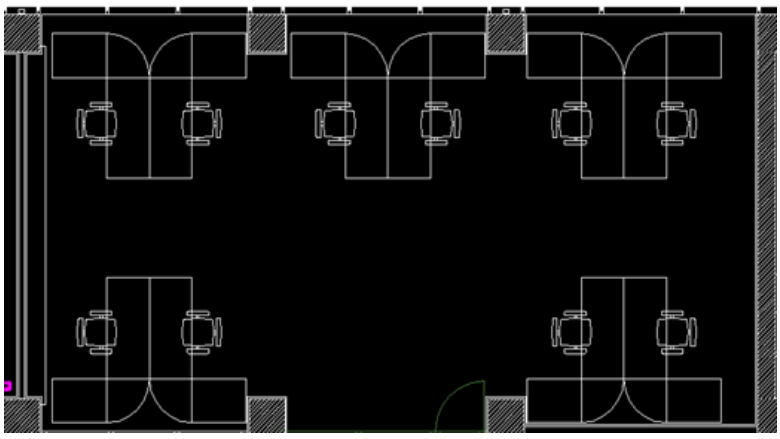
$$Ø_O = \frac{750 \times 6 \times 10}{0.578 \times 0.8} = 97318\ lm \quad (4.9)$$

Denklem (4.9)'da hesaplanan toplam ışık akısı değeri aydınlatma yapılacak olan bölgede kullanılan LED armatür tipinin toplam ışık akısına bölündüğü zaman fabrika bina türünde kullanılması gereken armatür sayısı miktarı bulunmuş olur. Bu durum Denklem (4.10)'da tanımlandığı gibidir.

$$N = \frac{Ø_O}{Ø_{lamba}} = \frac{97318}{4200} = 23.17 \cong 24 \quad (4.10)$$

Yukarıdaki denklemlerde bulunan toplam armatür sayısı miktarı, kullanılacak olan lamba türünün gücü ile çarpıldığı zaman toplam kurulu aydınlatma gücüne ulaşılır. Aydınlatma yapılacak olan lamba türü LED olarak kabul edilmiştir. Bir LED lambasının gücü 40 W değerindedir. Buna göre otel odası, hastane hasta odası ve ilköğretim sınıfı için toplam kurulu aydınlatma gücü (P_n) 400 W, açık ofis binası için toplam kurulu aydınlatma gücü 640 W, fabrika (imalathane) için toplam kurulu aydınlatma gücü değeri ise 960 W değerinde bulunur.

Şekil 4.1'de 10 kişilik bir açık ofis binası türüne ait AutoCAD ortamında çizilmiş bir çizim örneği görülmektedir.



Şekil 4.1. 10 kişilik açık ofis binasına ait çizim

Çizelge 4.1'de aydınlatma yapılacak olan bina türleri ile ilgili hesaplamaları yapılmış olan genel bilgiler verilmiştir. Hastane, okul ve otel için toplam kurulu aydınlatma gücü 400 W, ofis için toplam kurulu aydınlatma gücü 640 W, fabrika için ise toplam kurulu gücü 960 W değerinde bulunmuştur ve Çizelge 4.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Bina türlerine ait toplam kurulu aydınlatma gücü ve çeşitli bilgiler

Bina Türü	Hastane/Okul/Otel	Ofis	Fabrika
Aydınlık Düzeyi (lx)	300	500	750
Kısa kenar uzunluğu	6	6	6
Uzun kenar uzunluğu	10	10	10
Bölgenin alanı	60	60	60
Armatür yüksekliği	1.9	1.9	1.9
Oda indeksi (k)	1.97	1.97	1.97
Aydınlatma verimi (η)	0,578	0,578	0,578
Armatür Tipi	LED	LED	LED
Armatür gücü	40	40	40
Armatür ışık akısı	4200	4200	4200
Hesaplanan lamba sayısı	9.27	15.44	23.17
Kullanılacak olan lamba sayısı	10	16	24
Kurulu aydınlatma gücü (W)	400	640	960

Bu bölümde hesaplanan beş farklı bina türü için gereken toplam kurulu aydınlatma enerjisi gücü (P_n) Denklem (4.2) ve Denklem (3.10)'da tanımlanan yıllık tüketilen aydınlatma enerji miktarı hesaplanırken kullanılmıştır. Toplam kurulu aydınlatma enerjisinin bulunmasından sonra günışığı bağımlılık faktörü (F_D), kullanıma bağlı faktör (F_O), gün saatleri kullanımı (t_D) ve gün saatleri dışındaki kullanım (t_N) süreleri de hesaplanmıştır.

4.2. Gün Saatleri Kullanımı (t_D) ve Gün Saatleri Dışındaki Kullanım (t_N) Sürelerinin Hesaplanması

Gün saatleri kullanım süresi (t_D), çalışma saatleri içerisinde gün ışığından faydalanılan süreyi temsil etmektedir. Gün saatleri dışındaki kullanım süresi (t_N) ise çalışma saatleri içerisinde günışığından yararlanılamayan süreyi temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında beş farklı bina tipi ve beş farklı şehir kullanılacağı için her binaya ait çalışma saatleri ve her şehre ait güneş doğuş ve güneş batış saatleri bilinmelidir. Çizelge 4.2'de Antalya şehrinde bulunan bir ofis binasına ait gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süresine dair hesaplama işlemleri tablosal olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2'de tanımlanan gün saatleri her ayın 15.gününe ait değerlerdir. Üçüncü bölümde tanımlanan duruma göre $ÇS_1 \geq GU_1$ ise $ÇS_1 = t_{D1}$ olmaktadır. $ÇS_1 < GU_1$ ise $GU_1 = t_{D1}$ olmaktadır. $ÇS_2 \leq GU_2$ ise $ÇS_2 = t_{D2}$ olmaktadır. $ÇS_2 > GU_2$ ise $GU_2 = t_{D2}$ olmaktadır.

Çizelge 4.2. Antalya şehrinde bulunan bir ofis binasına ait t_D ve t_N süreleri

Antalya		Gün Saatleri		Çalışma Saatleri						İş Günü Sayısı	Aylık Süreler	
		GU_1	GU_2	$ÇS_1$	$ÇS_2$	t_{D1}	t_{D2}	t_D	t_N		t_D	t_N
AYLAR	1	07:05	17:07	09:00	18:00	09:00	17:07	08:07	00:53	22	177.54	11.66
	2	06:43	17:41			09:00	17:41	08:41	00:19	20	168.20	3.8
	3	06:04	18:09			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	4	06:19	19:36			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	5	05:45	20:02			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	6	05:33	20:22			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	7	05:46	20:20			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	8	06:10	19:52			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	9	06:35	19:08			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	10	07:01	18:24			09:00	18:00	09:00	00:00	22	198,00	0
	11	06:32	16:52			09:00	16:52	07:52	01:08	22	165.44	23.76
	12	06:39	16:46			09:00	16:46	07:46	01:14	22	164.12	25.08
Yıllık Süreler											2259.30	64.3

Üçüncü bölümde tanımlanan Denklem (3.64)' göre gün saatleri kullanımı aşağıdaki denklem uyarınca hesaplanır.

$$t_D = t_{D2} - t_{D1} \tag{4.11}$$

Gün saatleri kullanımı hesaplandıktan sonra gün saatleri dışındaki kullanım toplam çalışma saati süresinden gün saatleri kullanımı çıkarılarak hesaplanır. Bu durum Denklem (4.12)' de tanımlandığı gibidir.

$$t_N = ÇS - t_D \tag{4.12}$$

Gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım hesaplandıktan sonra aylık iş günü sayısı ile çarpılarak aylık olarak t_D ve t_N süreleri hesaplanır. Aylık olarak hesaplanan t_D ve t_N süreleri toplanarak yıllık olarak günışığı kullanımı ve günışığı dışındaki kullanım süreleri bulunmuş olur. Çizelge 4.2'deki veriler Antalya şehrinde bulunan bir ofis binasına ait t_D ve t_N değerleridir. Bu tez çalışmasında beş farklı bina ve beş farklı şehir için hesaplama yapılacağından dolayı diğer şehir ve bina tiplerine ait t_D ve t_N değerleri Çizelge 4.2'deki mantığa göre teker teker gerçekleştirilmiştir. Bulunan değerler aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.3'de beş farklı şehirde bulunan ofis ve fabrika bina türüne ait gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süresi değerleri gösterilmektedir. Ofis ve fabrika için çalışma saatleri ortak olduğundan dolayı değerler ortak bir çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Ofis ve fabrika bina türüne ve beş farklı şehre ait t_D ve t_N süreleri

Bina Tipi	Aylar	Adana		Ankara		Antalya		İstanbul		İzmir	
		t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N
Ofis/ Fabrika	Ocak	164.7	24.4	165.2	23.9	177.5	11.6	176.6	12.5	179.9	9.2
	Şubat	164.4	7.6	165.6	6.4	168.2	3.8	168.2	3.8	165.6	6.4
	Mart	187	2.2	198	0	198	0	198	0	198	0
	Nisan	198	0	198	0	198	0	198	0	198	0
	Mayıs	198	0	198	0	198	0	198	0	198	0
	Haziran	198	0	198	0	198	0	198	0	198	0
	Temmuz	198	0	198	0	198	0	198	0	198	0
	Ağustos	198	0	198	0	198	0	198	0	198	0
	Eylül	187	2.2	198	0	198	0	198	0	198	0
	Ekim	177.3	11.8	198	0	198	0	198	0	198	0
	Kasım	161.3	27.9	162.1	27.1	165.4	23.7	164.7	24.4	176.4	12.7
	Aralık	159.9	29.2	160.3	28.8	164.1	25.1	162.8	26.4	166.3	22.8
	Toplam	2192	106	2237	86	2259	64	2256	67	2272	51

Çizelge 4.3'de görüldüğü gibi t_D ve t_N değerleri arasında büyük bir fark bulunmaktadır. Bunun nedeni ofis ve fabrika bina türüne ait çalışma saatleri gün saatleri içerisinde bulunmasıdır. Çizelge 4.4'de hastane bina türüne ve beş farklı şehre ait gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım süreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Hastane bina türüne ve beş farklı şehre ait t_D ve t_N süreleri

Bina Tipi	Aylar	Adana		Ankara		Antalya		İstanbul		İzmir	
		t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N
Hastane	Ocak	220.4	298.7	208.1	311.1	220.4	298.7	159.1	312.4	209.8	309.3
	Şubat	211.6	260.4	209.8	262.2	211.6	260.4	209.2	262.8	210.8	261.2
	Mart	264.8	254.3	264.8	254.3	265.1	254.1	264.8	254.3	265.1	254.1
	Nisan	289.9	229.2	291.2	227.9	289.7	229.4	292.1	227.1	290.6	228.5
	Mayıs	311.7	207.4	314.8	204.3	311.7	207.4	316.1	203.1	313.2	205.9
	Haziran	318.7	200.4	331.5	187.6	318.7	200.4	333.3	185.9	320.7	198.4
	Temmuz	315.7	203.5	319.2	199.9	315.4	203.7	320.5	198.6	317.4	201.7
	Ağustos	295.2	223.9	297.4	221.7	295.2	223.9	298.3	220.8	296.3	222.8
	Eylül	271.2	247.9	271.7	247.5	271.2	247.9	272.1	247.1	271.4	247.7
	Ekim	247.2	271.9	245.9	273.2	247.1	272.1	245.5	273.6	246.6	272.5
	Kasım	224.4	294.8	221.5	297.6	224.4	294.8	220.4	298.7	222.8	296.3
	Aralık	208.1	311.1	204.6	314.6	221.5	297.6	202.8	316.3	206.5	312.6
	Toplam	3179	3004	3181	3002	3192	2991	3134	3001	3172	3011

Çizelge 4.4'deki gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süresi değerlerine bakıldığı zaman birbirine yakın değerler oldukları görülmektedir. Bunun nedeni hastane çalışma saatlerinin yaklaşık olarak 24 saat olması ve bu saatleri içerisinde gün saatlerinin de aylık olarak değişmesidir. Gün saatlerinden en çok yararlanılan ayların mayıs, haziran ve temmuz aylarında olduğu görülmektedir. En fazla gün ışığından faydalanılan şehrin ise Antalya olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5'de otel bina türüne ve beş farklı şehre ait t_D ve t_N süreleri görülmektedir.

Çizelge 4.5. Otel bina tipine ve beş farklı şehre ait t_D ve t_N değerleri

Bina Tipi	Aylar	Adana		Ankara		Antalya		İstanbul		izmir	
		t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N
Otel	Ocak	46.8	274.3	34.1	287.1	34.1	287.1	30.1	291.1	29.9	291.2
	Şubat	47.2	244.8	44.2	247.8	43.4	248.6	41	251	40.2	251.8
	Mart	69.1	252.1	66.8	254.3	67.1	254.1	66.8	254.3	67.1	254.1
	Nisan	91.9	229.2	93.2	227.9	91.7	229.4	94.1	227.1	92.6	228.5
	Mayıs	113.7	207.4	116.8	204.3	113.7	207.4	118.1	203.1	115.2	205.9
	Haziran	120.7	200.4	133.5	187.6	120.7	200.4	135.3	185.9	122.7	198.4
	Temmuz	117.7	203.5	121.2	199.9	117.4	203.7	122.5	198.6	119.4	201.7
	Ağustos	97.2	223.9	99.4	221.7	97.2	223.9	100.3	220.8	98.3	222.8
	Eylül	75.4	245.7	73.7	247.5	73.2	247.9	74.1	247.1	73.4	247.7
	Ekim	69.9	251.2	47.9	273.2	49.1	272.1	47.5	273.6	48.6	272.5
	Kasım	54.3	266.8	50.6	270.6	50.1	271.1	46.8	274.3	46.4	274.7
	Aralık	48.1	273.2	44.2	276.9	48.6	272.5	31.2	289.9	31.4	289.7
	Toplam	953	2873	926	2899	907	2918	908	2917	886	2939

Çizelge 4.5'deki değerlere göre gün saatleri dışındaki kullanım süresi, gün saatleri kullanım süresine göre daha büyük bir değerdir. Bunun nedeni otellerdeki yoğunluk miktarının akşam saatlerinde daha fazla olması ve çalışma saatleri içerisinde gün saatlerinden yararlanılamamasıdır.

Çizelge 4.6'da okul bina türüne ait gün ışığı kullanımı ve gün ışığı dışındaki kullanım süreleri gösterilmektedir. Bu sürelere bakıldığı zaman gün saatleri dışındaki kullanım süresinin çok az bir değerde olduğu görülmektedir. Gün saatlerinden en çok faydalanılan şehrin İzmir, en az faydalanılan şehrin ise Adana olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni şehirlerin bulunduğu konumların boylam derecesi olarak farklılık göstermesidir. Okul binası günışığından en fazla yararlanılan bina türüdür.

Çizelge 4.6. Okul bina türüne ve beş farklı şehre ait t_D ve t_N süreleri

Bina Tipi	Aylar	Adana		Ankara		Antalya		İstanbul		İzmir	
		t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N	t_D	t_N
Okul	Ocak	142.7	2.4	143.2	1.9	154	0	154	0	154	0
	Şubat	140	0	140	0	140	0	140	0	140	0
	Mart	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Nisan	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Mayıs	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Haziran	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Temmuz	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Ağustos	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Eylül	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Ekim	154	0	154	0	154	0	154	0	154	0
	Kasım	139.2	5.9	140.1	5.1	143.4	1.7	142.7	2.4	154	0
	Aralık	137.9	7.2	138.3	6.8	142.1	3.1	140.8	4.4	144.3	0.8
	Toplam	1792	16	1794	14	1812	5	1810	7	1824	2

Bu bölümde hesaplanan gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım sürelerinden faydalanılarak beş farklı şehir ve bina türüne ait yıllık harcanan toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

4.3. Günışığı Bağımlılık Faktörünün Hesaplanması (F_D)

Günışığı bağımlılık faktörü, günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü faktörüne ($F_{D,C}$) bağlı olarak Denklem (4.13)'de tanımlanan eşitlik uyarınca hesaplanmaktadır.

$$F_D = 1 - (F_{DS} \times F_{DC}) \tag{4.13}$$

Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanabilmesi için ilk olarak günışığı sağlama faktörünün bulunması gerekmektedir. Günışığı sağlama faktörü aydınlatılacak olan bölgenin aydınlık düzeyine ve günışığı etkisine bağlı olarak değişen a_{fds} ve b_{fds} katsayıları ile bölgenin enlem derecesine bağlı olarak Denklem (4.14)'de tanımlandığı gibidir.

$$F_{D,S} = a_{fds} + (b_{fds} \times \gamma_{enlem}) \tag{4.14}$$

a_{fds} ve b_{fds} katsayıları aydınlatılacak olan bölgenin aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine bağlı olarak EN 15193 standardında belirtilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.7'de tanımlandığı gibidir.

Çizelge 4.7. Aydınlık düzeyi ve günışığı etkisine göre değişen a_{fds} ve b_{fds} değerleri

Aydınlık Düzeyi (lx)	Günışığı Etkisi	a_{fds}	b_{fds}
300	Zayıf	1.2425	-0.0117
	Orta	1.3097	-0.0106
	Güçlü	1.2904	-0.0088
500	Zayıf	0.9432	-0.0094
	Orta	1.2425	-0.0117
	Güçlü	1.322	-0.011
750	Zayıf	0.6692	-0.0067
	Orta	1.0054	-0.0098
	Güçlü	1.2812	-0.0121

Çizelge 4.8'de tez çalışmasında kullanılacak olan beş farklı şehir için günışığı sağlama faktörü değerleri hesaplanmıştır. Bu çizelgeye göre aydınlatılacak olan bölgenin enlem derecesi arttıkça günışığı sağlama faktörünün değeri azalmaktadır. Ayrıca aydınlatma yapılacak olan bölgenin aydınlık düzeyi seviyesi arttıkça günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) değeri azalmaktadır.

Çizelge 4.8. Beş farklı şehir için hesaplanmış olan $F_{D,S}$ değerleri

Şehir	Enlem γ	Günışığı Sağlama Faktörü Değerleri ($F_{D,S}$)								
		300 lx			500 lx			750 lx		
	[°]	Düşük	Orta	Güçlü	Düşük	Orta	Güçlü	Düşük	Orta	Güçlü
Antalya	36	0.82	0.93	0.97	0.60	0.82	0.93	0.43	0.65	0.85
Adana	37	0.81	0.92	0.96	0.59	0.81	0.91	0.42	0.64	0.83
İzmir	38	0.79	0.91	0.96	0.58	0.79	0.90	0.41	0.63	0.82
Ankara	39	0.78	0.89	0.94	0.57	0.78	0.89	0.40	0.62	0.81
İstanbul	41	0.76	0.87	0.93	0.56	0.76	0.87	0.39	0.60	0.78

Günışığı bağımlılık faktörünün hesaplanmasında kullanılan bir başka değişken ise üçüncü bölümde tanımlanan günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol faktörü ($F_{D,C}$) değişkenidir. Çizelge 3.9'de tanımlanan günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi faktörü kullanılan aydınlatma kontrol sisteminin manuel ya da otomatik olmasına ve günışığı etkisinin zayıf, orta veya güçlü olmasına bağlı olarak değişmektedir. Üçüncü bölümde tanımlanan bu çizelge bu faktör Çizelge 4.9'da tekrar gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Günışığı etkisine ve kullanılan günışığına bağlı kontrol sistemine göre değişen $F_{D,C}$ faktörü değerleri

Yapma Aydınlatma Sisteminin Kontrolü	Günışığı Etkisine Bağlı Olarak $F_{D,C}$ değerleri		
	Düşük	Orta	Güçlü
Manuel	0.2	0.3	0.4
Günışığına bağlı otomatik kontrol	0.75	0.77	0.85

Çizelge 4.9'daki değerlere göre günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi manuel olduğu durumda, otomatik olduğu duruma göre $F_{D,C}$ değeri daha küçüktür. Bu durum yorumlandığında, Denklem (4.13)'de tanımlanan eşitliğe göre yapma kontrol sistemi otomatik olduğunda günışığı sağlama faktörünün ($F_{D,S}$) değeri daha küçük olmaktadır. Denklem (4.2)'deki eşitlikte tanımlanan yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi formülüne göre ise günışığı sağlama faktörünün daha küçük bir değerde olması durumunda yıllık harcanan aydınlatma enerjisi miktarı daha az olmaktadır.

Çizelge 4.10'da günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda aydınlatılacak bölgedeki günışığı etkisine ve aydınlık düzeyi seviyesine göre hesaplanan günışığı bağımlılık faktörü (F_D) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.10. Yapma Aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda günışığı etkisine ve aydınlık düzeyine göre değişen F_D değerleri

Şehir	Enlem γ	$F_D = 1 - (F_{DS} * F_{DC})$								
		Manuel Kontrol								
		300 lx			500 lx			750 lx		
	[°]	zayıf	orta	güçlü	zayıf	orta	güçlü	Zayıf	orta	güçlü
Antalya	36	0.835	0.721	0.610	0.879	0.753	0.620	0.910	0.804	0.85
Adana	37	0.838	0.724	0.614	0.880	0.757	0.634	0.915	0.807	0.660
İzmir	38	0.840	0.727	0.617	0.882	0.760	0.638	0.917	0.810	0.671
Ankara	39	0.842	0.731	0.621	0.884	0.764	0.640	0.918	0.813	0.676
İstanbul	41	0.847	0.737	0.628	0.888	0.771	0.651	0.921	0.818	0.685

Çizelge 4.10'daki değerlere göre günışığı etkisinin ve aydınlık düzeyinin artması ile enlem derecesinin azalması sonucunda günışığı sağlama faktörü değeri azalmaktadır. Günışığı sağlama faktörü değerinin azalması sonucunda yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı da azalmaktadır. Çizelge 4.11'de yapma aydınlatma kontrol sisteminin otomatik olduğunda beş farklı şehirde günışığı etkisine ve aydınlatılacak olan bölgenin aydınlık düzeyine bağlı olarak değişen günışığı bağlılık faktörü (F_D) değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.11. Beş farklı şehirde günışığı etkisine ve aydınlık düzeyine bağlı olarak değişen F_D değerleri

Şehir	Enlem γ	$F_D = 1 - (F_{DS} * F_{DC})$								
		Otomatik Kontrol								
		300 lx			500 lx			750 lx		
	[°]	düşük	orta	güçlü	düşük	orta	güçlü	düşük	orta	güçlü
Antalya	36	0.384	0.285	0.172	0.546	0.367	0.212	0.679	0.497	0.281
Adana	37	0.392	0.293	0.179	0.553	0.376	0.222	0.684	0.505	0.291
İzmir	38	0.401	0.301	0.187	0.560	0.385	0.231	0.689	0.512	0.301
Ankara	39	0.410	0.309	0.194	0.567	0.394	0.240	0.694	0.520	0.312
İstanbul	41	0.427	0.326	0.209	0.581	0.412	0.259	0.704	0.535	0.332

Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'deki değerler karşılaştırılacak olursa günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi manuel olduğunda otomatik olduğu duruma göre günışığı bağımlılık faktörü (F_D) değeri daha fazladır. Bu durumda yapma kontrol sistemi manuel olduğunda yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı Denklem (4.2)'deki eşitliğe göre daha fazla olmaktadır. Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de bulunan değerler kullanıma bağlı faktör değeri de hesaplandıktan sonra ilerleyen bölümlerde yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanırken kullanılmıştır.

4.4. Kullanıma Bağlı Faktörün Hesaplanması (F_O)

Kullanıma bağlı faktör değeri aydınlatılacak olan bölgenin yoğunluğunu ifade eden F_A yokluk faktörü ve yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi faktörü $F_{O,C}$ değerine bağlı olarak değişmektedir. Kullanıma bağlı faktör değerinin hesaplanması F_A yokluk faktörünün değerine göre üç farklı eşitlikle ifade edilmektedir. Bu eşitlikler üçüncü bölümde tanıtılmış olup Denklem (4.15), (4.16) ve (4.17)'de gösterilmektedir.

$$F_O = [7 - (10\,x\,F_{OC})]\,x\,(F_A - 1)\;(0.9 \leq F_A \leq 1) \quad (4.15)$$

$$F_O = 1 - [\,(1 - F_{OC})\,x\,F_A\,/\,0.2\,]\;(0 \leq F_A < 0.2) \quad (4.16)$$

$$F_O = F_{OC} + 0.2 - F_A\;(0.2 \leq F_A < 0.9) \quad (4.17)$$

Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi faktörü (F_{OC}) değeri aydınlatılacak olan bölgenin yoğunluğunu ifade eden yokluk faktörüne (F_A) ve aydınlatma kontrol sistemi senaryosunun türüne bağlı olarak değişmektedir. F_A yokluk faktörü üçüncü bölümde tanıtıldığı gibi EN 15193 standardına göre 6 kişilik ve üstü

açık ofislerde, hastane hasta odalarında ve fabrikalarda 0.2 değerinde alınmaktadır. Bunun nedeni bu tür binaların yoğunluk oranlarının çalışma saatleri içerisinde fazla olmasıdır. Yoğunluk oranı arttıkça F_A yokluk faktörü değeri azalmaktadır. Yine EN 15193 standardına göre ilköğretim sınıfı için yokluk faktörü değeri 0.25 değerinde, otel odası için ise 0.6 değerinde alınmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılacak bina türlerine bağlı olarak yokluk faktörleri tanıtıldıktan sonra Çizelge 4.12'de F_A yokluk faktörü ve $F_{O,C}$ yoğunluk durumuna bağlı aydınlatma kontrol sistemi faktörüne bağlı olarak hesaplanan kullanıma bağlı faktör F_O değeri gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. Yokluk faktörü ve yoğunluk durumuna bağlı aydınlatma kontrol sistemi türüne bağlı olarak değişen kullanıma bağlı faktör değerleri

Aydınlatma Kontrol Sistemi Senaryosu	F_{OC}	F_O		
		F_A= 0.2	F_A= 0.25	F_A= 0.6
Elle açma / elle kapama	1	1	0.95	0.6
Otomatik açma / otomatik loşlaştırma	0.95	0.95	0.9	0.55
Otomatik açma / otomatik kapama	0.9	0.9	0.85	0.5
Elle açma / otomatik loşlaştırma	0.9	0.9	0.85	0.5
Elle açma / otomatik kapama	0.8	0.8	0.75	0.4

Çizelge 4.2'deki değerlere göre F_A yokluk faktörü değeri arttığı zaman F_O kullanıma bağlı faktör değeri azalmaktadır. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma sistemi kontrol faktörü değeri azaldıkça F_O kullanıma bağlı faktör değeri de azalmaktadır. Çizelge 4.12'de hesaplanan değerler yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı hesaplanırken kullanılmıştır.

4.5. Beş Farklı Şehir ve Bina Türüne Ait Kontrol Sistemlerine Göre Değişen Yıllık Tüketilen Aydınlatma Enerjisi Miktarının Hesaplanması

Bu bölümde beş farklı şehir ve beş farklı bina türüne ait yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Denklem (4.1), (4.2) ve (4.3)'deki eşitlikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Denklem (4.3)'de tanımlanan parazit güç enerjisi değeri acil durum aydınlatması ihmal edilerek EN 15193 standardında belirlenen 5 kWh/m^2 değerinde bir sabit olarak alınmıştır. Hesaplamalarda kullanılacak olan eşitlikler Denklem (4.18), (4.19) ve (4.20)'de tanıtıldığı gibidir.

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad (4.18)$$

$$W_{L,t} = \{(P_n x F_C) x [(t_D x F_O x F_D) + (t_N x F_O)]\} / 1000\ (kWh) \quad (4.19)$$

$$W_{P,t} = 5\ kWh/m^2 \quad (4.20)$$

Yukarıdaki formüller uyarınca Adana şehri için günışığı etkisinin güçlü olduğu durumda, bina tiplerine ve yoğunluk ile günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin türlerine göre yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı Çizelge 4.13'deki gibi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan kontrol sistemlerinin parazit güç değerleri aydınlatılacak olan bölgenin alanı olan 60 m^2 için hesaplanarak 300 kWh/yıl olarak alınmış ve aydınlatma için harcanan enerji miktarı değerine eklenmiştir. Aydınlatma için harcanan toplam enerji tüketim miktarı daha önceki bölümlerde hesaplanan aydınlatılacak olan bölgenin toplam kurulu aydınlatma gücü, kullanıma bağlı faktör, günışığı bağımlılık faktörü, gün saatleri kullanımı ve gün saatleri dışındaki kullanım değerlerine bağlı olarak beş farklı şehir, beş farklı bina türü ve beş farklı kontrol sistemine göre ayrı ayrı hesaplanmış ve aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Adana şehri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi güçlü olduğunda harcanan yıllık aydınlatma enerjisi miktarı

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Adana	Manuel	Fabrika	1803.82	1728.63	1653.44	1653.44	1503.06
		Hastane	2282.48	2183.35	2084.23	2084.23	1885.98
		Otel	1129.82	1060.67	991.52	991.52	853.21
		Ofis	1256.82	1208.98	1161.14	1161.14	1065.45
		Okul	724.09	701.77	679.45	679.45	634.81
	Otomatik	Fabrika	1014.65	978.92	943.19	943.19	871.72
		Hastane	1730.33	1658.81	1587.30	1587.30	1444.26
		Otel	1030.57	969.69	908.81	908.81	787.05
		Ofis	679.26	660.30	641.34	641.34	603.41
		Okul	428.45	421.69	414.93	414.93	401.40

Çizelge 4.13'deki değerlere bakıldığı zaman günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin otomatik olduğu durumda ve yoğunluğa bağlı aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/otomatik kapama olduğu durumda diğer kontrol sistemlerine göre daha fazla tasarruf sağlanmaktadır. Okul bina türünde diğer bina türlerine göre daha az enerji

tüketimi gerçekleştirilmektedir. Bunun nedeni gerekli olan aydınlık seviyesi miktarının daha az olması ve günışığından faydalanılan sürenin diğer bina türlerine oranla daha fazla olması olarak sıralanabilir.

Çizelge 4.14'de Ankara kenti için günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi türü, kontrol sistemi senaryosu, bina türü gibi faktörlere bağlı olarak değişen yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 4.14. Ankara şehri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi güçlü olduğunda harcanan yıllık aydınlatma enerjisi miktarı

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Ankara	Manuel	Fabrika	1835.35	1758.58	1681.82	1681.82	1528.28
		Hastane	2291.20	2191.64	2092.08	2092.08	1892.96
		Otel	1133.84	1064.36	994.87	994.87	855.89
		Ofis	1275.63	1226.84	1178.06	1178.06	1080.50
		Okul	728.63	706.07	683.51	683.51	638.39
	Otomatik	Fabrika	1053.14	1015.48	977.82	977.82	902.51
		Hastane	1748.87	1676.43	1603.99	1603.99	1459.10
		Otel	1039.12	977.53	915.93	915.93	792.75
		Ofis	700.22	680.21	660.19	660.19	620.17
		Okul	438.10	430.83	423.56	423.56	409.02

Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'deki değerler karşılaştırıldığı zaman Ankara kentinde tüketilen yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarı Adana kentine göre daha fazla olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni Ankara kentinin enlem derecesinin 39°, Adana kentinin enlem derecesini 37° olmasıdır. Bunun anlamı Adana şehrinin Ankara şehrine göre enlem derecesi nedeniyle günışığından daha fazla yararlanması ve aydınlatma kontrol sistemine olan ihtiyacın Ankara kentindeki bina türlerine göre daha az olmasıdır.

Çizelge 4.15'de Antalya şehri için günışığı etkisinin güçlü olduğu durumda, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi türüne, ofis, hastane, otel, fabrika ve okul gibi bina türlerine ve kullanılan kontrol sistemi senaryosuna bağlı olarak hesaplanan yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.15'deki değerlere göre en fazla enerji tüketimine sahip bina türü hastanelerdir. Bunun nedeni hastanenin çalışma saatlerinin ve gün saatleri dışındaki kullanım süresinin diğer bina türlerine göre daha fazla olmasıdır. Ayrıca yoğunluk oranı da diğer bina türleri ile karşılaştırıldığı zaman fazladır. Toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı diğer şehirlere göre daha azdır. Bunun nedeni Antalya şehrinin enlem derecesinin 36° olması

ve günışığından en fazla yararlanan şehir olmasından kaynaklanmaktadır. Hesaplanan değerler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.15. Antalya şehri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi güçlü olduğunda harcanan yıllık aydınlatma enerjisi miktarı

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Antalya	Manuel	Fabrika	1797.03	1722.18	1647.33	1647.33	1497.63
		Hastane	2275.98	2177.18	2078.38	2078.38	1880.78
		Otel	1133.30	1063.86	994.42	994.42	855.53
		Ofis	1251.52	1203.94	1156.37	1156.37	1061.21
		Okul	722.14	699.92	677.70	677.70	633.27
	Otomatik	Fabrika	971.71	938.13	904.54	904.54	837.37
		Hastane	1716.52	1645.69	1574.87	1574.87	1433.22
		Otel	1037.96	976.47	914.97	914.97	791.97
		Ofis	648.99	631.54	614.09	614.09	579.19
		Okul	420.54	414.20	407.85	407.85	395.16

Çizelge 4.16'da İstanbul şehri için günışığı etkisinin güçlü olduğu durumda, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi türüne, bina tipine ve kontrol sistemi senaryolarına göre hesaplanan yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 4.16. İstanbul şehri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi güçlü olduğunda harcanan yıllık aydınlatma enerjisi miktarı

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İstanbul	Manuel	Fabrika	1850.38	1772.86	1695.34	1695.34	1540.31
		Hastane	2287.96	2188.56	2089.16	2089.16	1890.37
		Otel	1136.99	1067.24	997.49	997.49	857.99
		Ofis	1283.97	1234.77	1185.57	1185.57	1087.17
		Okul	734.53	711.66	688.79	688.79	643.05
	Otomatik	Fabrika	1085.08	1045.83	1006.57	1006.57	928.06
		Hastane	1763.46	1690.29	1617.12	1617.12	1470.77
		Otel	1045.81	983.65	921.50	921.50	797.20
		Ofis	717.94	697.05	676.15	676.15	634.35
		Okul	446.88	439.15	431.42	431.42	415.96

Çizelge 4.16'daki İstanbul şehri için hesaplanan yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarlarına göre enerjinin en çok tüketildiği kontrol senaryosu elle açma/elle kapama senaryosuna sahip kontrol sistemidir. Bununla birlikte İstanbul şehrinin enlem

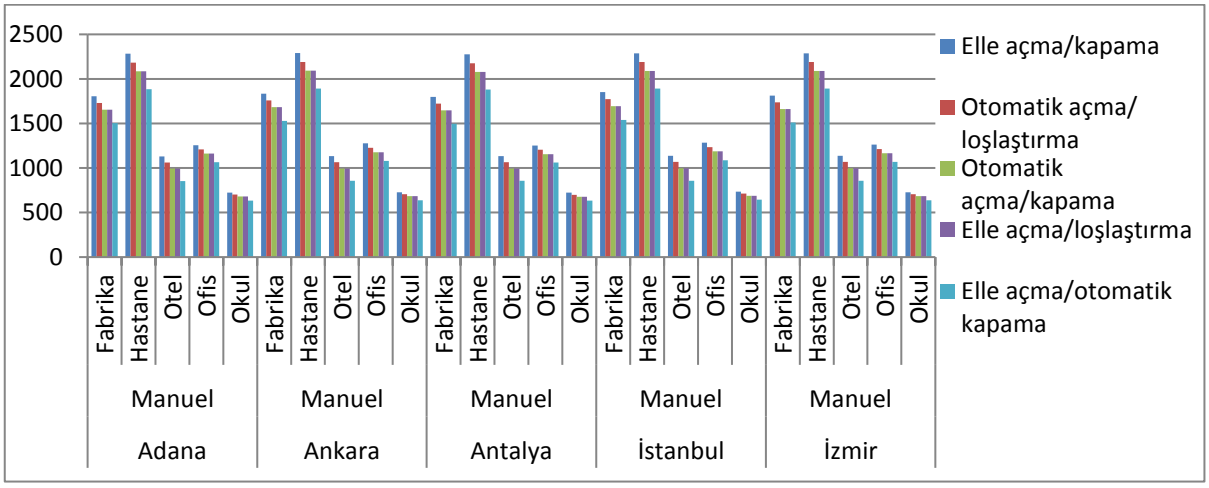
derecesi 41° olduğundan dolayı günışığı etkisinin en az olduğu şehirler arasındadır. Bu yüzden diğer şehirlere göre yıllık olarak tüketilen aydınlatma enerjisi miktarının en fazla oluğu şehirdir.

Son olarak Çizelge 4.17'de İzmir şehri için günışığı etkisinin güçlü olduğu durumda, günışığına bağlı kontrol sistemi türü, bina tipi ve kontrol sistemi senaryosuna göre hesaplanan yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları gösterilmektedir.

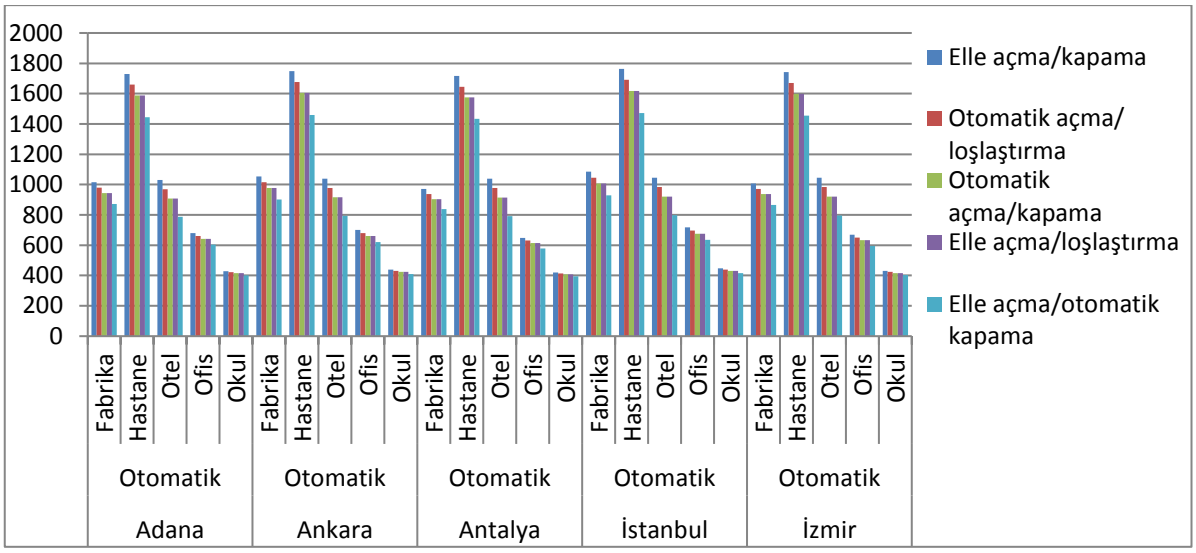
Çizelge 4.16. İzmir şehri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi güçlü olduğunda harcanan yıllık aydınlatma enerjisi miktarı

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İzmir	Manuel	Fabrika	1813.92	1738.23	1662.53	1662.53	1511.14
		Hastane	2288.12	2188.71	2089.31	2089.31	1890.5
		Otel	1136.76	1067.03	997.30	997.30	857.84
		Ofis	1261.23	1213.17	1165.11	1165.11	1068.98
		Okul	728.48	705.92	683.37	683.37	638.27
	Otomatik	Fabrika	1007.60	972.22	936.84	936.84	866.08
		Hastane	1742.32	1670.20	1598.09	1598.09	1453.86
		Otel	1045.32	983.21	921.10	921.10	796.88
		Ofis	669.63	651.15	632.66	632.66	595.70
		Okul	430.24	423.39	416.53	416.53	402.82

Yukarıdaki çizelgelerde hesaplanan yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları tablosal olarak Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki grafikler aracılığıyla genel olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durum için beş farklı şehir ve bina türünde kontrol sistem senaryolarına bağlı olarak yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları



Şekil 4.3. Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sisteminin otomatik olduğu durum için beş farklı şehir ve bina türünde kontrol sistem senaryolarına bağlı olarak yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki grafiklere göre günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemi manuel olduğu durumda en çok enerjinin tüketildiği binalar hastanelerdir. Günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemi otomatik olduğunda en çok enerjinin tüketildiği binalar yine hastanelerdir. Günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemi manuel ve otomatik olduğunda en az enerjinin harcandığı bina türü ise okullardır. Her iki durumda ve bütün binalarda yoğunluk durumuna bağlı aydınlatma kontrol sistemi elle açma/elle kapama olduğu durumda aydınlatma enerji tüketimi diğer aydınlatma sistemi senaryolarına göre daha fazladır. Aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/otomatik kapama olduğu durumda ise aydınlatma enerjisi tüketimi en az seviyesindedir.

Beş farklı şehre, beş farklı bina türüne ve çeşitli aydınlatma kontrol sistemi senaryolarına göre yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarları hesaplandıktan sonra Aydınlık Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG)'nin hesaplanması gerekmektedir. Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi, hesaplanmış olan yıllık olarak tüketilen aydınlatma enerjisi miktarının aydınlatılacak olan bölgenin alanına bölünmesi sonucunda bulunur. Çizelge 4.16'da İzmir şehri için hesaplanmış olan yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi tüketim miktarları gösterilmiştir. Bu hesaplanan değerler bina türlerinde aydınlatılacak olan bölgenin alanına bölündüğü zaman AESG değeri bulunmuş olur. Bu durumu ifade eden eşitlik Denklem (4.21)'de gösterildiği gibidir.

$$AESG = W_t / A_{bölge}\ (kWh/m^2) \quad (4.21)$$

AESG değerinin hesaplanması yardımıyla bina türlerine ve kullanılan kontrol sistemlerine göre binaların hangi enerji sınıfında bulunduğu tespit edilmektedir ve enerji sınıfının yükseltilip yükseltilmemesi gerektiğine karar verilmektedir. Çizelge 4.17'de İzmir şehrine ait hesaplanan Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG) değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. İzmir Şehri için hesaplanan AESG değerleri

			Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2)				
Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İzmir	Manuel	Fabrika	30.21	28.96	27.7	27.7	25.18
		Hastane	38.13	36.46	34.82	34.82	31.15
		Otel	18.93	17.78	16.62	16.62	14.28
		Ofis	21.01	20.22	19.41	19.41	17.8
		Okul	12.13	11.75	11.38	11.38	10.63
	Otomatik	Fabrika	16.78	16.2	15.6	15.6	14.43
		Hastane	29.03	27.83	26.63	26.63	24.21
		Otel	17.45	16.38	15.35	15.35	13.26
		Ofis	11.15	10.85	10.53	10.53	9.92
		Okul	7.16	7.05	6.93	6.93	6.7

Çizelge 4.17'deki değerler kullanılarak binaların enerji sınıfının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi değerlerine göre değişen enerji sınıfları Çizelge 4.18'de gösterildiği gibidir. Bu enerji sınıfları 'Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi'nde belirtilmiştir.

Çizelge 4.18. AESG değerlerine göre belirlenen enerji sınıfları

Enerji Sınıfları	AESG değerleri
A^+	0-14
A	15-24
B	25-49
C	50-69
D	70-89
E	90-119
F	120-159
G	160-…

Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18'deki değerler yardımıyla hangi bina türünün kontrol sisteminin geliştirilmesi gerektiği anlaşılabilmektedir. Örneğin günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda fabrika bina türünde yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/elle kapama olduğu durumda yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı 1813 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı aydınlatılacak olan bölgenin alanına bölündüğü zaman AESG değeri 30 kWh/m^2 olarak bulunmuştur. Bu değere göre İzmir şehrindeki bu aydınlatma yapılacak olan fabrika binası B enerji sınıfına sahiptir ve enerji sınıfının yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin otomatik olması gerekmektedir. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin de geliştirilmesi ile toplam tüketilen aydınlatma enerjisi tüketiminde tasarruf sağlanmış olur.

Bu hesaplanan yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı ve bu değere bağlı olarak hesaplanmış olan Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi, sonuçlar ve öneriler bölümünde daha detaylı incelenerek bir kontrol sistemi öneri yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bölüm 4.5'de hesaplanan değerler beş farklı şehir ve beş farklı bina türüne göre yapılmıştır. Bu hesaplamalarda günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi ve yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin durumuna bağlı olarak değişen yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler aydınlatılacak olan bölgedeki toplam kurulu aydınlatma gücüne, günışığı bağımlılık faktörüne, kullanıma bağlı faktöre, gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süresi gibi faktörlere bağlıdır. Bu hesaplamalarda kullanılan bina türleri ofis, hastane, otel, fabrika ve okul olarak sıralanmıştır. Hastane hasta odası, otel odası ve ilköğretim sınıfında aydınlık düzeyi seviyesi 300 lx olarak, ofis için 500 lx, fabrika için ise 750 lx olarak alınmıştır. Bütün aydınlatılacak bölgelerin kısa ve uzun kenar uzunlukları dolayısıyla alanları 60 m^2 olarak alınmıştır. Günışığı bağımlılık faktörü aydınlatılacak olan bölgenin bulunduğu şehrin enlem derecesine ve günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma sisteminin türüne göre değişmektedir. Kullanıma bağlı faktör ise bina türlerinde yoğunluk durumuna göre değişen yokluk faktörü ve bu yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma sisteminin türüne göre hesaplanmıştır. Gün saatleri kullanım süresi ve gün saatleri dışındaki kullanım süreleri ise çalışma saatleri ve bu çalışma saatleri içerisinde günışığından faydalanılan süreye bağlı olarak her şehir ve bina türüne göre teker teker hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler yardımıyla binalarda tüketilen yıllık aydınlatma enerjisi miktarı şehirlere ve kullanılan kontrol sistemlerinin türüne göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi tüketim miktarına kullanılan kontrol sistemlerinde harcanan parazit güç enerjisi miktarı 5 kWh/m^2 sabitine bağlı olarak eklenerek yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarına ulaşılmıştır. Yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi hesaplandıktan sonra Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi aydınlatma yapılacak bölgenin alanına bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi manuel olduğu durumda, kontrol sisteminin otomatik olduğu duruma göre yıllık olarak daha fazla aydınlatma enerjisi harcanmıştır. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/elle kapama olduğu durumda yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı maksimum seviyesindedir. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle

açma/otomatik kapama olduğu durumda ise toplam tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı minimum seviyesindedir. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemlerinin çalışma mantığını tekrar hatırlayacak olursak çalışma mantıkları aşağıdaki gibidir.

Otomatik açma/otomatik loşlaştırma kontrol sistemine göre, hacimde bir hareket algılandığı zaman, lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından otomatik olarak devreye girer ve en geç 5 dakika içinde otomatik olarak normal çalışma koşullarının %20'sinden daha az olmayacak şekilde ayarlanmış daha düşük bir ışık çıktısına ayarlanırlar. Ayrıca hacimde son hareketin algılanışını takip eden 5 dakika içinde hiçbir hareket algılanmazsa lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından tamamen kapatılır.

Otomatik açma/otomatik kapama kontrol sistemine göre, hacimde bir hareket algılandığı zaman lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından otomatik olarak devreye girer, son hareketin algılanışından 15 dakika sonra ise otomatik olarak kapatılır.

Elle (manuel) açma/otomatik loşlaştırma kontrol sistemine göre, lambalar, aydınlatılacak bölgeye yakın olarak yerleştirilmiş bir anahtar tarafından elle açılırlar. Eğer elle kapatılmazlarsa en geç 15 dakika içinde otomatik olarak normal çalışma koşullarının %20'sinden daha az olmayacak şekilde ayarlanmış daha düşük bir ışık çıktısına ayarlanırlar. Ayrıca odada son varlığın algılanışını takip eden 15 dakika içinde hiçbir hareket algılanmazsa lambalar aydınlatma kontrol sistemi tarafından tamamen kapatılır.

Elle (manuel) açma/otomatik kapama kontrol sistemine göre, lambalar, aydınlatılacak bölgeye yakın olarak yerleştirilmiş bir anahtar tarafından elle açılırlar. Eğer elle kapatılmazlarsa, odada son hareketin algılanışından en geç 15 dakika sonra ise aydınlatma kontrol sistemi tarafından kapatılırlar.

Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemlerinin türlerine göre kontrol sisteminde loşlaştırma durumu olduğunda otomatik kontrol durumuna göre daha fazla enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Loşlaştırma kontrol sistemine nazaran otomatik kontrol sistemi daha tasarruflu bir sistemdir. Kontrol sisteminin manuel açılması durumu otomatik açılması durumuna göre daha tasarruflu bir durumdur. Bu durumlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/otomatik kapama olması durumunda diğer kontrol sistemlerine göre daha fazla tasarruf sağlanmaktadır. Günışığı etkisine bağlı yapma kontrol sisteminde ise doğal olarak otomatik kontrol sistemi manuel kontrol sisteminden daha tasarrufludur.

Önceki bölümdeki hesaplamalara göre en çok aydınlatma enerji tüketiminin İstanbul şehrine ait olduğu görülmektedir. En az aydınlatma enerji tüketimi ise Antalya şehrine aittir. Bunun nedeni İstanbul şehrinin enlem derecesinin diğer şehirlere göre daha büyük olması ve bunun sonucunda da günışığından minimum seviyede yararlanmasıdır. Antalya şehri ise diğer şehirlere göre günışığından daha fazla yararlanmaktadır. Toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı binalara göre kıyaslanacak olursa en çok aydınlatma enerjisinin harcandığı bina türü hastanelerdir. Bunun nedeni hastanelerdeki yoğunluk miktarının gün içerisinde fazla değişmemesi ve bunun sonucunda kullanılan kontrol sistemlerinden maksimum seviyede faydalanılmasından kaynaklanmaktadır (Cevahir, 2017). Hastanelerde tüketilen aydınlatma enerji miktarını fabrikalar takip etmektedir. Fabrikalarda tüketilen aydınlatma enerji miktarının yüksek olmasının nedeni ise aydınlatma yapılacak olan bölgenin aydınlık düzeyi seviyesinin diğer bina türlerine göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. En az enerji tüketiminin olduğu bina türü ise okul binasıdır. Bunun nedeni ise okul binasının yoğunluk oranının gün saatleri içerinde daha fazla olması ve günışığından maksimum seviyede yararlanılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ilköğretim dersliği için aydınlık düzeyi seviyesinin diğer binalara göre daha düşük seviyede olması bu nedenler arasında sayılabilir.

Bunlarla birlikte yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin otomatik açma/otomatik kapama durumu ile elle açma/otomatik loşlaştırma durumları aydınlatma enerjisi tüketimi açısından aynı düzeyde etki etmektedir.

Bu bölümde yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı genel olarak yorumlandıktan sonra öneriler bölümde yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarına göre hesaplanan Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi'ne göre binaların aydınlatma enerji sınıfları belirtilerek kontrol sisteminin geliştirilip geliştirilmemesi gerektiği ve hangi kontrol sisteminin kullanılmasına dair bir öneride bulunmuştur.

5.2. Öneriler

Çizelge 4.16'da İzmir şehrindeki beş bina türü için hesaplanan yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerji miktarları ve Çizelge 4.17'deki bu değerlere göre hesaplanan Aydınlatma Enerji Sayısal Göstergesi verilerine göre İzmir şehrinde bulunan binaların enerji sınıfları tespit edilerek kontrol sisteminin geliştirilip geliştirilmemesi gerektiğine karar verilerek bir kontrol sistemi önerisi yapılmıştır. Çizelge 4.16'da İzmir

şehrindeki fabrika bina türünde günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/elle kapama olduğu durum için tüketilen yıllık aydınlatma enerjisi miktarı 1813 kWh olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.17'de ise Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi aydınlatılacak olan bölgenin alanına bağlı olarak 30 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu duruma göre fabrika binasının enerji sınıfı B sınıfı olarak tespit edilmiştir. Eğer bu binanın yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi en verimli olduğu duruma yani elle açma/otomatik kapama olduğu duruma yükseltilirse (günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi manuel) yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı 1511 kWh değerine düşmektedir. Yani yıllık yaklaşık olarak 300 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ancak Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi değerine baktığımız zaman 25.18 kWh/m^2 değerinde olmaktadır. Yani aydınlatma enerjisi sınıfı yine B sınıfı düzeyinde kalmaktadır ve değişmemektedir. Bu durumu incelediğimiz zaman bu fabrika binasının resmi olarak enerji sınıfının değiştirilmesi gerekmemektedir. Ancak yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi en verimli durumuna yükseltildiği zaman yıllık olarak 300 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yani bu durumda enerji tüketim bedeli ortalama olarak 0.42 TL/kWh kabul edilirse yıllık olarak tasarruf edilecek para bedeli yaklaşık olarak 126000 TL değerinde olmaktadır. Tabi ki bu değer 60 m^2'lik küçük bir imalathane için hesaplanmıştır. Daha büyük alanlar için tasarruf edilebilecek para bedeli daha yüksek meblağlara ulaşabilmektedir. Bu bölgede kullanılan aydınlatma kontrol sistemlerinin yükseltilmesi durumunda kontrol sistemlerine harcanan maliyet hesaplanarak ve amortisman süreleri de göz önüne alınarak yoğunluğa bağlı aydınlatma kontrol sisteminin yükseltilip yükseltilmemesi gerektiğine karar verilebilir. Ancak bu öneriye alternatif olarak fabrika bina türünde yoğunluğa bağlı aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilmesi yerine günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin yükseltilmesi durumunda (manuel kontrolden otomatik kontrole yükseltilmesi durumu) yıllık olarak tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı 1007 kWh olmaktadır. Yani yaklaşık olarak 800 kWh değerinde bir enerji tasarruf sağlanmaktadır. Toplam tüketilen aydınlatma enerjisi miktarının 1007 kWh olması durumunda Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi 16.78 kWh/m^2 değerine düşmektedir. Bu durumda fabrika binasının enerji sınıfı B sınıfından A sınıfına yükselmektedir. Yani bina hem resmi olarak hem de kişisel olarak istenilen aydınlatma enerji sınıfına ulaştırılmış olur. Yani bu durum yorumlandığında İzmir şehrinde bulunan fabrika binası için günışığı etkisine bağlı

yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesi yükseltildiği zaman, yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma sisteminin yükseltilmesi durumuna göre daha fazla enerji ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi seviyesinin yükseltilmesinden sonra yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin yükseltilmesi durumunda yılda harcanan aydınlatma enerjisi seviyesi 1007 kWh seviyelerinden 866 kWh seviyelerine düşmektedir. Yani yaklaşık olarak yılda 150 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmış olur. Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi ise 16.78 kWh/m^2 seviyesinden 14.43 kWh/m^2 seviyesine gerilemektedir. Yani bu durumda enerji sınıfı A seviyesinden A^+ seviyesine yükselmektedir.

İzmir'deki fabrika bina türü incelendikten sonra hastane bina türü incelenecektir. Hastane bina türünde günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda ve yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/elle kapama olduğu durumda yani kontrol sistemlerinin minimum seviyede yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi tüketimi miktarı 2288 kWh değerinde olmaktadır. Bu durumda Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi 38 kWh/m^2 değerinde olmaktadır. Bu durumda hastane binasının aydınlatma enerji sınıfı seviyesi B sınıfı olmaktadır. Günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi geliştirilmeyip yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesinin maksimum seviyeye yükseltilmesi durumunda yıllık tüketilen aydınlatma enerjisi tüketim miktarı 1890 kWh değerinde olmaktadır. Bu durumda Aydınlatma Sayısal Göstergesi değeri 31.15 kWh/m^2 değerinde olmaktadır. Yani yoğunluğa bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesi yükselmesine rağmen binanın enerji sınıfı değişmeyerek yine B sınıfında olmaktadır. Günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesi yükseltildiği zaman yoğunluğa bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin ilk 4 seviyesinde yine binanın enerji sınıfında bir değişiklik olmamaktadır, ancak enerji olarak yaklaşık 700 kWh değerinde bir enerji tasarrufu gerçekleşmektedir. Eğer hastane binasının enerji sınıfı B sınıfından A sınıfına yükseltilmek isteniyorsa bu durumda hem günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin hem de yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesinin maksimum olduğu duruma geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durumda yıllık olarak tüketilen aydınlatma enerjisi miktarından yaklaşık olarak 800 kWh değerinde bir tasarruf sağlanmaktadır. Bu durumda Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi ise 24.21 kWh/m^2 olmaktadır. Bu AESG değerine göre hastane bina türünün enerji sınıfı B sınıfından A sınıfına

yükselmektedir. Diğer yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemlerinde ise binanın enerji sınıfı aynı kalmaktadır.

İzmir şehri için fabrika ve hastane bina türünün enerji verimlilik potansiyelleri incelendikten sonra sıra otel binasının verimlilik durumunun incelenmesine gelmiştir. Otel binasında günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi ve yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi minimum seviyede olduğu durumda binanın enerjisi A sınıfındadır. Bunun nedeni, bu tez çalışmasında otel odasının incelenmiş olması ve bu otel odasının yokluk faktörünün ve gün saatleri dışındaki kullanım süresinin fazla olmasından dolayı yoğunluğa bağlı ve günışığı etkisine bağlı kontrol sistemlerinin enerji verimliliği seviyesini fazla etkilememesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda yıllık olarak harcanan toplam aydınlatma enerjisi miktarı 1136 kWh ve bu değere bağlı AESG değeri 18.93 kWh/m^2 olmaktadır. Bu binanın yoğunluğa bağlı aydınlatma kontrol sisteminin en maksimum seviyeye geliştirilmesi durumunda binanın enerji sınıfı A sınıfından A^+ sınıfına çıkmaktadır. Diğer yoğunluk durumuna bağlı aydınlatma kontrol sistemi türlerinde ise enerji tüketim miktarı azalmakla birlikte binanın enerji sınıfı değişmemektedir. Otel binasının günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi seviyesi geliştirildiğinde ise yıllık olarak tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı 1045 kWh değerine, AESG değeri ise 17.45 kWh/m^2 değerine düşmektedir. Bu değerlerden görüldüğü üzere günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilmesi sonucunda enerji tüketimi açısından fazla tasarruf elde edilememektedir. Bunun nedeni de otel binasının çalışma saatlerinin gün ışığı saatleri dışındaki kullanım süresine denk gelmektedir. Günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemi otomatik olduğu durumda yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin maksimum seviyesine yükseltilmesi durumunda binanın enerji sınıfı A sınıfından A^+ sınıfına yükselmektedir. Diğer yoğunluk durumuna bağlı kontrol sistemi türlerinde binanın enerji sınıfının değişmemesinin nedeni ise otel odasının yokluk faktörünün yüksek olmasıdır. Bu bina türü için tavsiye edilecek kontrol sistemi türü günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durum, yoğunluk durumuna bağlı yapma kontrol sisteminin ise elle açma/otomatik kapama olması durumudur.

İzmir şehrindeki ofis bina türü incelendiği zaman günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel olduğu durumda ve yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin elle açma/elle kapama olduğu durumda yıllık tüketilen toplam aydınlatma enerjisi miktarı 1261 kWh değerinde olmaktadır. Bu

durumda AESG değeri 21.01 kWh/m^2 değerinde olmaktadır. Bu AESG değerine göre ofis binasının enerji sınıfı A sınıfı olmaktadır. Tabi ki bu değerlerin A sınıfında çıkmasının nedeni aydınlatma yapılacak olan bölgenin yüzey alanı ve kullanılan lambaların türü ve sayısı sonucunda belirlenen toplam kurulu aydınlatma gücü gibi faktörlerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Başka özelliklerdeki bina türlerinde yıllık olarak harcanan enerji potansiyelleri değeri artabilir. Ofis binasının yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sistemi türü geliştirildiği zaman A sınıfından A$^+$ sınıfına geçilememektedir. Ancak günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilmesi durumunda yoğunluk durumuna bağlı kontrol sistemi geliştirilmemiş olsa bile binanın enerji sınıfı A sınıfından A$^+$ sınıfına rahatlıkla geçebilmektedir. Bunun nedeni günışığı etkisinin yoğunluk durumuna göre daha fazla etki etmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü ofis binasının çalışma saatlerinin genel olarak gün saatleri kullanım süresinin içerisine denk gelmesi, bununla birlikte incelenen ofis binasının yoğunluk durumunun yeterince yoğun olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu incelenen ofis binası için kontrol sistemi önerisi yapılacak olursa, günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilerek manuel olduğu durumdan otomatik olduğu duruma geliştirilmeli, yoğunluk durumuna bağlı yapma kontrol sisteminin ise geliştirilmesine gerek olmadığından bu kontrol sistemi türü elle açma/elle kapama türünde kalabilir.

Son olarak okul binasının enerji verimliliği potansiyeline etkisi incelendiği zaman yoğunluk durumuna ve günışığı etkisine bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin seviyelerinin minimum olduğu durumda bile okul binasında tüketilen aydınlatma enerjisi miktarı diğer binalara kıyasla çok az olmaktadır. Bu durumda yıllık tüketilen toplam enerji miktarı 728 kWh olmaktadır. Bu durumda AESG değeri ise 12.13 kWh/m^2 değerinde olmaktadır. Yani binanın enerji sınıfı direk olarak A$^+$ sınıfında olmaktadır. Yoğunluk durumuna bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin seviyesi maksimum seviyesine geliştirildiğinde elde edilen tasarruf oranı yaklaşık olarak 80 kWh seviyesinde olmaktadır. Yani fazla oranda bir tasarruf potansiyeli bulunmamaktadır. Günışığı etkisine bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin geliştirilmesi durumunda ise 300 kWh'lik bir enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Ancak bu durumda yüksek enerji tasarrufu elde edilse de binanın enerji sınıfında bir değişiklik olmadığı için kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gerekli görülmemektedir. Bu yüzden dolayı okul bina türünde önerilen kontrol sistemi günışığı etkisine bağlı kontrol

sisteminin manuel olduğu, yoğunluk durumuna bağlı kontrol sisteminin ise elle açma/elle kapama olduğu duruma ait kontrol sistemidir.

Bu bölümde İzmir kentinde bulunan beş farklı bina türü için yıllık harcanan enerji miktarına ve AESG değerlerine bakılarak kullanılması gereken kontrol sistemlerinin önerisi yapılmıştır. Ekler bölümünde günışığı etkisinin zayıf ve orta seviyedeki durumu için yıllık harcanan toplam aydınlatma enerjisinin hesaplanmasına dair çizelgeler verilmiştir ve bu durumdaki AESG değerleri hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Anonim, Odası, Makina Mühendisleri., 2008, "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Oda Raporu." (2008).

Anonim, Komitesi, D. E. K. T. M., 2008, Türkiye Enerji Raporu 2007-2008.

Anonim, Kanunu, E. V., 2007, Kanun no: 5627. Resmi Gazete, Mayıs.

Anonim, Gazete, T. R., 2008, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. Sayı, 27075(05.12), 2008.

Anonim, Ulusal, B. T. B. E. P., & Yöntemi, H. (2010). Ek 05-Aydınlatma, 07 Aralık 2010 Perşembe. Resmi Gazete, (27778).

Anonim, EN, TS. "12464-2., 2014, " Işık ve Aydınlatma- Dış Yerlerinin Aydınlatılması–Bölüm 2 (2014).

Anonim, 2013, Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme, Basit Otomatik Kontrol Devreleri, MEB

Anonymous, EN, C. (2007). 15193-Energy performance of buildings-Energy requirements for lighting. European Committee for Standardization.

Anonymous, Directive, E. N. (2002). 91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities, 4(2003), L1.

Anonymous, 2013, Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places, European Committee for Standardization

Aksakal, H., 2010, Bina Otomasyon Sistemlerinin Enerji Verimliliğine Etkisinin Analizi, Enerji, Bilim ve Teknoloji A.B.D, İTÜ

Asker Ali Emre, 2017, Aydınlatma Sistemlerinin Verimlilik ve İş Güvenliği Esaslarına Göre Tasarlanması, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Nisan 2017

Cevahir, Ahmet Can, 2017, "Development of Scenarios For Increasing the Effect of Interior Lighting Automation to Energy Efficiency.", International Journal Of Engineerıng Sciences & Research Technology, Vol. 6, Iss.2.

Dinç, Demirel, 2013, Bina Otomasyon Sistemleri, Schneider Electric

Gençoğlu, Muhsin Tunay.,2005, "İç Aydınlatmada Enerji Tasarrufu.", Elektrik Mühendisleri Odası (2005).

Jakubiec, J. Alstan, and Christoph F. Reinhart., 2011, "DIVA 2.0: Integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus." Proceedings of building simulation. Vol. 20. No. 11. 2011.

Koç, Erdem, Mahmut Can Şenel., 2013, "Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme." Mühendis ve Makina 54.639 (2013): 32-44.

Martirano, Luigi., 2011, "Lighting systems to save energy in educational classrooms." Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on.

Neufert, E., Jones, V., Thackara, J., & Miles, R., 1980. Architects' data. St Albans, Herts: Granada.(1980)

Özkaya, M., 1998, "Aydınlatma Teknikleri." Birsen Yayınevi, İstanbul (1998): 198-205.

Parise, Giuseppe, Luigi Martirano, and Simone Di Ponio., 2013, "Energy performance of interior lighting systems." IEEE Transactions on Industry Applications 49.6 (2013): 2793-2801.

Şener F., Yıldırım S., Koknel Alpin, 2010, Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesinde Kontrol Sistemlerinin Rolü, Elektrik Mühendisleri Odası

Türkeş, M., & Kılıç, G., 2004, Avrupa Birliği'nin İklim Değişikliği Politikaları ve Önlemleri.

Tian, Meng, and Yuehong Su., 2014, "An improvement to calculation of lighting energy requirement in the European Standard EN 15193: 2007." Journal of Daylighting 1.1 (2014): 16-28.

Ünnü, S. Y., & Şener F., 2010, Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Bep-TR Yöntemi ile Belirlenmesi: Örnekler., Makine Mühendisleri Odası

Wright, J. C., and K. M. Letherman., 1998, "Illuminace in atria: Review of prediction methods." International journal of lighting research and technology 30.1 (1998): 1-11.

Yorkan, A., 2009, Avrupa Birliği'nin enerji politikası ve Türkiye'ye etkileri. Bilge Strateji.

Zinzi, Michele, and Alessandro Mangione., 2015, "The daylighting contribution in the electric lighting energy uses: EN standard and alternative method comparison." Energy Procedia 78 (2015): 2663-2668.

EKLER

EK-1 Adana, Ankara ve Antalya şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi orta olduğu durumda harcanan yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarları

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Adana	Manuel	Fabrika	2099.57	2009.592	1919.613	1919.613	1739.656
		Hastane	2423.228	2317.067	2210.905	2210.905	1998.582
		Otel	1155.126	1083.865	1012.605	1012.605	870.0839
		Ofis	1429.523	1373.047	1316.571	1316.571	1203.619
		Okul	799.4559	773.1687	746.8816	746.8816	694.3073
	Otomatik	Fabrika	1463.909	1405.713	1347.518	1347.518	1231.127
		Hastane	1874.813	1796.073	1717.332	1717.332	1559.851
		Otel	1056.548	993.5022	930.4565	930.4565	804.3652
		Ofis	921.0572	865.9943	836.2052	836.2052	776.6268
		Okul	505.8122	494.9799	484.1477	484.1477	462.4833
Ankara	Manuel	Fabrika	2129.095	2037.64	1946.185	1946.185	1763.276
		Hastane	2431.155	2324.597	2218.04	2218.04	2004.924
		Otel	1158.292	1086.768	1015.244	1015.244	872.195
		Ofis	1449.377	1391.908	1334.439	1334.439	1219.501
		Okul	803.6069	777.1013	750.5956	750.5956	697.5844
	Otomatik	Fabrika	1499.982	1439.983	1379.984	1379.984	1259.985
		Hastane	1895.159	1815.401	1735.644	1735.644	1576.128
		Otel	1064.675	1000.953	937.2296	937.2296	809.7836
		Ofis	920.2704	889.2569	858.2434	858.2434	796.2163
		Okul	516.4664	505.0735	493.6805	493.6805	470.8946
Antalya	Manuel	Fabrika	2106.023	2015.722	1925.421	1925.421	1744.819
		Hastane	2417.738	2311.851	2205.964	2205.964	1994.191
		Otel	1157.461	1086.006	1014.551	1014.551	871.6405
		Ofis	1430.836	1374.294	1317.752	1317.752	1204.669
		Okul	798.5628	772.3226	746.0825	746.0825	693.6022
	Otomatik	Fabrika	1440.765	1383.727	1326.689	1326.689	1212.612
		Hastane	1860.723	1782.687	1704.651	1704.651	1548.578
		Otel	1062.541	998.9956	935.4506	935.4506	808.3605
		Ofis	872.6825	844.0484	815.4143	815.4143	758.146
		Okul	498.281	487.8452	477.4093	477.4093	456.5377

EK-2 İstanbul ve İzmir şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi orta olduğu durumda harcanan yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarları

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İstanbul	Manuel	Fabrika	2138.404	2046.484	1954.563	1954.563	1770.723
		Hastane	2425.02	2318.769	2212.518	2212.518	2000.016
		Otel	1160.822	1089.087	1017.352	1017.352	873.8816
		Ofis	1456.631	1398.8	1340.968	1340.968	1225.305
		Okul	809.7058	782.8791	756.0525	756.0525	702.3993
	Otomatik	Fabrika	1523.875	1462.681	1401.488	1401.488	1279.1
		Hastane	1909.329	1828.862	1748.396	1748.396	1587.463
		Otel	1071.169	1006.905	942.6407	942.6407	814.1125
		Ofis	938.8905	906.946	875.0015	875.0015	811.1124
		Okul	526.8813	514.9402	502.9991	502.9991	479.1168
İzmir	Manuel	Fabrika	2116.403	2025.583	1934.763	1934.763	1753.122
		Hastane	2428.102	2321.696	2215.291	2215.291	2002.481
		Otel	1160.217	1088.532	1016.848	1016.848	873.4782
		Ofis	1438.992	1382.042	1325.093	1325.093	1211.193
		Okul	804.9658	778.3886	751.8115	751.8115	698.6572
	Otomatik	Fabrika	1467.407	1409.036	1350.666	1350.666	1233.925
		Hastane	1887.322	1807.956	1728.59	1728.59	1569.858
		Otel	1069.616	1005.481	941.3464	941.3464	813.0771
		Ofis	893.6161	863.9353	834.2545	834.2545	774.8929
		Okul	509.4764	498.4513	487.4262	487.4262	465.3761

EK-3 Adana, Ankara ve Antalya şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi zayıf olduğu durumda harcanan yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarları

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Adana	Manuel	Fabrika	2328.026	2226.625	2125.224	2125.224	1922.421
		Hastane	2567.357	2453.989	2340.621	2340.621	2113.885
		Otel	1181.033	1107.614	1034.194	1034.194	887.3554
		Ofis	1603.176	1538.017	1472.858	1472.858	1342.541
		Okul	876.6282	846.2793	815.9305	815.9305	755.2328
	Otomatik	Fabrika	1840.49	1763.466	1686.441	1686.441	1532.392
		Hastane	2001.067	1916.014	1830.961	1830.961	1660.854
		Otel	1079.242	1014.305	949.3684	949.3684	819.4947
		Ofis	1143.838	1101.646	1059.454	1059.454	975.0701
		Okul	573.4137	559.0235	544.6333	544.6333	515.8529
Ankara	Manuel	Fabrika	2355.435	2252.663	2149.891	2149.891	1944.348
		Hastane	2573.214	2459.553	2345.893	2345.893	2118.571
		Otel	1183.104	1109.512	1035.92	1035.92	888.7363
		Ofis	1621.978	1555.879	1489.78	1489.78	1357.582
		Okul	879.7099	849.1988	818.6878	818.6878	757.6657
	Otomatik	Fabrika	1873.576	1794.897	1716.218	1716.218	1558.861
		Hastane	2023.033	1936.881	1850.73	1850.73	1678.426
		Otel	1087.01	1021.426	955.8415	955.8415	824.6732
		Ofis	1167.88	1124.486	1081.092	1081.092	994.3039
		Okul	584.9701	569.9716	554.9732	554.9732	524.9764
Antalya	Manuel	Fabrika	2344.996	2242.746	2140.496	2140.496	1935.997
		Hastane	2563.528	2450.351	2337.175	2337.175	2110.822
		Otel	1182.304	1108.779	1035.254	1035.254	888.203
		Ofis	1612.202	1546.592	1480.981	1480.981	1349.761
		Okul	877.1566	846.7799	816.4033	816.4033	755.6499
	Otomatik	Fabrika	1834.43	1757.709	1680.987	1680.987	1527.544
		Hastane	1986.709	1902.374	1818.039	1818.039	1649.368
		Otel	1084.01	1018.676	953.3416	953.3416	822.6732
		Ofis	1131.22	1089.659	1048.098	1048.098	964.9761
		Okul	566.1992	552.1888	538.1783	538.1783	510.1573

EK-4 İstanbul ve İzmir şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi zayıf olduğu durumda harcanan yıllık toplam aydınlatma enerjisi miktarları

Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu (kWh)				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İstanbul	Manuel	Fabrika	2359.744	2256.757	2153.77	2153.77	1947.795
		Hastane	2562.902	2449.757	2336.612	2336.612	2110.321
		Otel	1184.793	1111.061	1037.328	1037.328	889.8622
		Ofis	1625.998	1559.698	1493.398	1493.398	1360.798
		Okul	885.3256	854.519	823.7124	823.7124	762.0991
	Otomatik	Fabrika	1889.737	1810.25	1730.763	1730.763	1571.789
		Hastane	2036.876	1950.032	1863.188	1863.188	1689.501
		Otel	1093.343	1027.231	961.1192	961.1192	828.8953
		Ofis	118.,956	1138.808	1094.66	1094.66	1006.365
		Okul	596.8329	581.2101	565.5874	565.5874	534.3418
İzmir	Manuel	Fabrika	2349.772	2247.283	2144.795	2144.795	1939.818
		Hastane	2570.819	2457.278	2343.737	2343.737	2116.655
		Otel	1184.128	1110.451	1036.773	1036.773	889.4186
		Ofis	1616.662	1550.829	1484.996	1484.996	1353.329
		Okul	882.9485	852.267	821.5855	821.5855	760.2225
	Otomatik	Fabrika	1852.341	1774.724	1697.107	1697.107	1541.873
		Hastane	2014.051	1928.348	1842.646	1842.646	1671.241
		Otel	1090.848	1024.944	959.0398	959.0398	827.2318
		Ofis	1147.946	1105.549	1063.151	1063.151	978.3567
		Okul	578.7229	564.0533	549.3836	549.3836	520.0444

EK-5 Adana, Ankara ve Antalya şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi orta olduğu durumda yıllık AESG değerleri

			Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2)				
Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Adana	Manuel	Fabrika	34.98	33.48	31.98	31.98	28.98
		Hastane	40.38	38.62	36.83	36.83	33.3
		Otel	19.25	18.05	16.86	16.86	14.5
		Ofis	23.82	22.88	21.93	21.93	20.05
		Okul	13.32	12.88	12.43	12.43	11.56
	Otomatik	Fabrika	24.83	23.42	22.45	22.45	20.52
		Hastane	31.23	29.93	28.62	28.62	25.98
		Otel	17.6	16.55	15.5	15.5	13.4
		Ofis	15.35	14.42	13.93	13.93	12.93
		Okul	8.42	8.23	8.06	8.06	7.7
Ankara	Manuel	Fabrika	35.48	33.95	32.43	32.43	29.38
		Hastane	40.52	38.73	36.96	36.96	33.4
		Otel	19.3	18.1	16.92	16.92	14.53
		Ofis	24.15	23.18	22.23	22.23	20.32
		Okul	13.38	12.95	12.5	12.5	11.62
	Otomatik	Fabrika	24.98	23.98	22.98	22.98	20.98
		Hastane	31.58	30.25	28.92	28.92	26.26
		Otel	17.73	16.66	15.62	15.62	13.48
		Ofis	15.33	14.82	14.3	14.3	13.26
		Okul	8.6	8.42	8.22	8.22	7.83
Antalya	Manuel	Fabrika	35.1	33.58	32.08	32.08	29.06
		Hastane	40.28	38.52	36.75	36.75	33.23
		Otel	19.28	18.1	16.9	16.9	14.52
		Ofis	23.83	22.9	21.95	21.95	20.06
		Okul	13.3	12.86	12.43	12.43	11.55
	Otomatik	Fabrika	24.02	23.05	22.1	22.1	20.2
		Hastane	31.02	29.7	28.4	28.4	25.8
		Otel	17.7	16.63	15.58	15.58	13.46
		Ofis	14.53	14,06	13.58	13.58	12.63
		Okul	8.3	8,12	7.95	7.95	7.6

EK-6 İstanbul ve İzmir şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi orta olduğu durumda yıllık AESG değerleri

			Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2)				
Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İstanbul	Manuel	Fabrika	35.63	34.1	32.56	32.56	29.5
		Hastane	40.42	38.63	36.86	36.86	33.3
		Otel	19.33	18.15	16.95	16.95	14.55
		Ofis	24.26	23.3	22.33	22.33	20.42
		Okul	13.48	13.03	12.6	12.6	11.7
	Otomatik	Fabrika	25.38	24.36	23.35	23.35	21.32
		Hastane	31.82	30.46	29.13	29.13	26.45
		Otel	17.85	16.76	15.7	15.7	13.56
		Ofis	15.63	15.1	14.58	14.58	13.52
		Okul	8.76	8.56	8.36	8.36	7.98
İzmir	Manuel	Fabrika	35.26	33.75	32.23	32.23	29.22
		Hastane	40.46	38.68	36.92	36.92	33.36
		Otel	19.33	18.13	16.93	16.93	14.55
		Ofis	23.96	23.03	22.08	22.08	20.18
		Okul	13.4	12.96	12.52	12.52	11.63
	Otomatik	Fabrika	24.45	23.48	22.5	22.5	20.55
		Hastane	31.45	30.12	28.8	28.8	26.15
		Otel	17.82	16.75	15.68	15.68	13.55
		Ofis	14.88	14.38	13.9	13.9	12.9
		Okul	8.48	8.3	8.12	8.12	7.75

EK-7 Adana, Ankara ve Antalya şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi zayıf olduğu durumda yıllık AESG değerleri

			Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2)				
Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
Adana	Manuel	Fabrika	38.8	37.1	35.42	35.42	32.03
		Hastane	42.78	40.88	39.02	39.02	35.22
		Otel	19.68	18.45	17.23	17.23	14.78
		Ofis	26.72	25.63	24.53	24.53	22.36
		Okul	14.6	14.1	13.58	13.58	12.58
	Otomatik	Fabrika	30.66	29.38	28.1	28.1	25.53
		Hastane	33.35	31.93	30.5	30.5	27.66
		Otel	17.98	16.9	15.82	15.82	13.65
		Ofis	19.05	18.35	17.65	17.65	16.25
		Okul	9.55	9.32	9.06	9.06	8.58
Ankara	Manuel	Fabrika	39.25	37.53	35.82	35.82	32.4
		Hastane	42.88	40.98	39.08	39.08	35.3
		Otel	19.72	18.48	17.25	17.25	14.8
		Ofis	27.02	25.92	24.82	24.82	22.62
		Okul	14.65	14.15	13.63	13.63	12.62
	Otomatik	Fabrika	31.22	29.9	28.6	28.6	25.96
		Hastane	33.88	32.26	30.83	30.83	27.96
		Otel	18.12	17.02	15.92	15.92	13.73
		Ofis	19.45	18.73	18.02	18.02	16.56
		Okul	9.73	9.48	9.23	9.23	8.73
Antalya	Manuel	Fabrika	39.06	37.36	35.66	35.66	32.25
		Hastane	42.72	40.83	38.95	38.95	35.16
		Otel	19.7	18.46	17.25	17.25	14.8
		Ofis	26.86	25.76	24.66	24.66	22.48
		Okul	14.62	14.1	13.6	13.6	12.58
	Otomatik	Fabrika	30.56	29.28	28	28	25.45
		Hastane	33.1	31.7	30.3	30.3	27.48
		Otel	18.06	16.96	15.88	15.88	13.7
		Ofis	18.85	18.15	17.46	17.46	16.06
		Okul	9.43	9.2	8.96	8.96	8.5

EK-8 İstanbul ve İzmir şehirleri için beş farklı bina türü ve çeşitli kontrol sistemlerine göre günışığı etkisi zayıf olduğu durumda yıllık AESG değerleri

			Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (kWh/m^2)				
Şehir	Günışığına Bağlı Aydınlatma Kontrol Sistemi	Bina Tipi	Kontrol sistemi senaryosu				
			Elle açma/kapama	Otomatik açma/ loşlaştırma	Otomatik açma/kapama	Elle açma/loşlaştırma	Elle açma/otomatik kapama
İstanbul	Manuel	Fabrika	39.32	37.6	35.88	35.88	32.45
		Hastane	42.7	40.82	38.93	38.93	35.16
		Otel	19.73	18.52	17.28	17.28	14.82
		Ofis	27.08	25.98	24.88	24.88	22.66
		Okul	14.75	14.23	13.72	13.72	12.7
	Otomatik	Fabrika	31.48	30.16	28.83	28.83	26.18
		Hastane	33.93	32.5	31.05	31.05	28.15
		Otel	18.22	17.12	16.02	16.02	13.8
		Ofis	19.7	18.96	18.23	18.23	16.76
		Okul	9.93	9.68	9.42	9.42	8.9
İzmir	Manuel	Fabrika	39.15	37.45	35.73	35.73	32.32
		Hastane	42.83	40.95	39.05	39.05	35.26
		Otel	19.73	18.5	17.26	17.26	14.82
		Ofis	26.93	25.83	24.73	24.73	22.55
		Okul	14.7	14.2	13.68	13.68	12.66
	Otomatik	Fabrika	30.86	29.56	28.28	28.28	25.68
		Hastane	33.56	32.13	30.7	30.7	27.85
		Otel	18.16	17.06	15.98	15.98	13.78
		Ofis	19.12	18.42	17.72	17.72	16.3
		Okul	9.63	9.4	9.15	9.15	7.88

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ahmet Can Cevahir
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Diyarbakır – 28/11/1993
Telefon	**:**	05394658755
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	ahmetcancevahir@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Elvankent Bilgi Anadolu Lisesi, Etimesgut, Ankara	2011
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2015
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	Halen
Doktora	:	-	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013	Özgüney Elektrik, Sincan, Ankara	Stajyer
2014	Altınsoy Enerji, İvedik, Ankara	Stajyer

UZMANLIK ALANI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Cevahir, Ahmet Can, 2017, "Development of Scenarios For Increasing the Effect of Interior Lighting Automation to Energy Efficiency.", International Journal Of Engineerıng Sciences & Research Technology, Vol. 6, Iss.2.