İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Feride ŞENER YILMAZ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

ARALIK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Feride ŞENER YILMAZ
(502082016)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER

ARALIK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502082016 numaralı Doktora Öğrencisi **FERİDE ŞENER YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof.Dr. A. Zerrin Yılmaz** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU İstanbul Kültür Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Rengin ÜNVER Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **20 Ekim 2014**
Savunma Tarihi : **23 Aralık 2014**

Eşime, Aileme ve İlke Berrak Şahin'e,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesini sağlayan, değerli fikir, görüş ve önerileri ile tezimi yönlendiren, bana her konuda destek olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Alpin Köknel Yener'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını değerli görüşleri ile yönlendiren sayın Doktora Tez İzleme Komitesi hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2014

Feride ŞENER YILMAZ
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxiii**
ÖZET ..... **xxvii**
SUMMARY ..... **xxix**
1. GİRİŞ **1**
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA GÖRSEL KONFOR, ENERJİ PERFORMANSI VE ÇEVRESEL ETKİ **5**
2.1 Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor Gereksinimleri 5
2.2 Aydınlatma Tasarımlarının Enerji Performansının Belirlenmesi 23
2.2.1 Amerika'da binalarda aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların tanıtılması 29
2.2.2 Avrupa'da binalarda aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların tanıtılması 31
2.2.2.1 İngiltere Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, SBEM 33
2.2.2.2 Fransa Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, RT 2012 35
2.2.2.3 Almanya Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, DIN V 18599 36
2.2.2.4 Türkiye Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, BEP-TR 36
2.2.3 Aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda karşılaşılan eksiklikler 40
2.3 Aydınlatma Tasarımının Çevresel Etkisinin İncelenmesi 41
2.3.1 Aydınlatma tasarımlarının çevresel etki değerlendirmesinde kullanılan standart ve yönetmelikler 42
2.3.2 Yapma aydınlatma elemanlarının çevresel etki değerlendirmesine ilişkin gerçekleştirilmiş çalışmalar 46
2.3.3 Doğal aydınlatma elemanlarının çevresel etki değerlendirmesine ilişkin gerçekleştirilmiş çalışmalar 50
3. BİNALARDA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ BELİRLENMESİ **53**
3.1 Dış Aydınlık Düzeylerinin Belirlenebilmesi İçin Yapılmış Çalışmalar 53
3.2 Binalarda Günışığı Performansının Değerlendirilmesine İlişkin Yöntemlerin Tanıtılması 64
3.2.1 Günışığı faktörü 64
3.2.2 Günışığı katsayıları 65
3.2.3 Günışığı otonomisi 66
3.2.4 Sürekli günışığı otonomisi 67

3.2.5 Faydalı günışığı aydınlığı 67
3.2.6 İklime bağlı günışığı modellemesi 67
3.3 Günışığı Performansının Belirlenmesinde Aydınlatma Simülasyon Programlarının Kullanımı 68
3.4 Tartışma ve Değerlendirme 73
4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI YAKLAŞIMI 77
4.1 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesi 80
4.1.1 Doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi 82
4.1.1.1 Dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesi için uygun gök modelinin belirlenmesi 84
4.1.1.2 Ele alınan hacmin doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi 87
4.1.1.3 Kamaşma analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi 89
4.1.1.4 Dış görüş analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi 90
4.1.2 Yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi 92
4.1.2.1 Yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyinin değerlendirilmesi 94
4.1.2.2 Yapma aydınlatma sistemi ile mekanda sağlanan düzgünlüğün değerlendirilmesi 94
4.1.2.3 Yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşmanın değerlendirmesi .. 94
4.1.3 Doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi 95
4.2 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi 95
4.3 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi 97
4.4 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirmesi 100
4.5 Geliştirilen Yaklaşım Uyarınca Elde Edilen Sonuçların Derlenmesi ve Aydınlatma Tasarımı Göstergelerinin Oluşturulması 104
5. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI YAKLAŞIMININ TÜRKİYE İÇİN UYGULANMASI 107
5.1 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesi 110
5.1.1 Ele alınan derslik hacmi doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi 110
5.1.1.1 Ele alınan dersliğin bulunduğu ildeki dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesi için uygun gök modelinin belirlenmesi 112
5.1.1.2 Ele alınan derslik hacmi için doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi 113
5.1.1.3 Ele alınan derslik hacmi için kamaşma analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi 123
5.1.1.4 Ele alınan derslik hacmi için dış görüş analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi 133
5.1.2 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi 135

5.1.2.1 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemi simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve aydınlık düzeyinin belirlenmesi ... 138
5.1.2.2 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemi ile mekanda sağlanan düzgünlüğün değerlendirilmesi ... 141
5.1.2.3 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşma değerlendirmesi ... 142
5.1.3 Ele alınan derslik hacmi için doğal ve yapma aydınlatma sisteminin optimum bütünleştirilmesi ... 148
5.2 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi ... 149
5.2.1 Ele alınan derslik hacmine ilişkin aydınlatma enerjisi performansının geliştirilen yaklaşım ile belirlenmesi ... 149
5.2.2 Geliştirilen yaklaşım ve BEP-TR hesap yönteminin karşılaştırılması ... 155
5.3 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi ... 160
5.4 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirmesi ... 162
5.5 Geliştirilen Yaklaşım Uyarınca Ele Alınan Derslik Hacmi İçin Elde Edilen Sonuçların Derlenmesi ve Aydınlatma Tasarımı Göstergelerinin Oluşturulması 169
6. SONUÇLAR ... 173
KAYNAKLAR ... 181
EKLER ... 195
ÖZGEÇMİŞ ... 311

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
AESG : Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi
ANSI : Amerikan Standartlar Enstitüsü
BEP : Bina Enerji Performansı
BEP-TR : Bina Enerji Performansı Türkiye Ulusal Hesap Modeli
BRE : Building Research Establishment
BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CCT : Correlated Color Temperature
CGI : CIE Glare Index
CIBSE : The Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE : Commission Internationale de l´Eclairage
CIRAIG : Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services
CRG : Color Rendering Group
DF : Daylight Factor
DGI : Daylight Glare Index
DGP : Daylight Glare Probability
EERE : Office of Energy Efficiency and Renewable Energy
EPBD : Enerji Performance Building Directive
EPD : Environmental Product Declaration
HDR : High Dynamic Range
HVAC : Heating, Ventilating, Air- Conditioning
KDV : Katma Değer Vergisi
IALD : International Association of Lighting Designers
IES : Illuminating Engineering Society
IESNA : Illuminating Engineering Society of North America
IP : Ingress Protection
ISO : International Organization for Standardization
LCA : Life Cycle Assessment
LED : Light Emitting Diode
LEED : Leadership in Energy and Environmental Design
LENI : Lighting Energy Numeric Indicator
LPD : Lighting Power Density
MEB : Milli Eğitim Bakanlığı
PV : Photovoltaics
SBEM : Simplified Building Energy Model
SR : Sky Ratio
TEDAŞ : Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UGR : Unified Glare Rating
USGBC : Amerika Yeşil binalar Komisyonu
3D : Three Dimensional

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Eğitim binalarında istenen aydınlık düzeyi ($E_{istenen}$), renksel geriverim değerleri (R_a), düzgünlük (U) ve UGR_L sınır değerleri (EN 12464, 2011, TS EN 12464-1, 2013). 6
Çizelge 2.2 : DGI kamaşma kategorisi aralıkları (Url-3, Url-4, Robbins,1986). 9
Çizelge 2.3 : UGR kamaşma kategorisi aralıkları (Jakubiec & Reinhart, 2010)..... 11
Çizelge 2.4 : DGP kamaşma kategorisi aralıkları (Jakubiec & Reinhart, 2010). 12
Çizelge 2.5 : Renksel Geriverim- R_a grupları (SLL, 2012). 13
Çizelge 2.6 : Işık kaynaklarına ilişkin renk sıcaklığı verileri (SLL, 2012). 13
Çizelge 2.7 : Hedef aydınlık düzeyi-çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi ilişkisi (EN 12464, 2011)..... 14
Çizelge 2.8 : Aydınlatma sisteminin türleri (IESNA, 2011). 15
Çizelge 2.9 : Farklı bina tipolojilerine ilişkin aydınlatma güç yoğunluğu (LPD) değerleri (ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1, 2010)..... 30
Çizelge 2.10 : Avrupa ülkeleri ulusal bina enerji performansı belirleme yöntemleri. 31
Çizelge 2.11 : Günışığı etkisinin sınıflandırılması (BEP_TR, 2010). 39
Çizelge 3.1 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günlerinde ölçülen ortalama saatlik bulut kapalılık miktarı. 54
Çizelge 3.2 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günü ölçülen saatlik güneşlenme süresi değerleri. 56
Çizelge 3.3 : CIE Standart Genel Gök Modeli için standart parametreler (CIE Publication, 2003). 59
Çizelge 4.1 : İstanbul ili Perez berraklık indisi yöntemi kullanılarak oluşturulmuş gök durumu sınıflandırılması. 86
Çizelge 4.2 : Antalya ili Perez berraklık indisi yöntemi kullanılarak oluşturulmuş gök durumu sınıflandırılması. 86
Çizelge 4.3 : İstanbul ve Antalya için elde edilen gök durumu sınıflandırması verilerinin yıllık dağılımı. 87
Çizelge 4.4 : Gensky gök derleyicisi'nde tanımlı gök modeli seçenekleri..... 88
Çizelge 4.5 : Örnek bir hacim için yıllık kamaşma analizleri matrisi örneği. 90
Çizelge 4.6 : Yaklaşımda oluşturulan aydınlatma tasarımı göstergesi örneği. 106
Çizelge 5.1: İncelenen bina ve dersliğe ait mevcut mimari proje ve aydınlatma sistemi bilgileri..... 109
Çizelge 5.2 : Geliştirilen yaklaşımın uygulamasının gerçekleştirildiği senaryolar. 110
Çizelge 5.3 : Doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin bilgiler. 110
Çizelge 5.4 : Ele alınan hesap tarihleri için belirlenen gök modeli sonuçları. 113
Çizelge 5.5 : Hesaplamalarda kullanılan temsili tarih ve saat bilgileri. 113
Çizelge 5.6 : D1 senaryosu, hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı. 114

Çizelge 5.7 : D2 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı. 114
Çizelge 5.8 : D3 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı. 115
Çizelge 5.9 : D4 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı. 115
Çizelge 5.10 : D5 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı. 116
Çizelge 5.11 : Ele alınan doğal aydınlatma senaryoları saatlik ortalama doğal aydınlatma performans değerleri. 117
Çizelge 5.12 : D1- D5 senaryolarına ilişkin olarak hesaplanmış yıllık ortalama günışığı sağlanma oranları. 118
Çizelge 5.13 : D1 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi. 128
Çizelge 5.14 : D2 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi. 129
Çizelge 5.15 : D3 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi. 130
Çizelge 5.16 : D4 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi. 131
Çizelge 5.17 : D5 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi. 131
Çizelge 5.18 : Ele alınan senaryolarda kullanılan yapma aydınlatma sistemi elemanlarına ilişkin bilgiler. 138
Çizelge 5.19 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A0. 144
Çizelge 5.20 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A1. 145
Çizelge 5.21 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A2. 147
Çizelge 5.22 : A0, A1 ve A2 senaryoları görsel konfor değerlendirmesi sonuçları. 148
Çizelge 5.23 : $Bölge_1$- $Bölge_2$ günışığı ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi (lx). 152
Çizelge 5.24 : Hesaplama için seçilen gün ve saatlerde hedef aydınlık düzeyinin sağlanması için gerekli ilave oranı (0-1, 0: ilave %0, 1: ilave %10). 153
Çizelge 5.25 : Ele alınan senaryolar için farklı aydınlatma kontrol seçeneklerinde oluşan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları. 154
Çizelge 5.26 : Ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları. 156
Çizelge 5.27 : Ele alınan derslik hacmine ilişkin senaryoların yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf oranları. 159
Çizelge 5.28 : Ele alınan derslik hacmine ilişkin senaryoları için hesaplanan yıllık CO_2 salımı sonuçları. 161
Çizelge 5.29 : Kullanılan aydınlatma sistemi elemanlarının birim fiyatları. 163
Çizelge 5.30 : Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma sistemi toplam maliyet sonuçları (TL). 164
Çizelge 5.31 : Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi maliyeti (TL). 165
Çizelge 5.32 : D1_A1_K1 Senaryosu aydınlatma tasarımı göstergesi örneği. 171
Çizelge A.1 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00). ..... .196
Çizelge A.2 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00). 196
Çizelge A.3 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00). 197
Çizelge A.4 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00). 197
Çizelge A.5 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00) 198

Çizelge A.6 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00) 198
Çizelge A.7 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00). 199
Çizelge A.8 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00). 199
Çizelge A.9 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00). 200
Çizelge A.10 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00)..... 200
Çizelge A.11 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00)..... 201
Çizelge A.12 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00)..... 201
Çizelge A.13 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00). 202
Çizelge A.14 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00). 202
Çizelge A.15 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00). 203
Çizelge A.16 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00). 203
Çizelge A.17 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00). 204
Çizelge A.18 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00). 204
Çizelge A.19 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00)..... 205
Çizelge A.20 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00)..... 205
Çizelge A.21 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00)..... 206
Çizelge A.22 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00). 206
Çizelge A.23 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00). 207
Çizelge A.24 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00). 207
Çizelge A.25 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00). 208
Çizelge A.26 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00). 208
Çizelge A.27 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00). 209
Çizelge A.28 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00)..... 209
Çizelge A.29 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00)..... 210
Çizelge A.30 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00)..... 210

Çizelge A.31 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00). 211
Çizelge A.32 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00). 211
Çizelge A.33 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00). 212
Çizelge A.34 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00). 212
Çizelge A.35 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00). 213
Çizelge A.36 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00). 213
Çizelge A.37 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00). 214
Çizelge A.38 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00). 214
Çizelge A.39 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00). 215
Çizelge A.40 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00). 215
Çizelge A.41 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00). 216
Çizelge A.42 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00). 216
Çizelge A.43 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00). 217
Çizelge A.44 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00). 217
Çizelge A.45 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00). 218
Çizelge B.1 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00) 219
Çizelge B.2 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00). 219
Çizelge B.3 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00). 220
Çizelge B.4 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00). 220
Çizelge B.5 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00). 221
Çizelge B.6 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00). 221
Çizelge B.7 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00) 222
Çizelge B.8 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00) 222
Çizelge B.9 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00) 223
Çizelge B.10 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00). 223

Çizelge B.11 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00). 224
Çizelge B.12 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00). 224
Çizelge B.13 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00). 225
Çizelge B.14 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00). 225
Çizelge B.15 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00). 226
Çizelge B.16 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00). 226
Çizelge B.17 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00). 227
Çizelge B.18 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00). 227
Çizelge B.19 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00). 228
Çizelge B.20 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00). 228
Çizelge B.21 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00). 229
Çizelge B.22 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00). 229
Çizelge B.23 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00). 230
Çizelge B.24 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00). 230
Çizelge B.25 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00). 231
Çizelge B.26 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00). 231
Çizelge B.27 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00). 232
Çizelge B.28 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00). 232
Çizelge B.29 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00). 233
Çizelge B.30 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00). 233
Çizelge B.31 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00). 234
Çizelge B.32 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00). 234
Çizelge B.33 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00). 235
Çizelge B.34 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00). 235
Çizelge B.35 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00). 236

Çizelge B.36 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00). 236
Çizelge B.37 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00). 237
Çizelge B.38 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00). 237
Çizelge B.39 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00). 238
Çizelge B.40 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00). 238
Çizelge B.41 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00). 239
Çizelge B.42 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00). 239
Çizelge B.43 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00). 240
Çizelge B.44 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00). 240
Çizelge B.45 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00). 241
Çizelge C.1 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D1 senaryosu..... 242
Çizelge C.2 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D2 senaryosu. 243
Çizelge C.3 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D3 senaryosu. 244
Çizelge C.4 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D4 senaryosu. 245
Çizelge C.5 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D5 senaryosu. 246
Çizelge D.1 : Manuel açma- kapatma seçeneğine ilişkin hesap sonuçları..... 247
Çizelge D.2 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama (K2) senaryosuna ilişkin hesap sonuçları (D1). 247
Çizelge D.3 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D2). 248
Çizelge D.4 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D3). 248
Çizelge D.5 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D4). 249
Çizelge D.6 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneği hesap sonuçları (D5). 249
Çizelge D.7 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D1_A1). 250
Çizelge D.8 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D2_A1). 250
Çizelge D.9 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D3_A1). 251
Çizelge D.10 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D4_A1). ... 251
Çizelge D.11 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D5_A1). ... 252
Çizelge D.12 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D1_A2). ... 252
Çizelge D.13 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D2_A2). ... 253
Çizelge D.14 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D3_A2). ... 253
Çizelge D.15 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D4_A2). ... 254
Çizelge D.16 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D5_A2). ... 254
Çizelge E.1 : D1_A1_ K1 maliyet değerlendirmesi..... 255
Çizelge E.2 : D1_A1_K2 maliyet değerlendirmesi. 256
Çizelge E.3 : D1_A1_K3 maliyet değerlendirmesi. 257
Çizelge E.4 : D1_A2_K1 maliyet değerlendirmesi. 258

Çizelge E.5 : D1_A2_K2 maliyet değerlendirmesi. 258
Çizelge E.6 : D1_A2_K3 maliyet değerlendirmesi. 259
Çizelge E.7 : D2_A1_K1 maliyet değerlendirmesi. 260
Çizelge E.8 : D2_A1_K2 maliyet değerlendirmesi. 261
Çizelge E.9 : D2_A1_K3 maliyet değerlendirmesi. 262
Çizelge E.10 : D2_A2_K1 maliyet değerlendirmesi. 263
Çizelge E.11 : D2_A2_K2 maliyet değerlendirmesi. 263
Çizelge E.12 : D2_A2_K3 maliyet değerlendirmesi. 264
Çizelge E.13 : D3_A1_K1 maliyet değerlendirmesi. 265
Çizelge E.14 : D3_A1_K2 maliyet değerlendirmesi. 266
Çizelge E.15 : D3_A1_K3 maliyet değerlendirmesi. 267
Çizelge E.16 : D3_A2_K1 maliyet değerlendirmesi. 268
Çizelge E.17 : D3_A2_K2 maliyet değerlendirmesi. 268
Çizelge E.18 : D3_A2_K3 maliyet değerlendirmesi. 269
Çizelge E.19 : D4_A1_K1 maliyet değerlendirmesi. 270
Çizelge E.20 : D4_A1_K2 maliyet değerlendirmesi. 271
Çizelge E.21 : D4_A1_K3 maliyet değerlendirmesi. 272
Çizelge E.22 : D4_A2_K1 maliyet değerlendirmesi. 273
Çizelge E.23 : D4_A2_K2 maliyet değerlendirmesi. 273
Çizelge E.24 : D4_A2_K3 maliyet değerlendirmesi. 274
Çizelge E.25 : D5_A1_K1 maliyet değerlendirmesi. 275
Çizelge E.26 : D5_A1_K2 maliyet değerlendirmesi. 276
Çizelge E.27 : D5_A1_K3 maliyet değerlendirmesi. 277
Çizelge E.28 : D5_A2_K1 maliyet değerlendirmesi. 278
Çizelge E.29 : D5_A2_K2 maliyet değerlendirmesi. 278
Çizelge E.30 : D5_A2_K3 maliyet değerlendirmesi. 279
Çizelge F.1 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K1. 280
Çizelge F.2 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K2. 281
Çizelge F.3 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K3. 282
Çizelge F.4 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K1. 283
Çizelge F.5 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K2. 284
Çizelge F.6 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K3. 285
Çizelge F.7 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K1. 286
Çizelge F.8 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K2. 287
Çizelge F.9 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K3. 288
Çizelge F.10 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K1. 289
Çizelge F.11 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K2. 290
Çizelge F.12 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K3. 291
Çizelge F.13 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K1. 292
Çizelge F.14 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K2. 293
Çizelge F.15 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K3. 294
Çizelge F.16 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K1. 295
Çizelge F.17 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K2. 296
Çizelge F.18 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K3. 297
Çizelge F.19 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K1. 298
Çizelge F.20 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K2. 299
Çizelge F.21 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K3. 300
Çizelge F.22 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K1. 301
Çizelge F.23 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K2. 302
Çizelge F.24 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K3. 303

Çizelge F.25 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K1. 304
Çizelge F.26 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K2. 305
Çizelge F.27 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K3. 306
Çizelge F.28 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K1. 307
Çizelge F.29 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K2. 308
Çizelge F.30 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K3. 309

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : UGR yönteminde aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açının örnek üzerinde ifadesi (CIE, 1995). 10
Şekil 2.2 : Günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi (Littlefair, 2011). 21
Şekil 2.3 : Gök görme oranının belirlenmesi (Hellinga & Hordijk, 2009). 22
Şekil 2.4 : Farklı pencere tiplerinde dış görüş (Hellinga & Hordijk, 2009). 22
Şekil 2.5 : EN 15193 aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi için akış diagramı (EN 15193, 2007). 32
Şekil 2.6 : Farklı mekan geometrileri için günışığından yararlanan bölgelerin ifadesi. 38
Şekil 2.7 : ISO 14040 ve 14044 standartları uyarınca LCA Çerçevesi (ISO 14040). 42
Şekil 2.8 : Lambaların yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri (Url-11). 47
Şekil 2.9 : Günışığının iç mekana alınma yöntemleri. 50
Şekil 3.1 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günlerinde ölçülen ortalama saatlik bulut kapalılık miktarı grafiği. ... 55
Şekil 3.2 : İstanbul'da 1991-2011 yılları arası 07:00-18:00 saatleri arasında ölçülen güneşlenme süreleri ortalamasının toplamı. 56
Şekil 3.3 : Farklı gök koşullarını temsil eden görseller (Url-17). 57
Şekil 3.4 : Gök parçasının hedef noktaya olan aydınlık etkisinin belirlenmesi (Tregenza & Waters, 1983). 65
Şekil 3.5 : Günışığı katsayılarının hesaplanmasında gök kubbenin ifadesi (Url-19). 66
Şekil 3.6 : Günışığının iç mekandaki dağılımını ifade eden RADIANCE çıktı örneği (Şener, 2009). 69
Şekil 3.7 : Dialux programı kullanılarak simüle edilmiş bir hacime ilişkin örnek. ... 72
Şekil 3.8 : Kapalı ve Açık gök koşulları ile modellenmiş bir toplantı odası hacminin karşılaştırmalı örneği (Şener, 2009). 73
Şekil 4.1 : Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı akış diyagramı. 78
Şekil 4.2 : Aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor açısından değerlendirmesi 81
Şekil 4.3 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci. 83
Şekil 4.4 : Yapma aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci. 93
Şekil 4.5 : Aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansının belirlenmesi. 96
Şekil 4.6 : Aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi akış diyagramı. 98
Şekil 4.7 : Aydınlatma sistemi tasarımının net maliyetinin belirlenmesi. 103
Şekil 5.1 : İncelenen ilköğretim binası zemin kat planı (MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı, 2006). 107

Şekil 5.2 : İncelenen ilköğretim binası kesiti (MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı, 2006). 108
Şekil 5.3 : İncelenen derslik ve engel ilişkisi (D4 kodlu senaryo). 111
Şekil 5.4 : Güneş kontrol elemanı profil açısının belirlenmesi. 111
Şekil 5.5 : Güneş kontrol elemanının uygulamasını ifade eden kesit ve görünüş. 112
Şekil 5.6 : Güneş kontrol elemanının uygulamasını ifade eden cephe modeli. 112
Şekil 5.7 : Ele alınan doğal aydınlatma senaryoları saatlik ortalama doğal aydınlatma performans değerleri grafiksel ifadesi. 117
Şekil 5.8 : D1 ve D2 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri. 120
Şekil 5.9 : D1 ve D3 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri. 121
Şekil 5.10 : D1 ve D4 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri. 121
Şekil 5.11 : D1 ve D5 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri. 122
Şekil 5.12 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık günışığı performans değerleri (%). 123
Şekil 5.13 : DGP hesaplaması için öğrenci (a) ve öğretmen (b) bakış doğrultuları. 124
Şekil 5.14 : Oluşturulan bakış doğrultularına ilişkin olarak iç mekana yerleştirilmiş kameralar ile elde edilmiş görselleştirmeler. 125
Şekil 5.15 : 15 Mart 12:00 koşulları için bakış doğrultulardaki aydınlık dağılımı. 127
Şekil 5.16 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık kamaşma olasılığı sonuçları. 132
Şekil 5.17 : D4 kodlu senaryo için günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi. 134
Şekil 5.18 : D5 kodlu senaryo için günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi. 135
Şekil 5.19 : A0 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi. 136
Şekil 5.20 : A0 kodlu senaryo aydınlatma sistemi planı (a) ve modeli (b). 136
Şekil 5.21 : A1 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi. 137
Şekil 5.22 : A2 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi. 137
Şekil 5.23 : A0 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı. 139
Şekil 5.24 : A0 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi. 139
Şekil 5.25 : A0 senaryosu için aydınlık dağılımını ifade eden model. 139
Şekil 5.26 : A1 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı. 140
Şekil 5.27 : A1 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi. 140
Şekil 5.28 : A2 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı. 141
Şekil 5.29 : A2 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi. 141
Şekil 5.30 : UGR hesabı için analiz bölgeleri (a) ve öğrenci bakış doğrultuları (b). 143
Şekil 5.31 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A0. 144
Şekil 5.32 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A0. 144
Şekil 5.33 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A1. 145
Şekil 5.34 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A1. 146
Şekil 5.35 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A2. 147

Şekil 5.36 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A2. 147
Şekil 5.37 : K2 senaryosu - yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları. 151
Şekil 5.38 : K3 senaryosu yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları..... 154
Şekil 5.39 : Ele alınan senaryolar için yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri. ... 155
Şekil 5.40 : Ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının grafiksel ifadesi. 156
Şekil 5.41 : Ele alınan senaryolar için manuel aydınlatma kontrolü (K1) kullanımında elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin karşılaştırmalı sonuçları. 157
Şekil 5.42 : Ele alınan K2 senaryosu ve BEP-TR manuel aydınlatma kontrolü seçimi yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin karşılaştırmalı sonuçları. 157
Şekil 5.43 : Ele alınan senaryolar için günışığına bağlı loşlaştırma aydınlatma kontrolü seçiminde (K3) oluşan yıllık aydınlatma enerjisinin karşılaştırmalı sonuçları. 158
Şekil 5.44 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık kg eşdeğer CO_2 salımı miktarları. 161
Şekil 5.45 : İstanbul ili 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçları. 166
Şekil 5.46 : Antalya ili 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçları. 167
Şekil 5.47 : İstanbul ve Antalya için 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı karşılaştırmalı sonuçları..... 168

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Sürdürülebilirlik kavramı, günümüzde giderek azalan enerji kaynakları, artan enerji maliyetleri ve enerji tüketiminin doğaya olan olumsuz etkileri nedenleriyle mimari tasarımda son derece önemlidir. Aydınlatma tasarımı konusunda sürdürülebilirlik kavramı, görsel çevrenin niceliksel ihtiyaçlarının doğal çevreye en az etki ile karşılanması olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımının hedefleri, ilk tasarım aşamalarından itibaren aydınlatma sistemlerinin performansını arttırmak, aydınlatma enerjisi tüketimini azaltmak ve kullanılan elemanların çevresel etkilerini minimuma indirmek olarak belirtilebilir.

Sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımları, hacimlerde istenen görsel konfor koşullarının elde edilmesi, kullanıcıların psikolojik ve fizyolojik memnuniyetinin sağlanması, minimum aydınlatma enerjisi gereksinimine sahip olacak çözümlerin üretilmesi, aydınlatma sistemlerinin minimum çevresel etkiye sahip olacak şekilde seçilmesi ve optimum maliyet kavramının dikkate alınması ile mümkündür. Bu nedenle aydınlatma tasarımlarının bütüncül bir anlayış ile bu parametreler doğrultusunda geliştirilebilmesi için bu çalışmada yeni bir mimari aydınlatma tasarımı yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, aydınlatma ön tasarımlarını sürdürülebilir aydınlatma tasarımı bileşenleri dikkate alınarak yönlendiren, değerlendiren ve optimum tasarım kararının elde edilmesinin hedeflendiği bir 'aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı' geliştirmek ve bu yaklaşımın çeşitli örnekler için uygulanmasını sağlamaktır.

Bu yaklaşımın adımları, çalışmada bir hesap yöntemi şeklinde ifade edilmiş ve çeşitli akış diyagramları halinde izlenmesi gereken sürece ilişkin bilgiler verilmiştir. Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesine yönelik olarak geliştirilen bu yaklaşım ile, aydınlatma tasarımlarında sürdürülebilirlik konusunun dikkate alınması ve bu doğrultuda uygun tasarım seçeneklerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı' ile sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımı kararlarının elde edilebilmesine yönelik olarak görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet açılarından değerlendirmeler gerçekleştirilerek optimum tasarım kararlarının elde edilmesi sağlanır. Geliştirilen yaklaşım, farklı coğrafi koşullar ve farklı bina tipolojileri için kullanılabilir niteliktedir.

Çalışma kapsamında, geliştirilen Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı'nın, Türkiye koşulları için uygulanması gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışması, eğitim binası dersliği örneğinde gerçekleştirilmiştir. Ele alınan örnek hacim için farklı aydınlatma tasarımı alternatifleri geliştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

AN ARCHITECTURAL LIGHTING SYSTEM DESIGN APPROACH FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTS

SUMMARY

The concept ‘sustainability’ is increasingly important in architectural design in consideration of dwindling energy resources, rising energy costs and the negative impact of energy consumption on nature. Sustainability in lighting design is defined as providing the visual environment’s quantitative needs with the least impact on the nature. In this regard, the aims of the sustainable architectural lighting system design can be specified as improving the performance of lighting systems, reducing lighting system’s energy consumption and minimizing the environmental impact of selected lighting elements.

Achieving sustainable architectural lighting system design is possible with providing the required visual comfort conditions and ensuring users' psychological and physiological satisfaction so they can carry out the visual tasks quickly and accurately. In this regard, the quantitative and qualitative aspects of visual comfort principles and recommendations are mainly addressed in international lighting standards. The European Standard ‘EN 12464-1 Light and Lighting -Lighting of Work Places -Part 1: Indoor Work Places’ defines lighting requirements that should be followed in order to obtain proper lighting solutions and gives guidance on visual comfort conditions for different space types.

Lighting design phase should represent a major route to reducing lighting energy consumption and CO_2 emissions of buildings. In Europe, The Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2002/91/EC requires all EU countries to enhance their building regulations in order to monitor and reduce energy consumption. Additionally, recent EPBD Recast 2010/31/EU Directive is aimed at building professionals to design or renovate buildings to a nearly zero energy use state. In order to determine the lighting energy performance of buildings, the calculation methodology described in EN 15193 Energy Performance of Buildings - Energy Requirements for Lighting Standard can be used. On the other hand, advanced energy analyses simulation tools can also be used for determining lighting energy performance of buildings.

Ensuring environmental consciousness from the lighting design to post-occupancy phase is substantially crucial. Today, there are several environmental assessment systems and tools, developed to determine the environmental performance of buildings as well as building sub-systems. ‘Life Cycle Assessment- LCA’ methodology defines the requirements and guidelines for environmental management and this method can be applied to lighting system design process or the lighting product selection phase. It is stated in different studies that the energy use in operation phase causes the largest environmental impacts of the whole life cycle therefore it is apparent that energy- efficient lighting design is directly related with sustainability and environmental protection.

‘Economics’ also plays a significant role in the lighting design process and financial analysis methods permit designers or clients to evaluate and decide on the best design decision. Lighting costs include the investment costs and running costs, which should be considered in terms of life cycle costing so that an optimum solution can be obtained. In Europe, all EU Member States are obliged to perform analysis on cost optimal levels of minimum energy performance requirements in accordance with Directive 2010/31/EU (EPBD recast). Accordingly, calculation of global cost in terms of net present value methodology is performed based on the methodology described in EN 15459 Standard.

Achieving sustainable architectural lighting designs are possible with providing required visual comfort conditions in spaces, obtaining users' psychological and physiological satisfaction, ensuring solutions with minimal lighting energy requirements, selecting lighting systems with minimum environmental impact and considering ‘optimum cost concept of lighting installations. Therefore, a new approach is proposed with the aim of developing lighting designs in line with these parameters with a holistic understanding. This study is aimed to describe the recently developed integrated architectural lighting system design approach in order to obtain sustainable built environments. The study consists of six chapters:

The first chapter is the introduction part. General information about the content of the thesis and the above mentioned information are given in this part of the study. The aim of the study is also introduced in this chapter.

The second part of the study is entitled ‘Visual Comfort, Energy Performance and Environmental Impact in Sustainable Lighting System Design’ and this part includes visual comfort, energy performance and environmental impact issues as well as their relationship with architectural lighting system design. In this section, psychological and physiological lighting design criteria are introduced in order to obtain visual comfort conditions. Information about several methods for determination of the lighting energy performance in buildings is given in this part of the study and related literature review is presented. Furthermore, examining the environmental impact of lighting system design by the use of methods developed in this regard, relevant standards and scientific studies in the world are introduced.

The third part of the study is entitled ‘Determination of Daylight Performance in Buildings’. This chapter focuses on several methodologies related with daylight calculations and determination of external illuminance. Determination of external illuminances is crucial in order to obtain the most realistic results for daylight performance calculations in buildings. In cases where the external illumination data is not recorded in the meteorological stations, sky type determination studies for a given location is necessary. Introducing the methods developed to determine the daylight performance of buildings, this chapter also gives brief information about the use of daylighting simulation programs providing advances in numerical analysis of daylight in buildings.

The fourth part of the study is entitled ‘Architectural Lighting System Design Approach for Sustainable Environments’. In this chapter a new architectural lighting system design approach is proposed with the aim of developing lighting designs considering ‘visual comfort, energy performance, environmental impact and optimum cost’ concepts. This chapter contains information about the steps of the developed approach and flowcharts illustrating the architectural lighting system design approach. By the use of developed approach for sustainable environments,

evaluations regarding visual comfort, energy performance, environmental impact and lighting costs can be performed in order to prompt the design phase and obtain optimal design decisions. The steps of the developed approach are as follows:

- Assessment of visual comfort for lighting system design
- Assessment of energy performance for lighting system design
- Assessment of environmental impact for lighting system design
- Assessment of cost efficiency for lighting system design

This methodology considers satisfying the visual comfort conditions as a prerequisite and aims to perform visual comfort assessments in terms of daylighting and artificial lighting. The daylight performance of the evaluated space is calculated considering determination of external illuminances, calculation of daylight distribution in the space (modelling the daylighting potential of the space on an annual basis), determination of glare caused by daylight on an annual basis and determination of view out conditions. In this approach, visual comfort assessment in terms of artificial lighting consist of the calculation of illuminance (E_{av}), calculation of uniformity (U), determination of glare caused by artificial lighting, color aspects of artificial lighting system and optimum integration of artificial lighting and daylighting.

In order to determine the energy performance of lighting systems, this approach considers the daylighting system's properties, artificial lighting system's properties and occupant-based parameters. With the help of this approach it is possible to design energy efficient lighting systems or perform necessary modifications during the design stage. This approach can also be used for the improvement of existing buildings so that energy conscious design variants can be obtained.

The approach aims the assessment of the environmental impact caused by lighting system design. Two different determination modules are proposed in order to determine the environmental impact caused by lighting systems. In this manner, Environmental Product Declarations- (EPD) based method is used in order to obtain environmental impact information for the selected lighting products in terms of their raw material extraction, manifacture, distribution, use and end of life. If the EPD documents for the selected lighting products do not exist, the environmental impact assessment can then be performed based on the 'Use Stage' method as this stage is known to have almost 90% of the overall environmental impact.

The developed approach considers the significance of financial analysis during the lighting design phase. Lighting costs determination is based on the methodology described in EN 15459. In this module, calculation of global cost in terms of net present value is performed.

This approach is aimed to utilise the optimisation of lighting system design decisions during the design phase so that visual comfort, energy efficiency, minimum environmental impact and optimum cost concepts can be ensured. In this manner, development of a lighting design dashboard is also performed in this chapter with the aim of providing relevant information regarding the assessment results of lighting system designs and their performance.

The fifth part of the study is entitled 'Implementation of the Architectural Lighting System Design Approach for Sustainable Environments for Turkey'. In this section, implementation of the new design approach is exemplified for a sample prototype primary school classroom. In this part, Turkey's diverse geographical and climatic characteristics are taken into consideration and the implementation of the approach is

performed for Istanbul and Antalya conditions. In this study, 5 daylighting system scenarios (D1, D2, D3, D4 and D5), two artificial lighting system scenarios (A1, A2) and 3 lighting control systems scenarios (K1, K2, K3) are applied for the investigated space and the results are obtained for each lighting design alternatives. Obtained results are presented as lighting design dashboards which are given in Appendix F.

This study demonstrates how a comprehensive architectural lighting design methodology can be applied on a sample space to assess visual comfort, lighting energy, environmental impact of lighting designs or lighting costs. In this study, the applicability of the developed approach is implemented on a sample primary school classroom space in Turkey conditions. Moreover this approach can also be used for different geographical conditions and building typology applications.

1. GİRİŞ

Günümüzde giderek azalan enerji kaynakları, buna paralel olarak artan enerji maliyetleri ve enerji tüketiminin olumsuz etkileri nedeniyle çevreye duyarlı tasarım ve sürdürülebilirlik kavramları önem kazanmıştır. Sürdürülebilir bina tasarımı, konfor gereksinmelerinin olabildiğince doğal yollardan karşılanmasını ve enerji tüketiminin en aza indirgenmesini hedeflemektedir. Yeni binaların sürdürülebilirlik ilkelerine uygun tasarımı ve mevcut binaların da bu doğrultuda yenilenmesi, Avrupa Birliği tarafından desteklenen ve Türkiye için de güncel olan bir konudur.

Günümüzde sürdürülebilir hedeflerin bina tasarımına entegrasyonu, iklim değişikliği, dünyadaki fosil tabanlı enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği ve buna bağlı olarak insan sağlığına olumsuz etkiler gibi gerekçelerden ötürü önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na göre "bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeksizin karşılamak" olarak tanımlanmaktadır (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu, 1987). Aydınlatma tasarımında sürdürülebilirlik kavramı, Illuminating Engineers Society (IES) ve International Association of Lighting Designers (IALD) tarafından "görsel çevrenin niceliksel ihtiyaçlarının doğal çevreye en az etki ile karşılanması" olarak tanımlanır (IESNA, 2011). Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı, binanın ön tasarım aşamasından itibaren aydınlatma performansı, enerji performansı ve çevresel etkiye ilişkin kriterlerin göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Aydınlatma tasarımlarının çevresel etkisi, ürünlerin üretim aşamasındaki kaynak kullanımına, aydınlatma sistemlerinin kurulum, bakım ve onarımı aşamalarında tüketilen enerjiye ve ürünlerde kullanılan malzemelerin yaşam döngüsü bilgilerine bağlıdır (IESNA, 2011).

Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı, uygun aydınlatma sistemi ve bileşeni tasarımı, aydınlatma sistemi yönetimi, görsel çevrede kalite ve atık konularını içermektedir. Uluslararası literatür incelendiğinde, sürdürülebilir aydınlatma tasarımının hedefleri, ilk tasarım aşamalarından itibaren aydınlatma sistemlerinin performansını arttırmak, aydınlatma enerjisi tüketimini azaltmak ve minimum çevre etkisine sahip aydınlatma

elemanlarını tercih etmek olarak belirtilmiştir. Bu nedenle tasarım aşamasından itibaren aydınlatma tasarımlarının bu açılardan performansının belirlenmesi son derece önemlidir. Sürdürülebilir aydınlatma tasarımı konusunda dikkate alınması gereken kriterler şu şekildedir:

- Doğal ışıktan maksimum ölçüde yararlanarak iç mekanda konforlu ve esnek bir aydınlatma sisteminin dikkate alınması, yapma aydınlatma ihtiyacının azaltılması, aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlanması ve böylelikle yapma aydınlatma elemanlarının servis ömürlerinin arttırılması,
- Çalışma ortamlarında kullanıcılara uygun dış görüş koşullarının sağlanması,
- Aydınlatma kontrol sistemleri ve enerji etkin aydınlatma elemanı seçimi ile yapma aydınlatmaya bağlı enerji tüketiminin minimize edilmesi,
- Kullanıcıların göz sağlığını ve görsel konforda olma durumlarını gözeten bir görsel çevrenin sunulması,
- Çevre duyarlılığına sahip malzemeler ile donatılmış aydınlatma ürün seçimi ile atıkların minimize edilmesi ve çevre kirliliğinin engellenmesi,
- Ambalaj malzemesi kullanımını ve ulaştırma (taşıma) gereksinimlerini azaltan seçeneklerin geliştirilmesi,
- Aydınlatma sistemlerinin bakım-onarım ve geri dönüşümü ile ilgili planlamanın gerçekleştirilmesi,
- Işık kirliliğinin ve kontrolsüz ışık kaçışının engellenmesi (IESNA, 2011).

Aydınlatma tasarımlarının hedeflenen beklentileri karşılaması açısından değerlendirilmesi ve bu değerlendirmenin tasarım aşamasından itibaren gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımları, hacimlerde istenen görsel konfor koşullarının elde edilmesi, psikolojik ve fizyolojik açılardan uygun aydınlatma çözümlerinin dikkate alınarak kullanıcıların memnuniyetinin sağlanması, minimum aydınlatma enerjisi gereksinimine sahip olacak çözümlerin üretilmesi, aydınlatma sistemlerinin minimum çevresel etkiye sahip olacak şekilde seçilmesi ve tasarımların optimum maliyet kavramı gözetilerek gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Sürdürülebilir aydınlatma tasarımlarının elde edilmesi, bu parametrelerin bütüncül bir anlayış ile ele alındığı bir aydınlatma tasarımı yaklaşımı ile olanaklıdır. Bu nedenle, çalışma kapsamında bu parametreleri ve güncel standart ve yönetmelikleri dikkate alan yeni bir ‘mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı’ geliştirilmiş ve örnekler üzerinde uygulanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde sürdürülebilir aydınlatma tasarımı bileşenlerinden olan görsel konfor, enerji performansı ve çevresel etki konuları ele alınmıştır. Bu bölümde aydınlatma tasarımında görsel konfor gereksinimlerine değinilerek psikolojik ve fizyolojik açılardan bu gereksinimler ve tasarımda dikkate alınması gereken kriterler tanıtılmıştır. Bu bölümde, aydınlatma tasarımlarının enerji performansının belirlenmesi ile ilgili bilgilere yer verilmiş ve aydınlatma tasarımında enerjinin etkin kullanımı ile ilgili çalışmalara değinilmiştir. Ayrıca, aydınlatma tasarımlarının çevresel etkilerinin incelenmesi gerçekleştirilerek bu konuda geliştirilen yöntemler, ilgili standartlar ve gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar tanıtılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde binalarda günışığı performansının belirlenebilmesi konusu ele alınmıştır. Bu doğrultuda, dünyada yaygın olarak kullanılan günışığına bağlı hesap yöntemleri tanıtılmış ve dış aydınlık düzeyinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar aktarılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde binalarda günışığı performansının belirlemesine ilişkin yöntemler tanıtılarak bu amaçla kullanılan aydınlatma simülasyon programlarına ilişkin bilgiler aktarılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı' tanıtılarak bu yaklaşımın alt bölümlerine ilişkin detaylar açıklanmıştır. Geliştirilen yaklaşım, sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının elde edilmesinde yol gösterici olmakta ve bu yaklaşımın kullanımı ile aydınlatma tasarımlarının görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet kavramları açısından uygun sonuçlar verecek şekilde gerçekleştirilmeleri amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım ile aydınlatma sistemi tasarımı aşamasında görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet etkinlik açılarından gerekli değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi ile optimum aydınlatma tasarımı kararlarının elde edilmesi mümkün olacaktır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, geliştirilen yaklaşımın örnekler üzerinde uygulanması gerçekleştirilmiştir. Yaklaşımın uygulanmasında Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel özellikleri dikkate alınmış ve ele alınan bölgelere ilişkin dış aydınlık düzeyinin belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir. Yaklaşım, bir 'tip ilköğretim okulu dersliği' için uygulanmış ve ele alınan hacim için farklı aydınlatma tasarımı alternatifleri geliştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, aydınlatma ön tasarımlarını sürdürülebilir aydınlatma tasarımı bileşenleri dikkate alınarak yönlendiren, değerlendiren ve optimum tasarım kararının elde edilmesinin hedeflendiği bir 'aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı' geliştirmek ve bu yaklaşımın çeşitli örnekler için uygulanmasını sağlamaktır. Bu çalışma kapsamında sürdürülebilir aydınlatma tasarımını doğrudan ilgilendiren aşağıdaki başlıkların sağlanması hedefiyle bir yaklaşım geliştirilmiştir:

- Aydınlatma tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının enerji performansı açısından değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının maliyet etkinlik açısından değerlendirmesi.

Önerilen yaklaşım, aydınlatma ön tasarımlarını görsel konfor, enerji etkinlik ve minimum çevresel etki açılarından yönlendirici bir özelliğe sahip olup optimum tasarım kararlarının elde edilmesini sağlamayı hedeflemektedir. Mevcut aydınlatma tasarımlarının da bu yaklaşım ile değerlendirilebilmesi ve görsel konfor, enerji performansı ile minimum çevre etkisi açılarından iyileştirilebilmeleri olanaklıdır.

Bilindiği gibi doğru bir aydınlatma tasarımı, doğal ve yapma aydınlatmanın gerek görülen durum ve mekanlarda en etkin şekilde birlikte kullanılması esasına dayanmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde doğal ve yapma aydınlatma alanında gerçekleştirilen yenilikler kullanılarak aydınlatma tasarımlarının özgün ve sürdürülebilir çözümlerle desteklenmesi sağlanabilmektedir. Binalarda günışığından yararlanmak hedefiyle kullanılan ileri teknolojiye sahip sistemler, gelişmiş teknolojiye sahip akıllı camlar kullanılarak tasarlanmış günışığı açıklıkları, ışık tüpleri, optik ışık toplayıcı ve yayıcı sistemler, ışık rafları gibi çeşitli uygulamalar bu tür sistemlere verilebilecek örnekler arasındadır. Bunlardan başka binalarda gölgeleme amacıyla kullanılan sabit veya hareketli elemanların tasarımında fotovoltaik (PV) paneller kullanılarak bu elemanların binanın bir parçası olarak işlevlendirilmesi ve elektrik enerjisinin elde edilmesi sağlanabilmektedir. Binalarda yapma aydınlatma sistemi tasarımında da enerji etkin ürünlerin kullanılması ve işleve bağlı olarak en uygun kontrol sistemi ile doğal ve yapma ışığın bütünleştirilmesi, enerji etkin ve sürdürülebilir aydınlatma tasarımı açısından önemlidir. Geliştirilen yaklaşım, aydınlatma tasarımlarında ileri teknolojilerin kullanımını teşvik etmekte ve bu tür uygulamaların aydınlatma tasarımlarında tercih edilmesinin sürdürülebilir aydınlatma tasarımlarındaki önemini ortaya koymaktadır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMINDA GÖRSEL KONFOR, ENERJİ PERFORMANSI VE ÇEVRESEL ETKİ

Çalışmanın bu bölümünde sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımında görsel, psikolojik ve fizyolojik konfor gereksinimleri tanıtılmış, aydınlatma tasarımlarının enerji etkinlik konusu ile ilişkisi ve çevresel etki değerlendirmesinde kullanılabilecek yöntemler ele alınmış ve bu konular ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür araştırmasına yer verilmiştir.

2.1 Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor Gereksinimleri

İnsanın görsel açıdan konforda olması, görsel performansın ve buna bağlı olarak yapılan işteki verimin arttırılarak göz sağlığının korunması, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerine karşılık veren bir aydınlatma tasarımı ile mümkündür. Bu nedenle farklı bina ve hacim türleri için gerekli görsel konfor koşulları uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterler ışığında ele alınmalı ve kullanıcıların göz sağlığının korunması hedeflenmelidir. Yapı tasarımı ile bütünleşmiş ve uluslararası standartlara uygun bir aydınlatma sistemi tasarımı, görsel konfor koşullarının sağlanması açısından temel prensip olarak ele alınmalıdır.

Dünyada CIE (Commission Internationale de L'Eclairage – Uluslararası Aydınlatma Komisyonu), IESNA (The Illuminating Engineering Society of North America – Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Birliği), SLL (Society of Light and Lighting- İngiltere), CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) gibi kuruluşlar, binaların doğru şekilde aydınlatılması için çeşitli tavsiyeler yayınlamaktadır. Öte yandan Avrupa Birliği- AB genelinde yayınlanan çeşitli standartlarda da aydınlatmada görsel konfor koşulları ile ilgili çeşitli kriterler yer almaktadır. EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma-Çalışma alanlarının aydınlatılması-Bölüm 1: İç çalışma alanları standardı, Avrupa için geçerli olup Türkiye'de de bu standartta belirtilen konfor kriterlerinin sağlanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu standartta iç mekanlarda sağlanması istenen minimum aydınlık düzeyi ($E_{istenen}$),

renksel geriverim değeri-R_a, aydınlatmanın düzgünlüğü-U ve yapma aydınlatmaya bağlı kamaşma indisi-UGR_L (Unified Glare Rating) ve ile ilgili kriterler bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de EN 12464-1 standardında eğitim binaları için tavsiye edilen kriterler örnek olarak verilmiştir (EN 12464, 2011, TS EN 12464-1, 2013).

Çizelge 2.1 : Eğitim binalarında istenen aydınlık düzeyi ($E_{istenen}$), renksel geriverim değerleri (R_a), düzgünlük (U) ve UGR_L sınır değerleri (EN 12464, 2011, TS EN 12464-1, 2013).

	Hacim Türü	$E_{istenen}$ (lx)	R_a (min)	U	UGR_L
Eğitim Binaları	Derslikler (anaokulu)	300	80	0.60	19
	Derslikler (ilkokul)	300	80	0.60	19
	Derslikler (lise, üniversite,vb)	500	80	0.60	19
	Teknik Çizim Derslikleri	750	80	0.70	16
	Resim ve Elişi derslikleri	500	80	0.60	19
	Sanat Okulu Resim Derslikleri	750	90	0.70	19
	Koridorlar	100	80	0.40	25
	Kürsüler	300	80	0.60	19
	Personel odaları	300	80	0.60	19
	Spor Salonları	300	80	0.60	22
	Öğretmenler odası	300	80	0.60	19
	Fotokopi odası	300	80	0.40	19
	Kütüphane (raflar)	200	80	0.60	19
	Kütüphane (okuma)	500	80	0.60	19

EN 12464-1 standardında farklı bina tipolojileri ve hacim türleri için görsel konforun sağlanmasına yönelik aşağıdaki konularda tavsiyeler yer almaktadır:

- Aydınlık çevresi
- Parıltı dağılımı
- Aydınlık düzeyi
- Aydınlık düzeyi gridi
- Kamaşma
- İç mekan aydınlatması
- Renk
- Işık titremesi ve stroboskopik etkileri
- Görüntüleme ekranı ekipmanına sahip mekanlar için aydınlatma
- Bakım faktörü
- Enerji etkinlik gereksinimleri
- Doğal aydınlatmanın yararları
- Işığın değişkenliği

Görsel konfor koşulları ile doğrudan ilişkili konular, aydınlık düzeyi, parıltı ve renk'tir.

Aydınlık düzeyi (E) birim alana düşen ışık akısı olarak tanımlanmaktadır. Birimi lux'tür. Aydınlık düzeyi kavramı, gözün görme yeteneği ile doğrudan ilişkilidir. İç mekanlarda görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için gerekli aydınlık düzeyi değerlerinin sağlanması esastır.

Parıltı (L) ışık kaynağının belirli bir doğrultudaki ışık şiddetinin görünen alana bölümüne eşittir. Birimi cd / m^2'dir. Parıltı ve parıltı kontrastı görsel iletişimin sağlanmasındaki önemli etmenlerdendir ancak bu değerlerin istenen sınırlar arasında bulunmaması, kamaşma olayını beraberinde getirmektedir (Robbins, 1986).

Kamaşma, lambaların uygun olmayan dağılımları ya da yüksek karşıtlık sonucu nesnelerin ya da ayrıntılarının ayırt edilmesindeki yetenek eksikliği olarak tanımlanır (Sirel, 1997). İstenmeyen ışığın bakış doğrultusunda kalmasından kaynaklanan bir durum olup gözün dış etkenlere bağlı olarak geçici bir süre görme yeteneğini kaybetmesi olarak nitelendirilmektedir (Özkaya, 2004). Kamaşma, görsel çevrede yer alan yüzeylerin parıltısının, çevredeki genel parıltı düzeyinden gözün alışık olmadığı derecede yüksek olması durumunda oluşan ve görsel performansın ve görünürlüğün azalmasına sebep olan bir durumdur (IESNA, 2011). Kullanıcıların görsel açıdan konforda olması, iç mekanda doğal veya yapma aydınlatma kaynaklarından kaynaklanabilecek kamaşma probleminin denetlenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Kamaşma özellikle gün boyu kullanılan ve görsel işlerin gerçekleştirilmesinin önemli olduğu hacim türlerinde, kullanıcıların göz sağlığını olumsuz etkileyen, görsel işte verim düşmesi, dikkat dağınıklığı gibi unsurları beraberinde getiren bir problemdir. Gerçekleştirilen çalışmalarda bakış doğrultusunda kalan yüksek parıltıya sahip ışık kaynaklarının kişilerde migren, ışığa bağlı epilepsi gibi problemlere yol açtığı ortaya konmuş, bu nedenle kamaşmanın denetim altına alınması gerekliliği vurgulanmıştır (Boyce, Hunter & Howlett, 2003, Url-1). 2011'de gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada Kore'de yeşil bina sertifikasına sahip bir ofis binasında kullanıcılara yönelik olarak görsel konfor ve göz sağlığı ile ilgili analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bina kullanıcıları arasında en yaygın olarak karşılaşılan görsel konforsuzluk durumunun günışığına bağlı kamaşma olduğu tespit edilmiştir (Hwang & Kim, 2011, Url-2).

Kamaşma, günışığı veya yapma ışık kaynakları nedeniyle oluşabilmektedir. İlgili literatür incelendiğinde yetersizlik ve konforsuzluk kamaşması olmak üzere iki tür kamaşmadan söz etmek mümkündür. Yetersizlik kamaşması, konforsuzluğa neden olmaksızın insanın görüş yeteneğinin azalmasına sebep olan kamaşma türüdür (Robbins, 1986). Bu durum, ışığın retina üzerinde saçılmasından kaynaklanmakta olup gözün kontrast duyarlılığının düşmesi ile açıklanabildiğinden ölçülebilir bir büyüklüktür. Yetersizlik kamaşması, kullanıcının görsel iş yeteneğini düşürmektedir. Bu büyüklük, kaynağın parıltısı ve görme alanı ile doğru, kaynakla görsel hedef arasındaki açı ile ters orantılıdır (Küçükdoğu, 1995). Alman literatüründe yetersizlik kamaşması 'fizyolojik', konforsuzluk kamaşması ise 'psikolojik' kamaşma olarak tanımlanır. Konforsuzluk kamaşması esnasında iş performansında herhangi bir azalma meydana gelmezken vücutta kamaşmaya bağlı olarak psikolojik problemler oluşabilmektedir. Yetersizlik kamaşması durumunda ise kamaşmaya maruz kalanların görüş kabiliyetlerinde ani bir düşüş yaşanmakta ve görsel işleri yerine getirilmesi engellenmektedir (Werner, 2005).

1950'den bu yana konforsuzluk kamaşmasının belirlenmesi ve değerlendirilmesi için kamaşma indisleri ortaya atılmış ve geliştirilmiştir. Luckies - Guth (1949) ve Petherbridge - Hopkinson (1950) tarafından yapılan çalışmalarda konforsuzluk kamaşmasının belirlenebilmesine yönelik eşitlikler geliştirilmiştir. 1970 yılında Ficher'in yapmış olduğu çalışmalarda görüş alanına pencerelerin girmesinden kaynaklanan kamaşma incelenmiş ve 1973 yılında van Learn tarafından geliştirilen yöntem ile konforsuzluk kamaşmasının kriterleri ortaya konmuştur. İngiltere'deki BRE (Building Research Establishment) kuruluşu ile Amerika'da bulunan Cornell Üniversitesi'nde pencereden kaynaklanan kamaşma konusunda bir çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak Cornell eşitliği (Eşitlik 2.1) ortaya atılmıştır.

$$G=K\,[L_s^{1.6}\Omega^{0.8} / L_b + (0.07\,\omega^{0.5}\,L_s] \qquad \textbf{(2.1)}$$

K: değeri ölçü birimine ve ışık kaynağına bağlı sabit,

L_s : kaynak parıltısı (candela/m^2),

L_b: fon parıltısı (candela/m^2),

Ω, ω: pencerenin boyut ve konumuna bağlı katsayılar.

Kamaşma ile ilgili çalışmalar Cornell eşitliğine dayalı olarak geliştirilerek 'günışığı kamaşma indisi' kavramı ortaya atılmıştır. Bu değer, Eşitlik 2.2 ile hesaplanır.

$$dG=11\ [L_s^{1.6}\Omega^{0.8} / L_b + (0.07\ \omega^{0.5}\ L_a] \quad \textbf{(2.2)}$$

dG: günışığı kamaşma sabiti,

L_s : kaynak parıltısı (candela/m^2),

L_b: fon parıltısı (candela/m^2),

L_a: pencere yüzeyinin parıltısı (candela/m^2),

Ω, ω: pencerenin boyut ve konumuna bağlı katsayılar.

Chauvel tarafından geliştirilen günışığı kamaşma indisi ise Eşitlik 2.3 ve 2.4 uyarınca hesaplanmaktadır. Çizelge 2.2'de DGI kamaşma kategorisi aralıkları yer almaktadır.

$$DGI=10 \log \sum_{i}^{n}{}_{=1} G_i \quad \textbf{(2.3)}$$

$$G_i =0{,}478\ [L_s^{1.6}\Omega_i^{0.8} / L_b + (0.07\ \omega^{0.5}\ L_w] \quad \textbf{(2.4)}$$

L_s : kaynak parıltısı (candela/m^2),

L_b: fon parıltısı (candela/m^2),

L_w: pencere yüzeyinin parıltısı (candela/m^2),

Ω, ω: pencerenin boyut ve konumuna bağlı katsayılar.

Çizelge 2.2 : DGI kamaşma kategorisi aralıkları (Url-3, Url-4, Robbins,1986).

Kamaşma kategorisi	DGI
Hissedilebilir kamaşma	16-18
Kabul edilebilir kamaşma	20
Konfor ve konforsuzluk ara durumu	22
Rahatsızlık verici kamaşma	24-26
Katlanılamaz kamaşma	>28

Literatür incelendiğinde DGI kamaşma kategorilerinin farklı kaynaklara göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin Harvard Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada hissedilemez kamaşma aralığı <18, hissedilebilir kamaşma aralığı 18-24, rahatsızlık verici kamaşma aralığı 24-31 ve katlanamaz kamaşma aralığı ise >31 olarak verilmiştir. (Jakubiec & Reinhart, 2010; Jakubiec & Reinhart,2012). Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE'nin 1983 yılında Einhorn önderliğinde gerçekleştirdiği çalışma sonucunda CIE Kamaşma İndisi (CGI) ortaya atılmıştır. Bu hesap yöntemi uyarınca CGI kamaşma indisi Eşitlik 2.5 ile belirlenir (CIE, 1995).

$$CGI = 8\ log\left[2.\frac{1+E_d/500}{E_d+E_i}.\sum\frac{L^2\omega}{p^2}\right] \quad \textbf{(2.5)}$$

E_d: tüm kaynakların göz hizasında oluşturduğu direkt düşey aydınlık (lux),

E_i: göz hizasındaki dolaylı düşey aydınlık (lux),

L: aydınlatma elemanlarının görüş alanına giren parıltısı (candela/m^2),

ω: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açı (steradyan),

p: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı Guth indisi.

1995 yılında CGI indisi, TC 3-13 teknik komitesi tarafından geliştirilerek 'UGR (Unified Glare Rating)' yöntemi ortaya atılmıştır. UGR'nin hesaplanmasında Eşitlik 2.6 kullanılır. Şekil 2.1'de UGR eşitliğinde kullanılan aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açı ω'nin tarifine yer verilmiştir (CIE, 1995).

$$UGR = 8\ log\left[\frac{0{,}25}{L_b}.\sum\frac{L^2\omega}{p^2}\right] \quad \textbf{(2.6)}$$

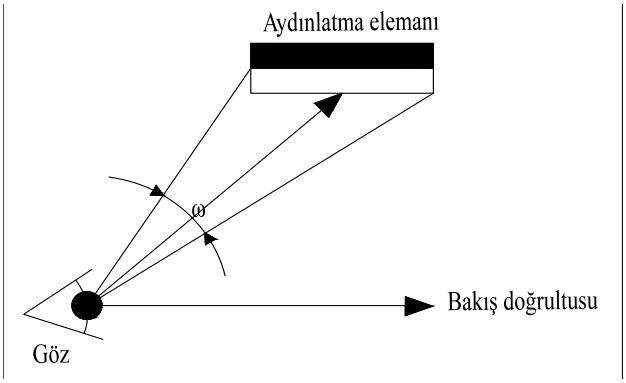
L_b: fon parıltısı (candela/m^2),

L: aydınlatma elemanlarının görüş alanına giren parıltısı (candela/m^2),

ω: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açı (steradyan),

p: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı Guth indisi.

Çizelge 2.3 'de UGR kamaşma kategorisi değer aralıkları verilmektedir. 2005 yılındaki bir çalışmada, UGR yönteminin noktasal ışık kaynaklarının etkin olduğu yapma aydınlatma koşullarında kamaşmanın belirlenmesi için uygun olduğuna ancak günışığı kullanımında bu yöntemin yetersiz kaldığına değinilmiştir (Werner, 2005). Bu nedenle günışığı kaynaklı kamaşmanın değerlendirilebilmesi için farklı indislerin hesaplanmasına gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 2.1 : UGR yönteminde aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açının örnek üzerinde ifadesi (CIE, 1995).

Çizelge 2.3 : UGR kamaşma kategorisi aralıkları (Jakubiec & Reinhart, 2010).

Kamaşma kategorisi	UGR
Hissedilmeyen kamaşma	<13
Hissedilebilir kamaşma	13-22
Rahatsızlık verici kamaşma	22-28
Katlanılamaz kamaşma	>28

DGP olarak nitelendirilen Günışığı Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability) yöntemi, Wienold ve Christoffersen tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem, mekanlarda ölçülen aydınlık ve parıltı değerleri ile kullanıcıların mekanlardaki aydınlatma koşullarına olan tepkisi arasındaki ilişkiye dayanır (Wienold & Christoffersen, 2006). Yöntemin geliştirilmesi aşamasında 70'den fazla denek Kopenhag ve Freiburg şehirlerinde farklı doğal aydınlatma koşulları altında bulunmuş ve ilgili ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bina kullanıcılarının günışığı kaynaklı kamaşmadan etkilenme durumları incelenmiş ve ilgili durumlar mevcut günışığı kamaşma indisleri ile hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile yeni bir kamaşma hesap yöntemi olan DGP ortaya atılmış ve bu yöntem uyarınca günışığı kamaşması hesabı için Eşitlik 2.7 geliştirilmiştir (Wienold & Christoffersen, 2006).

$$DGP = 5.87\ x\ 10^{-5} E_V + 9{,}18\ x\ 10^{-2}\ log\left(1 + \sum_j \frac{L_{s,j}^2 \omega_{s,j}}{E_v^{1,87} P_j^2}\right) + 0{,}16 \qquad \textbf{(2.7)}$$

E_V: tüm kaynakların gözde oluşturduğu düşey aydınlık (lux)

L_s : kaynak parıltısı (candela/m^2)

ω_s: ışık kaynağına ilişkin aydınlık parçasının göz ile arasında oluşturduğu açı (sr)

P: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı Guth indisi

DGP değerlendirme yönteminin kullanıldığı güncel çalışmalar literatürde mevcuttur. DGP kamaşma kategorileri, farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü'nde gerçekleştirilen bir çalışmada hissedilebilir kamaşma aralığı %35-%40, Harvard Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada ise %30-%35 olarak belirlenmiştir (Jakubiec & Reinhart, 2010, Jakubiec & Reinhart, 2012). Çizelge 2.4'de DGP kamaşma kategorisi aralıkları, farklı çalışmalar için karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Jakubiec & Reinhart, 2010, Jakubiec & Reinhart, 2012, Wienold & Christoffersen, 2006).

Çizelge 2.4 : DGP kamaşma kategorisi aralıkları (Jakubiec & Reinhart, 2010).

Kamaşma kategorisi	DGP (Jakubiec, & Reinhart, 2010)	DGP (Wienold, & Christoffersen, 2006)
Hissedilmeyen kamaşma	<30	<35
Hissedilebilir kamaşma	30-35	35-40
Rahatsızlık verici kamaşma	35-45	40-45
Katlanılamaz kamaşma	>45	>45

DGP, doğal aydınlatmaya bağlı konfor koşullarının analiz edilmesi hedefiyle geliştirilen simülasyon programları aracılığıyla hesaplanabilmektedir. 2012 yılında Harvard Üniversitesi'nde mekanlarda konforsuzluk kamaşmasının belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiş ve bu deneysel çalışmada farklı kamaşma indislerine ilişkin kamaşma kategorisi aralıkları, ölçüm ve simülasyon programları yardımı ile belirlenmiştir. Örnek bir hacimde farklı gök koşulları altında kullanıcıların farklı pozisyon ve bakış doğrultuları incelenerek Radiance ve Evalglare programları yardımı ile modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı pozisyon ve bakış doğrultularını içeren ve mekanın fiziksel özelliklerine, eylem türüne ve tefriş elemanlarına bağlı olan bir 'adaptif bölge' tanımı yapılmakta, ve kamaşma oluşumu durumunda aktif olarak kullanıcı tarafından kontrol edilen güneş kontrol elemanları yardımı ile kamaşmanın yıllık bazda azaltım oranı ortaya konmaktadır. Çalışmada DGP yaklaşımının diğer yaklaşımlara oranla daha hassas ve güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bu nedenle mekanlarda oluşan konforsuzluk kamaşması miktarını belirlemek için bina tasarım aşamasından itibaren çeşitli simülasyon programları kullanılarak DGP yaklaşımı ile kamaşma hesaplamalarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Jakubiec & Reinhart, 2012). Suk J. ve Schiler M. tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, DGP yaklaşımının çeşitli simülasyon araçları ile balık gözü tekniği ile çekilmiş HDR (high dynamic range) fotoğraflar üzerinden hesaplanabileceği belirtilmiştir (Suk & Schiler, 2013). Cantin ve Dubois tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise DGP yönteminin kullanımında diğer kamaşma ölçütlerine göre güvenilir sonuçlar elde edildiği belirtilmiş ancak bu güncel yaklaşımın farklı çalışmalar ile test edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Cantin & Dubois, 2011).

Renk konusu, aydınlatma tasarımı ile doğrudan ilişkili olup mekan yüzeylerinin seçilmesi ve ışık kaynaklarının renklerinin eylemlere uygun olması açılarından önemlidir. Hacimlerde tavan, duvar ve döşeme yüzeyleri için ışık yansıtma katsayılarının dolayısıyla renklerinin standartlara uygun seçilmesi gerekmektedir. EN

12464 standardında bu konu ile ilgili tavsiyeler yer almaktadır. Buna göre ilgili ışık yansıtma katsayısı değerleri tavan için 0,6-0.9, duvarlar için 0,3-0.8, çalışma düzlemi için 0,2-0,6 ve döşeme için ise 0,1-0,5 olması önerilir (EN 12464, 2011). Işık kaynaklarının renksel özellikleri ile ilgili tavsiyeler EN 12464 standardında bulunmaktadır. Literatürde, renksel geriverim grupları ile eylem türleri eşleştirilmiş ve buna bağlı olarak Renksel Geriverim İndisi (R_a) ile ilgili tavsiyeler oluşturulmuştur. Çizelge 2.5'de R_a ile ilgili gruplandırma yer almaktadır.

Çizelge 2.5 : Renksel Geriverim- R_a grupları (SLL, 2012).

Renksel Geriverim Grupları	Renksel Geriverim İndisi (R_a)	Açıklama
1A	$R_a \geq 90$	Tam renk algılama çok gerekli
1B	$90 \geq R_a \geq 80$	Tam renk algılama gerekli
2	$80 \geq R_a \geq 60$	Renk algılama orta derecede gerekli
3	$60 \geq R_a \geq 40$	Renk algılama önemli ancak renkte bozulma istenmiyor
4	$40 \geq R_a \geq 20$	Renk algılama önemli değil, renkte bozulmalara izin verilebilir

Işık kaynaklarının renk sıcaklığı değeri (Correlated Color Temparature-CCT), ilgili standartlara uygun olmalıdır. Lambaların ışık renkleri, sıcak (3300K altı) orta (3300-5300K) ve soğuk (5300K ve üzeri) olmak üzere üç grupta incelenir. Çizelge 2.6'da çeşitli ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları bilgileri bulunmaktadır (SLL, 2012).

Çizelge 2.6 : Işık kaynaklarına ilişkin renk sıcaklığı verileri (SLL, 2012).

Işık kaynağının türü	Renk sıcaklığı
Günışığı	6500K
Flüoresan (günışığı)	6000K / 6500K
Flüoresan (soğuk beyaz)	4000K
Flüoresan (beyaz)	3500K
Flüoresan (sıcak beyaz)	2700K / 3000K
Tungsten halojen	2800K
Kompakt metal halide	3000K – 4400K
LED	2700K – 6500K

Aydınlatmanın düzgünlüğü (U), mekanlarda gerçekleşen minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranıdır. İç mekanlarda farklı bina ve hacim türleri için gerekli düzgünlük önerileri EN 12464 standardında bulunmaktadır. Çizelge 2.7'de iç mekanlarda düzgünlüğün sağlanabilmesi için hedef aydınlık düzeyi

ve çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi ilişkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir (EN 12464, 2011).

Çizelge 2.7 : Hedef aydınlık düzeyi-çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi ilişkisi (EN 12464, 2011).

Hedef aydınlık düzeyi (lx)	Çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi (lx)
≥750	≥500
500	300
300	200
200	150
<150	Hedef aydınlık düzeyi

Aydınlatma tasarımında ürün seçimi, görsel konfor ve enerji performansı konuları ile doğrudan ilişkilidir. Görsel konfor koşullarını sağlayan ve enerji etkin aydınlatma tasarımları için kullanılan ürünlerin nicelik ve niteliksel özellikleri tasarım aşamasından itibaren dikkatle ele alınmalıdır. Yapma ve doğal aydınlatma sistemlerindeki ürünlerin seçimi, aydınlatma tasarımlarını görsel açıdan destekleyecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurulan aydınlatma sistemlerinin esnekliği ve işletmede kolaylığı, bakım-onarıma bağlı olarak gerekli değişikliklerin gerçekleştirilebilmesi ve kullanıcıların konforunun sağlanması açılarından önemlidir.

Lambalar, çoğunlukla görülebilir bölgede optik ışınım üretmek amaçlı tasarlanmış kaynaklardır (Sirel, 1997). Lambaların etkinlik faktörü, kaynaktan çıkan toplam ışık akısının kaynak gücüne oranıdır (lm/W). Yüksek etkinlik faktörüne sahip lamba seçimi, aydınlatma tasarımlarında enerji etkinlik açısından önemlidir. Lambalar, yüksek etkinlik faktörüne sahip, uzun kaynak ömrüne sahip, işletmede kolay, darbelere karşı dayanıklı ve uygun ışık rengine sahip olacak şekilde seçilmelidir.

Aygıtlar, lambaların ışık dağılımını alt ve/veya üst yarı uzaya yönlendiren, kamaşmayı önleyen, lamba ve yardımcı elemanları dış etkilerden koruyan ve iç mekan görselliğine katkı sağlayan araçlardır. Aygıt verimi, aygıttan çıkan ışık akısının lambadan çıkan ışık akısına oranı olup bu değerin yüksek olması beklenir. IP (Ingress Protection) Sınıfı, aygıt gövdelerinin ortam şartlarına dayanımını ifade eden sistemdir. Aygıt seçiminde ortam şartlarına uygun IP değerleri dikkate alınmalıdır.

Aydınlatma sisteminin türü, aydınlatma aygıtlarından çıkan ışık akısının tümünün ya da bir kısmının yönlendirildiği uzay parçasıyla ilgilidir. Aydınlatma sisteminin türleri, tavana ve alt yarı uzaya ışık verme oranlarına göre Çizelge 2.8'de örneklenmiştir.

Çizelge 2.8 : Aydınlatma sisteminin türleri (IESNA, 2011).

Aygıt Türü	Tavana ışık verme yüzdesi (%) (90-180°)	Alt yarı uzaya ışık verme yüzdesi (%) (0-90°)	Işık Dağılım Eğrisi
dolaysız	0-10%	90-100%	
yarı dolaysız	10-40%	60-90%	
dolaysız-dolaylı	40-60%	40-60%	
karma ya da yayınık	40-60%	40-60%	
Yarı dolaylı	60-90%	10-40%	
dolaylı	90-100%	0-10%	

Aydınlatma tasarımı yapılan mekana ilişkin aydınlatma planı ve düzeni, ilgili mekanın kullanım amacı ve istenen aydınlık düzeyi ($E_{istenen}$) renksel geriverim değeri (R_a) ve düzgünlük (U) değerlerine bağlı olarak belirlenir. Gerçekleştirilen yapma aydınlatma hesaplamaları sonucunda kullanılacak lamba adedi belirlenir ve ele alınan mekandaki eylem türlerine göre gerekli zonlama gerçekleştirilerek aydınlatma planı oluşturulur. Aydınlatma tasarımında uygun lamba-aygıt seçiminin yanı sıra kullanıcıların görsel konfor koşullarını dikkate alan ve aynı zamanda aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlayan aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı önemlidir. Aydınlatma kontrol seçenekleri ile birlikte binalarda aydınlatma enerjisinin azaltılması ve kullanıcıların görsel performansının artırılması olanaklıdır.

Aydınlatma tasarımı, psikolojik ve fizyolojik gereksinimler ile doğrudan ilişkili olup literatürde aydınlatmanın insan fizyolojisi ve psikolojisine olan etkisini inceleyen çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Binalarda doğru aydınlatma tasarımının psikolojik ve fizyolojik gereksinimler ile doğrudan ilişkili olduğu çeşitli bilimsel çalışmalarda kanıtlanmıştır. İlgili literatür incelendiğinde özellikle gün boyu kullanılan ofis, derslik, hasta yatak odası gibi hacimlerde doğal aydınlatmanın, dış görüşün ve uygun yapma aydınlatma stratejilerinin tercih edilmesinin bina kullanıcılarını fizyolojik ve psikolojik açılardan olumlu yönde etkilediği ortaya konmuştur. İncelenen çalışmalar ve sonuçları şu şekildedir:

- 2000 yılında gerçekleştirilmiş bir araştırmada doğal aydınlatmanın zihinsel performansı olumlu yönde etkilediği ortaya konmaktadır (Fisk, 2000). 2002'de gerçekleştirilmiş bir diğer deneysel çalışmada ilkokullardaki derslik hacimlerinde eğitim gören öğrencilerin bir öğretim yılı boyunca derslerdeki başarıları ile hacimlerin yıllık doğal aydınlatma performansı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu çalışmada öğrencilerin derslerde göstermiş olduğu performansın doğal ışık miktarı ile bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır (Heschong, Wright & Okura, 2002).
- Gün boyu kullanılan binalarda doğal aydınlatma, sirkadiyen ritmin düzene konması, fizyolojik ve psikolojik koşulların iyileştirilmesi, stresin azaltılması ve ruh halinin iyileştirilmesi açılarından gerekli görülmektedir (Boyce, Hunter & Howlett, 2003).
- 2003 yılında Avusturalya'da bulunan Monash Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, doğal aydınlatmanın psikolojiye olan etkisi irdelenmiş ve doğal ışığa maruz kalmanın uykulu ve yorgun hissetme unsurlarını ortadan kaldırarak verimliliği arttırdığı tespit edilmiştir (Phipps-Nelson, Redman, Dijk & Rajaratnam, 2003).
- Walch ve ekibi tarafından Amerika'nın Pensilvanya eyaletinde 2005 yılında gerçekleştirilmiş bir çalışmada omurilik ameliyatı geçiren hastaların iyileşme süreci incelenmiş ve hasta yatak odalarında günışığı ve dış görüş etkeninin iyileşme süresi ile olan bağlantısı irdelenmiştir. Bu çalışmada 89 adet denek kullanılmış ve hastaların mimari olarak aynı düzende planlanmış ancak farklı yön ve dış görüş durumlarına sahip olan hasta yatak odalarındaki iyileşme süreleri değerlendirilmiştir. Çalışmada engelsiz ve yüksek günışığı potansiyeline sahip hasta yatak odalarında kalan hastaların dış engeli bulunan odalarına kalan hastalara oranla daha hızlı iyileştiği ve taburcu olduğu belirlenmiştir (Walch, Rabin, Day, Williams, Choi, & Kang, 2005).
- Türkiye'de Antalya'da bulunan Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada gece ve gündüz olarak çalışan 149 adet hemşirenin doğal aydınlatma gereksinimleri anket tabanlı olarak belirlenmiş ve bu çalışmada hemşirelerin günde en az 3 saat doğal aydınlatma koşullarında bulunmasının işyeri koşullarından kaynaklanan stres ve memnuniyetsizlik gibi olumsuz faktörleri azalttığı saptanmıştır (Alimoğlu & Dönmez, 2005).

- 2007 yılında Japonya'da gerçekleştirilen bir diğer çalışma da doğal aydınlatmanın ve günde minimum 30 dakika doğal ışığa maruz kalma süresinin (>2,000 lux) ruh halini olumlu yönde etkilediğini, karamsarlık, yorgunluk gibi unsurları azalttığını ortaya koymuştur (Kaida, Takahashi & Otsuka, 2007).
- Çalışma alanlarında doğal aydınlatmanın kullanılmasının stresi azalttığı gibi üretkenliği arttırdığı ve bu durumun da hacmin pencere boyutları ve dış görüş ile ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda vurgulanmaktadır (Vischer, 2008).
- Rashid M. ve Zimring C. tarafından 2008 yılında Amerika'da gerçekleştirilen bir çalışmada hasta yatak odalarının tasarımının doğal aydınlatma ve dış görüşün sağlanmasının iyileşmedeki önemine dikkat çekilmiştir (Rashid & Zimring, 2008).
- Aan het Rot ve ekibi tarafından 2008 yılında Kanada'da gerçekleştirilmiş bir çalışmada doğal aydınlatmaya bağlı yüksek aydınlık düzeylerinin (> 1,000 lux) psikolojik açıdan iyileştirici etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ve psikolojinin yaz ve kış mevsimleri arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (aan het Rot, Moskowitz & Young, 2008). Aynı ekibin çeşitli üyelerinin gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada da doğal aydınlatma miktarı ve seratonin hormunu salgısı arasında doğrudan bir etkileşim tespit edilmiştir (aan het Rot, Benkelfat, Boivin, ve diğ, 2008). Seratonin hormonu, psikolojik açıdan iyi hissetmeyi sağlayan, metabolizmada mutluluk, canlılık ve zindelik uyandıran bir hormon olup eksikliğinde depresyon, yorgunluk ve negatif bir ruh hali oluşabilmektedir.
- Amerika'da 2010 yılında gerçekleştirilmiş bir deneysel çalışmada dersliklerde doğal aydınlatma kullanımının fizyolojik önemine dikkat çekilmiş ve günışığının öğrencilerde sirkadiyen ritmin düzene konması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır (Figueiro & Rea, 2010).
- Jung ve ekibi, çalışmalarında yüksek aydınlık düzeylerinin (>10,000 lux) vücuttaki kortizol hormonu seviyesini önemli ölçüde azalttığını belirlemiştir (Jung, Khalsa, Scheer, Cajochen, Lockley, Czeisler ve diğ., 2010).
- Evans ve Ferguson tarafından 2011 yılında gerçekleştirilmiş bir çalışmada depresyon tedavisi gören hastaların kalmış olduğu hasta odalarının aydınlatma koşulları incelenmiştir. Bu çalışmada yüksek aydınlık düzeylerine sahip ve günışığından etkin şekilde yararlanan hacimlerde kalan hastaların iyileşme

sürelerinin daha düşük aydınlık düzeylerine sahip ve doğal aydınlatmadan optimum düzeyde faydalanamayan hacimlerdeki hastalara oranla daha hızlı iyileştiği sonucuna varılmıştır (Evans & Ferguson, 2011).

- Choi ve ekibi tarafından 2012'de Kore'de gerçekleştirilen bir çalışmada güneydoğuya yönlenmiş hasta yatak odalarında kalan hastaların iyileşme sürelerinin kuzeybatıya yönlenmiş hacimlere oranla daha hızlı olduğu belirlenmiş ve bu çalışmadaki doğal aydınlatma hesaplamaları bir simülasyon programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir (Choi, Beltran & Kim, 2012).
- Day ve ekibi tarafından 2012 yılında gerçekleştirilmiş bir çalışmada çalışma mekanlarında doğal aydınlatmanın psikolojik ve fizyolojik açılardan etkinliğinin arttırılması hedefiyle gerekli kriterler şu şekilde gruplandırılmıştır:
  1- Mekanlarda yeterli günışığı ve dış görüşün sağlanması
  2- Günışığı miktarının gün boyu değişkenliğinin iç mekan algısına olan katkısının desteklenmesi
  3- Doğal aydınlatma nedeniyle oluşabilecek kamaşmanın denetlenmesi
  4- Kullanıcılara gerekli durumlarda doğal ve yapma aydınlatmayı kontrol etme imkanının sağlanması (Day ve diğ., 2012)
- Aries ve ekibi tarafından 2013 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, doğal aydınlatma ve dış görüşün kullanıcılara sağlamış olduğu psikolojik ve fizyolojik yararlara yer verilmiş ve bu konuda literatürde gerçekleştirilen araştırmalar ve deneysel çalışmalar irdelenmiştir (Aries ve diğ., 2013).
- İngiltere'de 2013 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada aydınlık düzeyi ile iyileşme süresi arasında bir ilişki kurulmuş ve 263 hasta için gerçekleştirilen deneysel çalışmada hastanede kalma süresinin her 100 lx için 7.3 saat azaldığı tespit edilmiştir (Joarder & Price, 2013).
- Gerçekleştirilen çalışmalarda yüksek aydınlık düzeylerinin ruh halinin iyileşmesi ve depresyonun engellenmesi ile doğrudan ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır (Beute, Yvonne & de Kort, 2013).

- Günışığı miktarının kişilerde stres hormonu olarak adlandırılan kortizol hormonu salgısı ile de doğrudan ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur (Beute, Yvonne & de Kort, 2013).

Dış görüş konusu mekan tasarımında önem taşımakta ve optimum bir dış görüşün bina kullanıcılarına fizyolojik ve psikolojik anlamda olumlu etkiler sağladığı bilinmektedir (Boyce, Hunter & Howlett, 2003, Farley & Veitch, 2001). 1975 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada dış görüşün mekan tasarımı için önemli bir etmen olduğu vurgulanmakta, dış görüş yardımı ile kullanıcılar tarafından fark edilen dış iklimsel koşulların, hava durumunun, dış ortamdaki fiziksel değişikliklerin kişilerde klostrofobi, mekandan kaynaklanan monotonluk ve sıkılma duygusunu azalttığı bilgileri verilmektedir (Collins, 1975).

Keighley'in 1973 yılında gerçekleştirdiği bir çalışmada optimum dış görüş ve kullanıcı memnuniyetinin sağlanması için mekanlarda gerekli pencere boyutları ile ilgili bir yaklaşım geliştirilmiş ve minimum saydamlık oranı değeri '%20' olarak belirlenmiştir (Keighley, 1973). CIBSE'nin 1999 yılında yayınlamış olduğu 'Doğal Aydınlatma ve Pencere Tasarımı' adlı raporunda dış görüş, bina tasarımında dinamik bir şekilde dış çevrenin, günışığı, güneş ışığı ve mevsimsel değişikliklerin algısının sağlandığı önemli bir etmen olarak tanımlanmaktadır. Bu raporda, gözün fizyolojik ihtiyaçlarının dış görüş ile sağlandığına değinilmiş ve aynı zamanda dış görüşün dış dünyada olan olaylardan haberdar olmayı sağladığı olgusundan bahsedilmiştir (CIBSE LG10:1999, 1999).

Binalarda Aydınlatma- 2. Kısım: Doğal aydınlatma için mesleki kurallar adlı İngiliz standardında dış görüş açısından olumlu sonuçlar elde etmek için tek duvarda pencere bulunması koşullarında mekan derinliğinin 8 m 'den az olduğu durumda minimum %20 saydamlık oranının sağlanması önerilir (BS 8206-2:2008, 2008). Bu standartta pencere ve dış görüş ilişkisi irdelenerek iç mekanlarda dış görüşün olabildiğince sağlanması gerektiğine dikkat çekilmiş ve pencerelerin planlanma aşamasında aşağıdaki unsurların göz önünde bulundurulması önerilmiştir:

- Kullanıcılara mümkün olduğunca doğal çevre unsurlarını (ağaç, çim, bitki örtüsü, açık alanlar) barındıran dış görüş sağlanmalıdır.
- Yoğun yapılaşmanın olduğu bölgelerde dış görüşte doğal çevre unsurlarının sağlanamadığı ve yalnızca gök parçası ile cadde yahut sokağın görünür olduğu

durumlarda dış görüşün dinamik olması ve insan hareketi, değişken hava koşullarının gözlemlenebilir olması beklenmektedir.

- Güvenlik ve dış çevreden haberdar olma gerekçeleriyle yakın çevrenin dış görüşte gözlemlenebilir olması beklenmektedir.
- Dış görüş planlamasında bina tipolojisine bağlı olarak gizlilik ve mahremiyet unsurlarının da dikkate alınması ve pencerelerin buna bağlı olarak tasarlanması beklenmektedir (BS 8206-2:2008, 2008).

Bu raporda, dış görüşe ilişkin olarak üst seviye (gök ya da yapay çevre), orta seviye (doğal veya yapay çevre) ve alt seviye (zemin) olmak üzere üç farklı dış görüş türünden bahsedilmiş ve her üç seviyeyi barındıran dış görüş durumlarının olumlu ve yeterli olduğu belirtilmiştir (BS 8206-2:2008, 2008). Littlefair P.J.'nin 'BRE Report Site Layout Planning for daylight and sunlight: A good practice' yayınında yeterli dış görüş koşulları ve doğal aydınlatma hedefiyle görünür gök açısının alması gereken aralıklar belirtilmiştir. Görünür gök açısı, engelin üst noktası ve pencerenin üst noktasının pencerenin orta noktası ile arasındaki açıdır ve engelsiz bir durumda maksimum 90°'dir. İlgili yayında, görünür gök açısının 65°-90° olması durumunda pencere tasarımlarının doğal aydınlatma açısından uygun sonuçlar vereceği belirtilmiştir (Littlefair, 2011). Bu yayında iç mekanda yeterli doğal aydınlatmanın sağlanması hedefiyle gerekli gökyüzü görüşüne ve bu değerin hesaplanmasına yönelik bilgiler yer almaktadır. Gökyüzü görüşü, incelenen hacmin plan ve kesiti üzerinden gerçekleştirilen bir değerlendirme ile belirlenir ve günışığı erişim çizgisi saptanır. Günışığı erişim çizgisi, hacimleri günışığı alan ve almayan olmak üzere iki bölgeye ayırmaktadır. Günışığı erişim çizgisinin ardında kalan bölümler genellikle loş ve yeterli günışığına sahip olmayan bölgeler olarak nitelendirilir ve bu bölgelerde yapma aydınlatma desteğine ihtiyaç duyulur. Bu değer, binalarda engel durumuna bağlı olarak değişim göstermekte ve Eşitlik 2.8 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$d= x\ h\ /\ y \qquad \textbf{(2.8)}$$

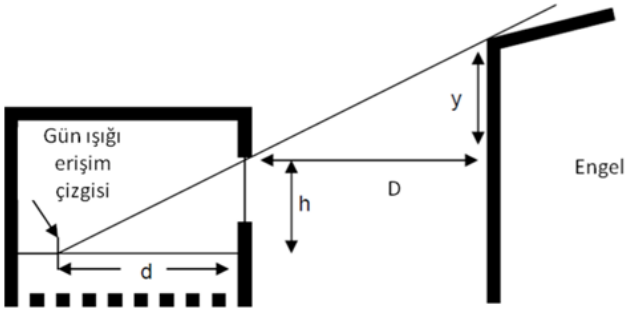
d: Günışığı erişimi çizgisinin pencereye olan uzaklığı (m)

h: Çalışma düzleminin üzerinde kalan pencere yüksekliği (m)

y: Karşı engelin pencerenin üstünde kalan yüksekliği (m)

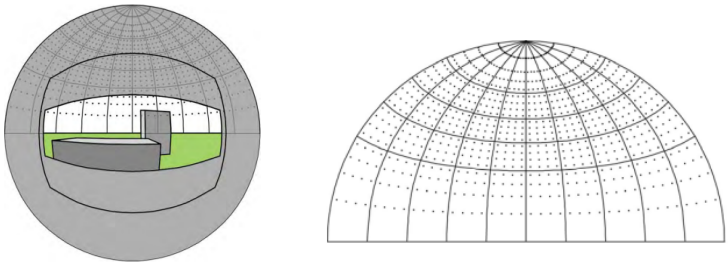
x: Pencereyle karşı engel arasındaki uzaklık (m)

Eğer d hacim derinliğinden fazla ise hacimde günışığı erişim çizgisinin arkasında kalan bölge yok demektir. Eğer d hacim derinliğinden az ise günışığı erişim çizgisi ele alınan mekanın bir bölümünde ortaya çıkmakta ve bu bölümde gök görüşü sağlanamamaktadır (Littlefair, 2011). Şekil 2.2'de günışığı erişim çizgisinin belirlenmesinde kullanılan büyüklüklere ilişkin bir görsel bulunmaktadır.

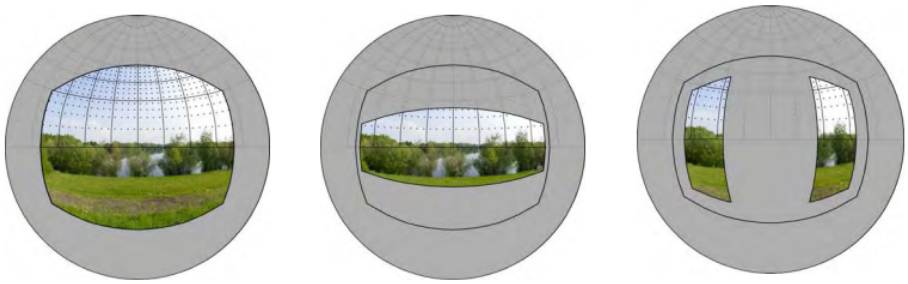


Şekil 2.2 : Günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi (Littlefair, 2011).

1999 yılında Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan bir çalışmada, bina kullanıcılarının dış çevresel koşullardan doğal aydınlatma ile ilgili memnuniyet ölçütleri anket tabanlı bir çalışmada ortaya konmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre dış görüş konusuna verilen önem arttıkça kullanıcı memnuniyeti de artış göstermiş, binalardaki kullanıcı memnuniyetini artıran faktörler, dış çevre ve dış görüşten hoşnut olma olarak belirlenmiştir (IEA POE, 1999). 2004 yılında aynı kuruluşa ait bir diğer çalışmada 54 ofis binasında 141 kişi ile bir anket gerçekleştirilmiş ve ofis çalışanlarının pencereler ile ilgili görüşleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, çalışanların %99.1'i çalışma mekanlarında pencereye gereksinim duymakta, % 92.3'ü ise çalışma esnasında dış çevre ile görsel temas kurma ihtiyacı hissetmektedir (IEA 31 Subtask A; 2004). Dış görüş konusunda gerçekleştirilen bir diğer çalışma, bir ofis binasında dış görüş ile doğal aydınlatma arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla analiz ve anket tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, iç mekanda belirli noktalardan dış çevreye 180°'lik projeksiyon işlenmiş, bu görsel, yapay CIE gök şeması ile birleştirilerek gök parçasını görme oranı belirlenmiş ve Şekil 2.3'de bu işlem ifade edilmiştir (Hellinga & Hordijk, 2009). Şekil 2.4'de aynı mekanın farklı pencere düzeneklerine sahip olması durumunda elde edilen dış görüş koşulları örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.3 : Gök görme oranının belirlenmesi (Hellinga & Hordijk, 2009).



Şekil 2.4 : Farklı pencere tiplerinde dış görüş (Hellinga & Hordijk, 2009).

Binaların sürdürülebilirliklerinin belirlenerek sertifikalandırıldığı programlarda dış görüş konusunun sürdürülebilir bina tasarımındaki önemi vurgulanmaktadır. LEED Sertifikasyon Programında, Bina Günışığı ve Dış Görüş, %90 Görüş adlı bir ölçüt yer almaktadır. Bu ölçüt, hacimlerden %90 oranında dış görüş sağlanıyor olması durumunu irdelemektedir. Bu kriter, sürekli kullanıma açık mekanlarda dış ortama açılan pencerelerin kullanımı durumunda sağlanmakta ve sürekli kullanılan mekanların %90'ında bu ölçütün geçerli olması şartı aranmaktadır (Url-5, Url-6). BREEAM sertifikasyon programı Health and Wellbeing Hea-2 bölümünde "Dış Görüş" başlığına yer verilmiş, bina kullanıcılarının görsel işe ara verdikleri mola zamanlarında göz yorgunluğu riskini ortadan kaldırmak ve iç mekan monotonluğunu engellemek hedefleriyle bu ölçüt sertifikasyon programına dahil edilmiştir. Bu kriterde ele alınan mekanın derinliğinin maksimum 8m olması ve ilgili mekanın minimum %20 saydamlık oranına sahip olması beklenmektedir. Ele alınan mekanda dış görüş kriterini sağlamak için dış mekana açılan bir pencere olması istenmekte ve göz hizasında sadece gök parçasının değil aynı zamanda dış çevrenin de görünür olması hedeflenmektedir. Dış görüşün bir iç avlu veya atrium tarafından sağlanması durumunda ise avlu veya atriuma ait engelleyici duvar parçasının ilgili kriter uyarınca pencereden en az 10 m uzaklıkta olması gerekmektedir (BREEAM Scheme Document SD 5069, 2010).

2.2 Aydınlatma Tasarımlarının Enerji Performansının Belirlenmesi

Günümüzde artan enerji ihtiyaçları ve maliyetleri, enerjiye olan bağımlılığı ortaya çıkarmaktadır. Doğaya olumsuz etkileri bulunan CO_2 salımının artmasıyla beraber ülkeler enerji tüketiminin azaltılması ve doğaya olan olumsuz etkinin en aza indirgenmesi hedefiyle çeşitli politikalar geliştirmektedir. Binalarda harcanan enerji, dünya genelinde harcanan enerjinin büyük bir parçasını oluşturmaktadır. Bu nedenle binalarda aydınlatma enerjisinin azaltılması ve görsel çevre açısından uygun tasarımların geliştirilmesi, enerji etkin bina tasarımı açısından son derece önemlidir.

Aydınlatma enerjisi gereksinimleri, bir binanın enerji performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Binalarda aydınlatma enerjisi performansı, mekanlarda istenen görsel konfor koşullarını yerine getirmek amacıyla harcanan aydınlatma enerjisi miktarına bağlı olarak belirlenir.

Binaların aydınlatma enerjisi performansı, yapma ve doğal çevre tasarım parametrelerine, tasarlanan aydınlatma sistemlerinin özelliklerine ve aydınlatma kontrol stratejilerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Loe D. tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada aydınlatma tasarımında enerji etkinliğin aşağıdaki parametrelere bağlı olduğu belirtilmektedir:

- seçilen aydınlatma ekipmanları,
- mekandaki hedef aydınlık düzeyi
- yapma aydınlatma sistemlerinin bakım-onarım durumu,
- aydınlatma sisteminin güç yoğunluğu,
- mekanın günışığı potansiyeli
- binanın kullanım durumu (Loe, 2003).

Aynı yazara ait 2009 yılında gerçekleştirilmiş bir diğer çalışmada aydınlatmada enerji etkinliğin sağlanması için gerçekleştirilen öneriler ve enerji etkin aydınlatma tasarımı süreci bir akış diyagramı olarak ifade edilmiştir (Loe, 2009).

2011 yılında gerçekleştirilen bir araştırma çalışmasında binalarda kullanılan aydınlatma enerjisinin azaltılabilmesi için gerekli kriterler, yapma ve doğal aydınlatma tasarımlarında alınması gereken önlemler olarak gruplandırılmıştır. Buna

göre çalışmada yapma aydınlatma sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler şu şekildedir:

- lamba, balast ve aygıt teknolojilerinin uygun seçimi,
- bölgelik aydınlatma yaklaşımının tasarımda uygulanması,
- bakım ve kullanım faktörünün dikkate alınması,
- aydınlık düzeyi ve yapma aydınlatmanın kullanım oranının belirlenmesi

Aynı çalışmada, doğal aydınlatma sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler ise şunlardır:

- binanın yeri,
- binanın yönü,
- hacim boyutları,
- doğal aydınlatma sistemine ilişkin fiziksel özellikler,
- gölgeleme elemanlarının etkisi,
- yüzeylerin ışık yansıtma çarpanı (Dubois & Blomsterberg, 2011).

Günışığının etkin kullanımıyla aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin azaltılması, birçok çalışmada ele alınmış ve binalarda doğal aydınlatma stratejileri ile ve günışığına bağlı kontrol sistemlerinin kullanımının aydınlatma enerjisine olan etkileri belirlenmiştir. Bu doğrultuda incelenen çalışmalar aşağıda özetlenmektedir:

- 2001 yılında Belçika'da gerçekleştirilen bir çalışmada çeşitli doğal aydınlatma tasarımı alternatiflerinin aydınlatma enerjisine olan etkileri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada farklı saydamlık oranı, cam türü ve yön seçenekleri için günışığına bağlı aydınlatma enerjisi tüketimi miktarları bir aydınlatma simülasyon aracı ile belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilerek doğal aydınlatmanın binalarda kullanımının enerji etkinlik açısından önemi vurgulanmıştır (Bodart & De Herde, 2001).
- 2004 yılında Krarti M. ve ekibi tarafından ABD'de gerçekleştirilen bir diğer çalışmada dört hacim tipinin farklı doğal aydınlatma senaryoları için (farklı şehir, saydamlık oranı, cam türü seçeneği) parametrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre doğal aydınlatmanın etkin kullanıldığı tasarım

alternatiflerinde aydınlatma enerjisinin önemli oranda azaldığı belirlenmiştir (Krarti, Erickson & Hillman, 2004).

- 2005 yılında ABD'de gerçekleştirilen bir çalışmada günışığından etkin olarak yararlanabilmek için gerekli stratejiler tanıtılmış ve bu doğrultuda elde edilebilecek aydınlatma enerjisi tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Çalışmada günışığına bağlı açma kapama anahtar sistemi ve otomatik güneş kontrol sisteminin aydınlatma enerjisine olan etkisi açık planlı ve bireysel ofis örneklerinde farklı yönler için belirlenmiştir. Sonuç olarak doğal aydınlatma stratejilerinin etkin kullanımı ile yıllık %24 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlanmıştır (Leslie, Raghavan, Howlett & Eaton, 2005).
- İleri günışığı tekniklerinin binalarda kullanımının irdelendiği bir araştırmada hibrit aydınlatma sisteminin binalarda kullanımının enerji tüketimine olan etkisi hesaplanmıştır. 2012 yılında İngiltere'de gerçekleştirilen bu çalışmada ileri günışığı teknolojilerinin binalarda tercih edilmesi durumunda %31-%55 oranında değişen aydınlatma enerjisi tasarruf miktarlarının oluştuğu saptanmıştır (Mayhoub & Carter, 2012).

Aydınlatma kontrol sistemleri, binalarda enerji tüketimini en aza indirmek, kullanıcılara sağlıklı ve konforlu iç çevresel koşullar sunmak ve bu koşulların sürekliliğini sağlamak hedefleri ile kullanmaktadır (CIBSE Commissioning Code C, 2001). Aydınlatma kontrolü terimi, aydınlatma sistemini kontrol eden bütün manuel ve otomatik kontrol teknolojilerini kapsamakta ve bu sistemler yardımı ile aydınlatma kontrolü binalarda farklı biçimlerde sağlanabilmektedir (Stein & Reynolds, 2000, IESNA, 2011). Binalarda aydınlatma kontrolü stratejileri manuel kontrol, zaman ayarlı kontrol, manuel ve zaman ayarlı kontrol, kullanıcı algısına dayalı kontrol ve doğal aydınlatmaya bağlı açma kapama yahut loşlaştırma kontrolü olacak şekilde gruplandırılmaktadır (CIBSE Guide F, 2012). Aydınlatma kontrol sistemlerinin binalarda kullanımı ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar, uygun aydınlatma kontrol sistemi seçimi ile bina aydınlatma enerjisi tüketiminin önemli ölçüde azaldığı sonucunu ortaya koymaktadır (Williams, Atkinson, Garbesi, Page & Rubinstein, 2012). Binalarda aydınlatma kontrol sistemlerinin bulunması durumunda, binaların enerji verimliliğinin arttığı sonucu çeşitli çalışmalarda ortaya konmuş (CIBSE Guide H, 2009) ve incelenen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- 2001 yılında Hong Kong'da gerçekleştirilen ölçüm tabanlı bir çalışmada ofis hacimlerinde doğal aydınlatmaya bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılması durumunda %50 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir (Li & Lam, 2001).
- 2011 yılında İtalya'da Trento Üniversitesi Elektrik Fakültesi amfilerinde gerçekleştirilen ölçüm tabanlı bir karşılaştırma çalışmasında, aydınlatma kontrol sistemlerinin etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla üç amfide mevcut olan manuel açma kapama kontrol sistemi yerine eş özelliklere sahip diğer üç amfide farklı kontrol stratejileri ile donatılmış otomatik kontrol sistemleri entegre edilmiştir. Gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanılan stratejiye bağlı olarak %40-%65 oranında enerji tasarrufu sağladığı ortaya konmuştur (Chiogna, Mahdavi, Albatici & Frattari, 2012).
- 2014 yılında İtalya'da gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Torino şehrindeki 10 adet ofis binasında aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tüketimine olan etkisi ve iç mekanda oluşan görsel konfor koşulları incelenerek kullanıcıların aydınlatma kontrol sistemlerine ilişkin memnuniyet durumları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada aydınlatma kontrol sistemleri ile sağlanan aydınlatma enerjisi tasarruf oranı ele alınan on farklı bina için %17-%32 aralığında olarak belirlenmiştir (Aghemo & Pellegrino, 2014).

Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri, aydınlatma enerjisinin azaltımına katkı sağlamaktadır. Bu sistemlerin enerji performansına olan etkisini detaylı olarak belirleyebilmek için, ele alınan bölgenin yıllık dış aydınlık düzeyi verilerine ve binanın günışığı kullanım potansiyeline gereksinim duyulmaktadır (CIBSE Guide A, 2001). Bu konu ile ilgili gerçekleştirilen literatür araştırması aşağıda özetlenmiştir:

- Kanada'da 2002 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, bir test odası ofis hacmi şeklinde tefriş edilmiş ve bu hacime otomatik olarak kontrol edilen bir cephe sistemi entegre edilmiştir. Çalışmada, hacimde yer alan güneş kontrol elemanının günışığına bağlı kontrolü sağlanmıştır. Bu çalışmada test hacmi için gerçekleştirilen ölçüm verilerine dayalı olarak iç mekanda kamaşmanın önlenmesi ve görsel konfor koşullarının sağlanması hedefleriyle güneş kontrol elemanının kullanıcılar tarafından kullanım biçimi saptanmış ve bu durum CIE kapalı ve CIE açık gök koşulları altında simüle edilerek yıllık aydınlatma enerjisi

hesaplanmıştır. Günışığına bağlı loşlaştırma sistemi ve otomasyona bağlı güneş kontrol sistemi kullanımında açık gök koşullarında aydınlatma enerjisi tasarruf oranı %92, kapalı gök koşullarında ise %76 olarak belirlenmiştir. (Athientis & Tzempelikos, 2002).

- 2003 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemleri için geliştirilmiş matematiksel modeller ile hesaplanan aydınlatma enerjisi sonuçları, saha ölçümleri ile karşılaştırılmış ve bu çalışmada Hong Kong Üniversitesi Binası'nda yer alan ve doğal aydınlatmadan yararlanan bir koridor hacmi örnek olarak seçilmiştir. Çalışmada aydınlatma kontrol sistemleri için geliştirilmiş matematiksel modellerle elde edilen aydınlatma enerjisi hesap sonuçlarının saha ölçümleri ile tutarlı olduğu sonucuna varılmış ve ele alınan hacimde günışığı etkisine bağlı olarak yıllık %69 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufunun sağlandığı belirlenmiştir (Li & Lam, 2003).
- 2013 yılında Güney Kore'de gerçekleştirilen bir çalışmada bir ofis hacmi için günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi ve jaluzi sisteminin bütünleşik olarak tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu durumunda iç mekanda oluşan görsel konfor koşulları ile aydınlatma enerjisi tüketimi irdelenmiştir. Bu çalışmada gölgeleme elemanı parçalarının optimum eğiminin hesaplanmasında ele alınan tarih için güneşin konumu, pencerenin yönü, iç mekanda doğal aydınlatmanın kullanım durumu ve günışığı kaynaklı kamaşma probleminin denetimi dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, aydınlatma kontrol stratejisinin bulunmadığı mevcut duruma oranla günışığına bağlı kontrol sisteminin kullanıldığı durumda iç mekanda uygun görsel konfor koşulları sağlanmış ve yıllık %30-%34 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufu gerçekleştirilmiştir (Din & Kim, 2014).
- Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerine yönelik olarak gerçekleştirilen maliyet analizleri sonuçlarına göre, aydınlatma sistemlerinin geri ödeme sürelerinin aydınlatma enerjisinin azaltılması ile doğrudan ilişkili olduğu ve aydınlatma kontrol sistemlerinin tercihi ile büyük oranda aydınlatma enerjisi tasarrufunun sağlandığı sonuçları elde edilmiştir (Yang & Nam, 2010).

Kullanıcı tercihleri ve kullanıcı davranışları, bina aydınlatma enerjisi tüketimini önemli derecede etkilemektedir (Yun, Kong, Kim & Kim, 2012). Aydınlatma

sistemlerinin kullanımı doğrudan bina kullanıcıları ile ilişkili olduğundan, kullanıcı ihtiyaçlarının ve davranışlarının, aydınlatma kontrol sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gerekmektedir (Dugar & Donn, 2011). Bu konu ile ilgili olarak incelenen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- İngiltere'de 2002 yılında gerçekleştirilen anket tabanlı bir çalışmada, 14 farklı bina incelenerek kullanıcıların aydınlatma kontrollerini kullanım biçimi saptanmıştır. Çalışmada kullanıcılara yöneltilen soruların analizine göre, çalışma alanlarında aydınlatma kontrol sistemi bulunmasının önemi %84 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, kullanıcı memnuniyeti açısından aydınlatma kontrol sistemlerinin önemini vurgulamaktadır (Moore, Carter, & Slater, 2002).
- Çoğu çalışma alanlarında, kullanıcıların bölgelik aydınlatma kontrolünü tercih ettikleri bilinmekte, kullanıcı müdahalesi olmaksızın aydınlatma sistemlerinin otomatik olarak devreye alındığı ve kontrol edildiği stratejilerin genellikle kullanıcılar tarafından memnuniyetsizlikle karşılandığı çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir (Slater, Bordass & Heasman, 1996, Littlefair, 1998, Escuyer & Fontoynont, 2001, Littlefair, 2001).
- 2006 yılında gerçekleştirilen bir literatür çalışmasında, binalarda doğal aydınlatmaya bağlı kontrol sistemlerinin yer alması durumunda kullanıcıların kendi ihtiyaçları doğrultusunda kontrol sistemlerine müdahale ettiğine değinilerek bu gibi durumlarda kontrol sistemlerinden beklenen verimin alınamadığı sonucu vurgulanmıştır (Galasiu &Veitch, 2006).
- Benzer şekilde detaylı kontrol stratejilerine sahip olduğu bilinen ve yeşil bina sertifikasına sahip bir ofis binası kullanıcılarına uygulanan anket tabanlı bir çalışmada, kullanıcıların yalnızca manuel açma kapama aydınlatma kontrol senaryosunu tercih ettiği görülmüş ve bu durumun da aydınlatma kontrol sisteminin karmaşık şekilde tasarımından kaynaklandığı belirtilmiştir (Lee, Carswell, Seidelman & Sublette, 2013). Bu nedenle kullanıcıların gereksinimlerine uygun şekilde karşılık verecek sistemler seçilmeli, bina kullanıcılarının kontrol sistemleri ile ilgili farkındalığı arttırılmalıdır (CIBSE Knowledge Series, 2005, KS12-CIBSE Knowledge Series, 2007).
- Günümüzde gelişen teknoloji yardımı ile çeşitli niteliklerde enerji etkin aydınlatma elemanları üretilmekte ve bu ürünler aydınlatma tasarımlarında

sıklıkla kullanılmaktadır. Bu ürünlerin yaygın kullanımı, gerek ülkelere ilişkin yasa ve yönetmelikler yardımı ile sağlanmakta, gerekse aydınlatmada enerji etkinlik konusundaki farkındalığın artması ile mümkün olmaktadır (IEA, 2010., European Commission, 2011). Almanya'da 2014 yılında gerçekleştirilen bir saha çalışmasında 6000 adet konut binası incelenerek iç mekan aydınlatmasında kullanıcılar tarafından tercih edilen sistemler incelenmiş, elde edilen verilere göre bina kullanıcılarının büyük ölçüde enerji etkin ürünler kullanımına yöneldiği sonucuna varılmıştır (Joachim, Mills & Dütschke, 2014).

- Kullanıcı davranışlarının enerji tüketimine etkisinin incelendiği çalışmalarda bina performans değerlendirmesi aşamasında kullanıcı etkisinin detaylı olarak hesaplamalara dahil edilmesi gerektiği ortaya konmuştur (Hoes, Hensen, Loomans, Vries & de Bourgeois, 2009).
- Binaların aydınlatma tasarımı aşamasından itibaren enerji performansını en doğru şekilde belirlemek ve değerlendirmek amacıyla kullanıcı davranış modelleri geliştirilmiş ve bina performans simülasyon programlarına entegre edilmiştir (De Vries, Aarts & Midden, 2011, Bourgeois, Reinhart & Macdonald, 2006).

İncelenen çalışmalarda görüldüğü gibi binalarda aydınlatma enerjisi performansının arttırılmasında günışığının etkin kullanımı, yapma aydınlatma sistemi elemanlarının uygun olarak tasarımı, aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ve kullanıcı davranışları etkili olmaktadır. Dünyada ve ülkemizde bina enerji performansını belirlemeye yönelik olarak yönetmelik ve standartlara dayalı enerji performansı sertifikasyon sistemleri bulunmaktadır. Çalışmanın 2.1.1 ve 2.2.2 bölümlerinde çeşitli ülkelerde aydınlatma enerjisinin minimize edilebilmesi açısından geliştirilen yaklaşımlar tanıtılmaktadır.

2.2.1 Amerika'da binalarda aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların tanıtılması

Amerika Isıtma, Soğutma, Havalandırma Mühendisleri Topluluğu (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers-ASHRAE), binalarda enerjinin etkin kullanımına yönelik çeşitli çalışmalar gerçekleştirmekte ve bu konularla ilgili standartlar yayınlamaktadır. Aydınlatma enerjisi ile ilgili gerekli tavsiyeleri içeren standart ASHRAE 90.1, mekanlarda sağlanması öngörülen aydınlık

düzeyleri için harcanan enerjinin standardize edilebilmesine yönelik bir yöntem içermektedir (ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1, 2010). 1975'de kabul edilen ve 2010'da son halini alan bu standart, çeşitli bina tipolojilerine ilişkin 'Aydınlatma Güç Yoğunluğu' (Lighting Power Density-LPD) değerlerini içermekte, bu değerlere Çizelge 2.9'da yer verilmektedir (ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1, 2010).

Çizelge 2.9 : Farklı bina tipolojilerine ilişkin aydınlatma güç yoğunluğu (LPD) değerleri (ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1, 2010).

Bina Tipolojisi	W/m^2	Bina Tipolojisi	W/m^2
Otomotiv tesisleri	8,8	Çok aileli konutlar	6,5
Kongre merkezi	11,6	Müze	11,4
Mahkeme	11,3	Ofis	9,7
Yeme-içme (bar, dinlenme)	10,7	Kapalı otopark	2,7
Yeme-içme (fastfood)	9,7	Cezaevi	10,4
Yeme-içme (restoran)	9,6	Tiyatro	15
Öğrenci yurdu	6,6	Polis merkezi	10,3
Egzersiz salonu	9,5	Postane	9,4
Spor salonu	10,8	Dini yapılar	11,3
Klinik	9,4	Alış veriş yapıları	15,1
Hastane	13	Okul / Üniversite	10,7
Otel	10,8	Spor sahaları	8,4
Kütüphane	12,7	Belediye binası	9,9
Üretim tesisleri	11,9	Ulaşım yapıları	8,3
Motel	9,5	Depolar	7,1
Sinema	8,9	Atölyeler	2,9

LPD yönteminin temeli, 1916'da Harrison ve Anderson tarafından yapılmış deneysel bir çalışmayı esas alan ve 1964 yılından itibaren "Zonal Cavity Methodu" olarak nitelendirilmiş Lümen Yöntemi'ne dayanır. Bu yöntemle hacimlerde ortalama aydınlık düzeyinin belirlenmesinde şu değişkenlere gereksinim duyulmaktadır:

- hacim geometrisi,
- hacimdeki yüzeylerin ışık yansıtıcılık özellikleri,
- aydınlatma elemanlarının konumu,
- aydınlatma elemanlarının ışık dağıtma biçimi.

IESNA tarafından hacimlerde istenilen aydınlık düzeylerine ilişkin öneriler geliştirilmiş ve 'Aydınlatma Güç Yoğunluğu' (Lighting Power Density-LPD) yöntemi 1998'de kabul görmüştür. Bu yöntemde mekanlarda istenen görsel konfor koşullarının sağlanması hedefiyle hesaplamalarda lambaların performans bilgileri, lambaların verimi, IESNA tarafından önerilen aydınlık düzeyleri ve aydınlatma tasarımına ilişkin bilgilere gereksinim duyulmaktadır.

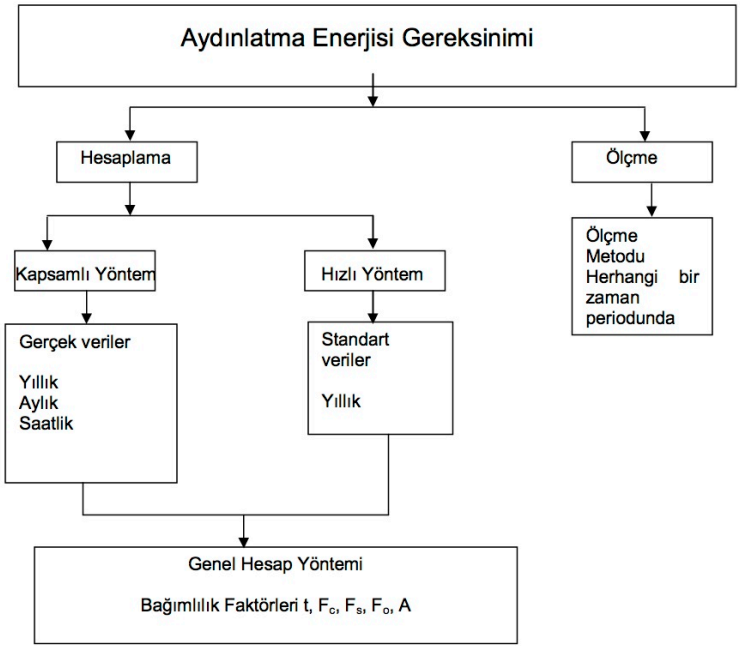
2.2.2 Avrupa'da binalarda aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmaların tanıtılması

Avrupa'da binalarda kullanılan enerjinin ve sera gazı salımlarının minimize edilmesi amacıyla, Aralık 2002'de "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2002/91/EC)" yayınlanmış ve 2010 yılında revize edilmiştir (Directive of the European Parliament and of the Council, 2002). Bu direktif doğrultusunda AB ülkeleri ulusal bina enerji performansı hesap yöntemlerini geliştirmişlerdir. Çizelge 2.10'da Avrupa genelinde farklı ülkelerde geliştirilen ulusal hesap yöntemleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.10 : Avrupa ülkeleri ulusal bina enerji performansı belirleme yöntemleri.

Ülke	Yazılım:	Ülke	Yazılım:
Avusturya	Energieausweis	Letonya	-
Belçika	Energiesparen, EP software Bruxelles, Build with energy'	Litvanya	Software tool STR
Bulgaristan	-	Lüksembourg	Règlement grand-ducal (RGD)
Kıbrıs	MCIT	Malta	EPRDM
Hırvatistan	STE	Hollanda	EPC (yeni binalar), (EPA) (mevcut binalar)
Çek Cumhuriyeti	Çek Ulusal Hesap Yöntemi	Norveç	ENSI
Danimarka	Be06	Polonya	PN-ISO-EN 13790
Estonya	-	Portekiz	INETI software
Finlandiya	Basitleştirilmiş aylık yöntem EN ISO 13790	Romanya	AllEnergy
Fransa	RT2005	Slovak Cumhuriyeti	Slovak Ulusal Hesap Yöntemi
Almanya	DIN V 4108-6 DIN V 4701-10 DIN V 18599 Energieberater	Slovenya	ArchiMAID
Yunanistan	-	İspanya	LIDER, CALENER
Macaristan	Bausoft, Belso Udvar, Wienerberger, Saint-Gobain Weber Terranova, Zöhls András, ArchiPHYSIK	İsviçre	VIP+, BV2, IDA.
İrlanda	DEAP,NEAP,ISBEM	Türkiye	BEP-TR
İtalya	Bölgelere göre farklı yazılımlar	Birlelmiş Krallık	SAP, SBEM

Binalarda aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması için EN 15193 Binalarda Enerji Performansı-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri standardı hazırlanmıştır. Bu standartta binaların aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin ve buna bağlı olarak birim alana düşen aydınlatma enerjisi göstergesinin (Lighting Energy Numeric Indicator- LENI) belirlenebilmesi için bir yöntem önerilmektedir (EN 15193, 2007). Şekil 2.5'de EN 15193 aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi için akış diyagramına yer verilmiştir.



Şekil 2.5 : EN 15193 aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi için akış diagramı (EN 15193, 2007).

EN 15193 hesaplama yöntemine göre aydınlatma için harcanan toplam enerji (W_t), aydınlatma için harcanan enerji ($W_{L,t}$) ve aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan parazit güç için harcanan enerjinin ($W_{P,t}$) toplamı ile belirlenir. Binalarda aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanmasında Eşitlik 2.9 kullanılır. Binalarda aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan parazit enerjinin belirlenmesi ise Eşitlik 2.10 uyarınca gerçekleştirilir.

$$W_{L,t} = \{(P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)]\} / 1000 \text{ (kWh)} \qquad \textbf{(2.9)}$$

$W_{L,t}$: yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh),

P_n : bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü (W),

F_c : sabit aydınlık faktörü,

t_D : gün saatleri kullanımı (h),

F_o : kullanıma bağlı faktör,

F_D : günışığı bağımlılık faktörü,

t_N : gün saatleri dışında kullanım (h).

$$W_{P,t} = \{\{P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)]\} + (P_{em} \times t_{em})\} / 1000 \text{ [kWh]} \qquad \textbf{(2.10)}$$

P_{pc}: bir hacimdeki toplam parazit güç (W),

t_Y: bir yıl içindeki toplam süre (h) (8760h),

t_D: gün saatleri kullanımı (h),

t_N: gün saatleri dışında kullanım (h),

P_{em}: bir hacimdeki acil durum aydınlatma aygıtlarının şarj güçlerinin toplamı (W),

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

EN 15193 Standardı uyarınca LENI değeri, binanın yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksiniminin metrekare başına olan ifadesidir. Bu sayısal gösterge, Eşitlik 2.11 ile hesaplanır.

$$LENI = W_t / A \ (kWh/m^2 \times yıl) \quad \textbf{(2.11)}$$

W_t: Aydınlatma için kullanılan toplam yıllık enerji (kWh/yıl),

A: Binanın toplam kullanılan alanıdır (m^2).

LENI değeri, benzer işlevde fakat farklı boyut ve konfigürasyondaki binaların aydınlatma enerjisi performanslarının karşılaştırılması için kullanılır. Ele alınan binanın aydınlatma enerjisi gereksiniminin referans bina aydınlatma enerjisinden yüksek veya düşük olması durumlarında enerji performansı aralıklarına göre binanın aydınlatma enerjisi sınıfı belirlenir.

2.2.2.1 İngiltere Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, SBEM

SBEM, binaların enerji performans değerlendirmesini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanmış bir ulusal hesap yöntemi ve enerji performansı değerlendirme programıdır. Bu program yardımı ile bina geometrisi tanımı, yapım ve kullanıma ilişkin girdiler, HVAC ve aydınlatma ekipmanları bilgileri doğrultusunda bir binanın aylık enerji ihtiyacının ve CO_2 salımının hesaplanması mümkündür. SBEM yöntemi temel olarak NEN 2916:1998 (Energy Performance of Non-Residential Buildings) Hollanda yöntemi esas alınarak geliştirilmiş ve CEN standartları doğrultusunda yenilenmiştir (Url-7).

Bu yöntemde aydınlatma enerji gereksinimleri, CEN EN 15193 standardı uyarınca hesaplanmakta ancak hesap yöntemi, bu standarttan farklı kabulleri de içermektedir. Yöntemde kullanılan veriler, aydınlatma sisteminin kurulu gücü, kullanım saatleri,

kullanıcı etkisi ve günışığı etkisidir (SBEM, 2010). SBEM yönteminde, farklı hacimlerin gereksinim duyduğu aydınlık düzeylerine ilişkin bir veri tabanı bulunmakta ve hedeflenen aydınlık düzeyinin sağlanması ön şart olarak beklenmektedir. Mevcut genel aydınlatmaya ek olarak yöntemde, bölgelik aydınlatma elemanları da dikkate alınarak aydınlatma enerji performansı belirlenir. SBEM kapsamında, EN 15193 standardından farklı olarak aydınlatma sistemine ilişkin verilerin bulunmadığı durumlarda, mekan türüne göre aydınlatma güç yoğunluğu bilgileri kullanılır.

SBEM, günışığı etkisini EN 15193 standardından farklı bir şekilde dikkate almaktadır. Bu yaklaşımda, yılın istenen zamanları için günışığı analizleri aylık düzeltme katsayısı olarak hesaplanıp yıllık aydınlatma enerjisi miktarına ulaşılır. Yöntemde bu işlem, ortalama gün ışığı faktörü (DF) hesaplaması olarak adlandırılır ve günışığı etkisi ortalama bir değer olarak elde edilir. Böylelikle (F_D), mekanlara günışığı girişine, mekanlarda otomatik, manuel kontrol sistemlerinin bulunmasına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Mekanlardaki günışığı etkisi, farklı günışığı açıklığı türlerine göre Eşitlik 2.12 , 2.13 ve 2.14 uyarınca hesaplanır:

Düşey pencereye sahip mekanlar için: $DF = DF_1 = 45\ W_{win}/A$ **(2.12)**

Yatay çatı ışıklıklarına sahip mekanlar için: $DF = DF_2 = 90\ W_{roof}/A$ **(2.13)**

Düşey pencere ve çatı ışıklıklarına sahip mekanlar için: $DF = DF_1 + DF_2$ **(2.14)**

W_{win}: toplam pencere alanı (çerçeve dahil, m^2)

W_{roof}: toplam çatı ışıklığı alanı (çerçeve dahil, m^2)

A: hacmin tüm yüzeylerinin toplam alanı (tavan, duvarlar, döşeme)

SBEM yönteminde mekanlarda doğal aydınlatmaya bağlı bir kontrol bulunması durumu da dikkate alınmaktadır. Bu yöntemde, doğal aydınlatmaya bağlı olan kontrol sisteminin mekan içerisindeki konumuna göre değişen eşitlikler tanımlanmıştır. Aydınlatma sensörünün mekanın pencereye yakın olan bölgesinde yer alması durumunda Eşitlik 2.15, mekanın her iki bölümünde de bulunması durumunda ise Eşitlik 2.16 kullanılmaktadır.

$$F_D = (F_{D,F} + 1) / 2 \quad \textbf{(2.15)}$$

$$F_D = (F_{D,F} + F_{D,B}) / 2 \quad \textbf{(2.16)}$$

Çatı ışıklığına sahip bölgelerde, farklı yönlere bakan pencerelerin bulunduğu mekanlarda (Azimut açısının farkı 175º veya daha fazla ise) ve farklı yönlerdeki günışığı katkısının 3:1 oranında olduğu durumlardaki F_D katsayısı Eşitlik 2.17 uyarınca hesaplanır.

$$FD=(F_{D,F}+, F_{D,B})\ /2 \qquad \textbf{(2.17)}$$

$F_{D,F}$: odanın ön yarısı için düzeltme faktörü

$F_{D,\ B:}$: odanın arka yarısı için düzeltme faktörü

Aydınlatma kontrol sisteminin türüne göre SBEM yönteminde farklı eşitlikler yer almaktadır. Bu hesaplamalarda dış aydınlık düzeyi de dikkate alınmaktadır. Ayrıca güneşin doğuş-batış saatlerine göre belirlenen t_D ve t_N süreleri, yılın belirli günleri için hesaplanarak yıllık sonuç elde edilir. Kullanıma bağlı faktör değerleri ise EN 15193 standardı ile aynı olacak şekildedir.

2.2.2.2 Fransa Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, RT 2012

Fransa için geliştirilmiş RT 2005 yöntemi, tüm bina türlerinde (konut binaları ve konut dışı binalar) aydınlatma enerjisi performansı belirlenmesi hedefiyle geliştirilmiş olup 2012 yılında yenilenerek RT 2012 olarak adlandırılmıştır. Bu hesap yönteminin aydınlatma bölümü, Avrupa ve Fransa'daki aydınlatma standartları temel alınarak hazırlanmıştır. EN 12464 standardında belirtilen görsel konfor kriterlerinin sağlanması, bu hesap yönteminde öncelikli olarak belirtilmektedir. Ele alınan mekanlardaki yapma aydınlatma sistemlerinin önerilen aydınlık düzeylerini sağlamaması durumunda 100 lux için $5W/m^2$ sağlayacak bir ilave sistem gözetilerek aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanır. RT 2012 yöntemi, EN 15193 ile benzer bir hesap yöntemine sahiptir ancak bu yöntem birtakım farklı varsayımları da içermektedir (Url-8). RT 2012 yönteminde doğal aydınlatmanın enerji performansına etkisi konusunda detaylı bir hesap yöntemi sunulmaktadır. Bu yöntemde, gölgeleme elemanlarının kullanımının bina enerji performansına etkisi, EN 15193 Standardı'ndan farklı şekilde hesaplamalara dahil edilmektedir. Günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin binalarda kullanımı da yöntemde EN 15193 standardından farklı şekilde dikkate alınmaktadır. Örneğin doğal aydınlatma ile sağlanan aydınlık düzeyinin 2800 lux'ten fazla olması durumunda yapma aydınlatmanın devre dışı olduğu kabulü gerçekleştirilerek

aydınlatma enerjisi tüketiminin buna bağlı olarak azaltımı sağlanmaktadır. RT 2012 yöntemi, Fransa için geçerli olan ulusal bir hesap yöntemi olup ayrıca internet tabanlı bir yazılım olarak hazırlanmış ve kullanıma sunulmuştur.

2.2.2.3 Almanya Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, DIN V 18599

Almanya'da geçerli olan DIN V 18599 hesap yöntemi, binalarda aydınlatma enerjisi gereksinmelerinin hesaplanması için EN 15193 Standardı'na benzer bir yönteme sahiptir. Bu yöntemde öncelikle ele alınan hacimlerdeki veya bölgelerdeki aydınlatma sistemlerinin istenen aydınlık düzeyinin sağlanması açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla DIN EN 12464-1 standardındaki gereksinimler temel alınmıştır. Yöntemde kullanılan aydınlatma sisteminin türü direkt, direkt-endirekt veya endirekt olarak dikkate alınmaktadır.

Bu yöntemde yatay ve düşey günışığı açıklıkları, doğal aydınlatma kullanımına ve dolayısı ile aydınlatma enerjisi performansına katkıları nedenleriyle hesaplamalara dahil edilmektedir. DIN V 18599 hesap yönteminde hacimlerin günışığından yararlanma durumlarına göre hesap adımları değişkenlik göstermektedir (DIN V 18599-4, 2007). Günışığı açıklıklarına sahip olan mekanlarda, istenilen aydınlatmanın doğal aydınlatma ile karşılanması mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, doğal aydınlatmanın kullanıldığı binalar için aydınlatma enerjisi performansının değerlendirilmesi, DIN V 18599 hesap yönteminde dikkate alınmıştır. Bu yöntemde günışığı etkisi, "yıllık günışığı sağlama faktörü" olarak hesaplamalara dahil edilmekte ayrıca günışığının oluşturabileceği kamaşmanın denetlenmesi de sağlanmaktadır. Bu yöntemde EN 15193 standardından farklı olarak yön parametresi de dikkate alınmaktadır.

2.2.2.4 Türkiye Ulusal Hesap Yöntemi'nde aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması, BEP-TR

AB ülkelerinde Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin (2002/91/EC) yayınlanması sonucu, aday ülke olan Türkiye'de bu direktif gereği Bina Enerji Performansı Türkiye Ulusal Hesap Modeli (BEP-TR) hazırlanmış ve BEP-TR-Aydınlatma Enerjisi Gereksinimlerinin Hesaplanması bölümünde EN 15193 standardı uyarınca binalarda aydınlatma enerjisi performansının hesaplanması yöntemi, konutlar ve diğer binalar için geliştirilmiştir (BEP-TR, 2010). BEP-TR

yöntemine göre bir binanın toplam aydınlatma enerjisi gereksinimi, bir hacim veya bölüme ilişkin toplam kurulu aydınlatma gücü, sabit aydınlık faktörü, gün saatleri kullanımı kullanıma bağlı faktör, günışığı bağımlılık faktörü ve gün saatleri dışında kullanım bileşenlerine bağlı olarak hesaplanır. EN 15193 standardında belirtilen hesap yöntemi uyarınca aydınlatma enerji gereksinimlerinin aydınlatma tasarımı aşamalarından itibaren belirlenmesi mümkündür. Bu yöntem, binalarda iç aydınlatma amacıyla gereksinim duyulan enerji miktarının değerlendirilmesine yönelik hesap adımlarını ve aydınlatma enerjisine ilişkin sertifikalandırma amacıyla kullanılabilecek bir sayısal göstergeyi tanıtmakta, yöntem mevcut veya yeni binalar için kullanılabilmektedir.

BEP-TR hesap yönteminde öncelikli olarak hacimlerde gerçekleştirilen eylem türüne bağlı olan görsel konfor koşullarının, EN 12464-1 standardında istenen kriterlere uygun olması beklenmektedir (EN 12464, 2011). Geliştirilen hesap yönteminde bu durum dikkate alınarak işleve bağlı olarak standartta tanımlanan minimum aydınlık düzeyinin (E_m) ve istenen renksel geriverim (R_a) değerlerinin sağlanması öngörülmüştür. Binalarda yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin BEP-TR yöntemi ile hesaplanabilmesi için aşağıdaki bileşenlerin belirlenmesi gerekmektedir:

Bir hacim veya bölüme ilişkin aydınlatma sisteminin toplam kurulu gücü (P_n), ele alınan bir hacim veya bölümde aydınlatma amaçlı kullanılan tüm lambaların kurulu gücü olarak tanımlanmaktadır.

Günışığı bağımlılık faktörü (F_D), ele alınan hacimlerin günışığından yararlanması durumunda gün saatleri içinde tüketilen aydınlatma enerjisi miktarında gerçekleşebilecek olan azalmayı ifade etmektedir. Bu değer, Günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve Günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,C}$) değerlerine bağlı olarak belirlenir:

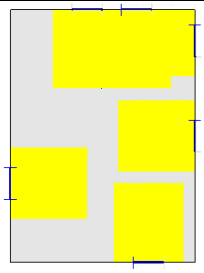
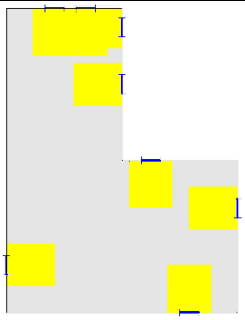
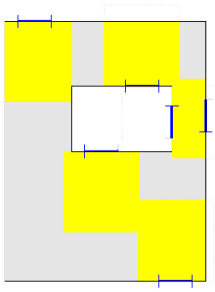
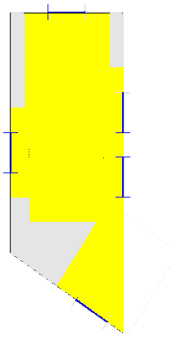
- Günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) değeri günışığı etkisi, hacimde istenen aydınlık düzeyi ve binanın bulunduğu yörenin enlemine bağlıdır. EN 15193'de hacimlerde istenen aydınlık düzeyi 300-500-750 lx olarak gruplandırılmış ve her bir grup için günışığı etkisine bağlı katsayılar tanımlanmıştır. Türkiye'de 36º-41º enlemleri için her duruma ilişkin $F_{D,S}$ değerleri hesaplanmıştır.

- Günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,C}$) değeri, bir yapma aydınlatma kontrol sisteminin sağlayacağı enerji tasarrufu potansiyelinin etkinliğini

belirten katsayıdır. Bu değer, yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel veya otomatik olması durumuna ve günışığı etkisine bağlı olarak belirlenir.

Bu yöntemde günışığının aydınlatma enerjisi tüketimi üzerindeki etkisi, hacimlerde günışığından yararlanan bölgenin dış engeller, cephe, hacim ve pencere özelliklerine bağlı olarak tanımlanması ile belirlenmiştir. Bu değerin belirlenmesi amacıyla geçirgenlik indisi (I_T), derinlik indisi (I_D) ve engel indisinin (I_O) hesaplanması gerekmektedir:

- Geçirgenlik indisinin (I_T) hesaplanmasında ele alınan hacmin günışığından yararlanabilen ve yararlanamayan alanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu alanların belirlenmesinde hacim boyutu ve formu, pencere boyutu, konumu ve sayısı gibi değişkenler dikkate alınmaktadır. Farklı mekan geometrileri için hesaplanmış günışığından yararlanan bölgelerin ifadesi Şekil 2.6'da örnek olarak verilmektedir.

Dikdörtgen mekanlar	L tipi mekanlar	Avlu/atriuma sahip mekanlar	Yamuk biçimli mekanlar
			

Şekil 2.6 : Farklı mekan geometrileri için günışığından yararlanan bölgelerin ifadesi.

- Derinlik indisi (I_{De}), günışığından yararlanan bölgenin derinliği (m), lentonun yerden yüksekliği (m) ve çalışma düzlemi yüksekliğin (m) dikkate alınarak belirlenir.

- Engel indisi (I_O), pencere önündeki çeşitli engellerin etkisiyle hacme giren günışığı miktarındaki azalmayı ifade etmektedir. Engel indisi I_O, karşı bina engeli, yatay saçak, düşey gölgeleme elemanı, avlu veya atrium ve camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü değerleri dikkate alınarak belirlenir.

Günışığı faktörüne bağlı sınıflandırmada, ele alınan hacim veya bölümde günışığı etkisinin belirlenebilmesi amacıyla hesaplanan geçirgenlik indisi, derinlik indisi ve engel indisi değerlerine bağlı olarak pencere açıklığına ilişkin günışığı faktörü (D_c) belirlenir. Pencere camı ve doğrama özellikleri dikkate alınarak (D) ve (D_c)

değerlerine bağlı günışığı etkisi 'güçlü, orta, zayıf veya hiç' olarak belirlenir. Sınıflandırmada bu iki değerin düşük olanı esas alınır. (D) ve (D_c) değerlerinin aralıklarına bağlı günışığı etkisi sınıflandırması Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11 : Günışığı etkisinin sınıflandırılması (BEP_TR, 2010).

Sınıflandırma		**Günışığı etkisi**
D_C	D	
D_C>= %6	D>= %3	Güçlü
%6 >D_C>= %4	%3 >D>= %2	Orta
%4 >D_C>= %2	%2 >D>= %1	Zayıf
D_C< %2	%1 >D	Hiç

Gün uzunlukları ve çalışma saatleri ilişkisi, t_D ve t_N değerlerinin belirlenmesi adımında binaların kullanım saatleri sırasında günışığının mevcut olup olmaması durumu incelenmektedir. EN 15193 standardında bu değerler yıllık sabit olarak kabul edilmiştir, ancak günışığının mevcut olduğu saatler yıl içinde değişiklik göstermektedir. Bina türlerine bağlı olarak kullanım saatleri içinde günışığının mevcut olduğu süre (t_D) ve günışığının mevcut olmadığı süre (t_N) değerlerinin belirlenmesi amacıyla gün uzunlukları Türkiye'deki şehirler için aylık değerler olarak hesaplanmış ve hesaplamalarda memleket saatine dönüştürme ve yaz saati uygulamaları dikkate alınmıştır.

Sabit aydınlık faktörü F_c değeri, hacimlerde sabit aydınlık düzeyi sağlayan loşlaştırılabilir bir kontrol sisteminin mevcut olması durumunda hesaba katılmaktadır.

Kullanıma bağlı faktör F_o değeri, hacimlerin kullanımına ve aydınlatma sisteminin kontrolüne bağlı olarak belirlenerek yıllık toplam aydınlatma enerjisi üzerindeki etkisi dikkate alınmaktadır.

Aydınlatma Enerjisi Sayısal Göstergesi (AESG), binanın aydınlatma enerjisi performansını ifade etmekte ve birim alana düşen yıllık aydınlatma enerjisi miktarına ilişkin gösterge niteliği taşımaktadır. AESG, EN 15193 standardı uyarınca Eşitlik 2.11 ile belirlenir. Ele alınan binanın aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesi, BEP-TR Referans Bina Belirleme Yöntemi'ne göre gerçekleştirilir ve binanın aydınlatma enerjisi sınıfı belirlenir (BEP-TR Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 07-Referans Bina Belirleme, 2010).

2.2.3 Aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda karşılaşılan eksiklikler

Binalarda aydınlatma enerjisi performansının belirlenebilmesi için hazırlanmış ulusal hesap yöntemlerinin temel olarak EN 15193 standardına dayandığı bilinmektedir. EN 15193 standardında doğal aydınlatma etkisi, binanın bulunduğu bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Bu standartta tanımlanan günışığı bağımlılık faktörü (F_D), ele alınan hacimlerin günışığından yararlanması durumunda gün saatleri içinde aydınlatma enerjisi miktarında gerçekleşebilecek olan azalmayı ifade eden bir katsayı olarak tanımlanır. Bu değer, dış engel durumuna ve doğal aydınlatma elemanlarında kullanılan saydam bileşen özelliklerine bağlıdır.

Günümüzde binalarda aydınlatma enerjisinin belirlenmesine yönelik hazırlanan EN 15193 standardının eksiklikleri olduğu bilinmekte ve bu konuda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bir çalışma kapsamında Londra'da bulunduğu kabul edilen bir ofis hacmi için EN 15193 standardında tanımlanan 6 kontrol seçeneğinin uygulandığı senaryoların aydınlatma enerjisi gereksinimleri, EN 15193 hesap yöntemi ve Daysim aydınlatma simülasyon programı ile hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada Daysim programı ile gerçekleştirilen aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının EN 15193 standardından daha yüksek olduğu saptanmış, farklı senaryolara ilişkin sapma oranlarının %1-52 arasında değiştiği belirlenmiştir (Szczepanial & Wilson M., 2010).

Bilindiği gibi mekanlarda günışığı kullanımı, birçok parametreye bağlıdır. EN 15193 standardında doğal aydınlatmanın aydınlatma enerjisi tüketimine etkisi standart katsayılar olarak ele alınmaktadır. Mekanların doğal aydınlatmadan yararlanma oranı, belirli kriterlere bağlı olarak hesaplanmakta ve doğal aydınlatmadan etkilenme durumları mekanlar için "güçlü, orta, zayıf, hiç" olarak kategorize edilmektedir. Oysa ki doğal aydınlatma etkisinin her saat için değişken bir değer olarak tanımlanması gerektiği bilinmekte ve görsel konfor koşullarının bu durum dikkate alınarak değerlendirilmesi önerilmektedir.

2010 yılında gerçekleştirilmiş bir çalışmada İstanbul'da yer aldığı varsayılan bir ofis için farklı saydamlık oranı, cam türü, gölgeleme elemanları ve pencere konumuna ilişkin senaryolar uygulanmış ve hacimde oluşan doğal aydınlatma etkisi EN 15193 standardı uyarınca saptanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan doğal aydınlatma

seçeneklerinin yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi ve AESG değerini doğrudan etkilediği saptanmıştır. Ancak günışığı etkisinin "güçlü, orta, zayıf, hiç" şeklinde sınıflandırılması nedeniyle birbirinden farklı olduğu bilinen doğal aydınlatma senaryoları aynı günışığı etkisi sınıfında yer almıştır (Şener & Yener, 2010).

EN 15193 hesap yönteminin doğal aydınlatma etkisinin detaylı olarak belirlenmesi açısından revize edilmesi gerekmektedir. EN 15193 standardı günümüzde yeniden ele alınmakta ve bu konuda standardın yenilenmesi çalışmaları devam etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, binaların aydınlatma enerjisi gereksiniminde günışığı etkisinin dinamik bir şekilde ele alındığı yaklaşımlarla belirlenmesi önerilmektedir.

2.3 Aydınlatma Tasarımının Çevresel Etkisinin İncelenmesi

Sürdürülebilir binaların tasarlanması amacıyla, aydınlatma sistemlerinin görsel konfor koşullarını sağlayacak ve enerji tüketimini en aza indirecek biçimde ele alınması gereği günümüzde güncel bir konudur. Mimarların, tasarımlarını enerji etkinlik ölçütlerini temel alarak gerçekleştirmeleri, bina tasarımı sürecinde çeşitli ölçeklerde alınan kararlara bağlı olarak enerji tüketiminin ve çevresel etkilerin belirlenmesiyle olanaklıdır. Sürdürülebilirlik, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na göre; "Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılamak" olarak tanımlanmaktadır (Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Brundtland Raporu, 1987). Mimarlıkta sürdürülebilirlik kavramı, enerji kaynaklarının bilinçli tüketilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye saygılı yaklaşımları kapsamaktadır (Yener, Uyan & Şener, 2009).

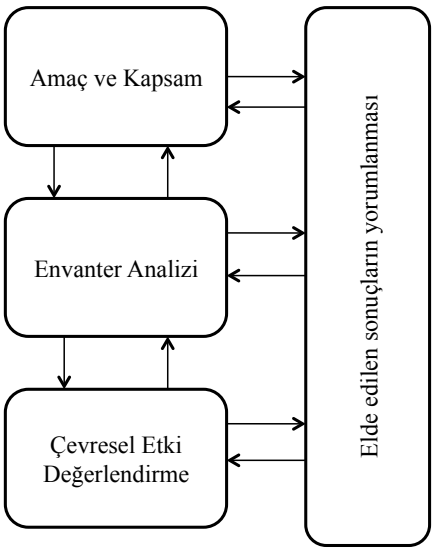
Binaların sürdürülebilirliklerini değerlendirmek amacıyla günümüzde çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler, belirlenen ölçütlere göre binaların çevreye olan etkilerini ve enerji tüketimlerini değerlendirerek puanlandıran ve bu puanlama sonunda binaları sertifikalandırarak, mimari çevreyi bu ölçütler bağlamında şekillendiren modellerdir. Binaların sürdürülebilirliklerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş olan bu sistemler, geliştirildikleri ülkelerin koşullarına ve yasal mevzuatına uygun olarak düzenlenmiştir. Farklı ülkelerde binaların sertifikalandırılması amacıyla yaygın olarak kullanılmakta olan LEED, CASBEE ve BREEAM gibi modeller bulunmaktadır (Yener, Uyan & Şener, 2009).

Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımları için görsel konfor koşullarının minimum enerji ile sağlanmasının yanı sıra, yapma ve doğal aydınlatma elemanlarının doğa dostu olacak şekilde seçilmesi hedeflenmeli, aydınlatma tasarımlarında uygun kaynak kullanımı ile imal edilmiş, çevreye duyarlı ve geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşan ürünlerin seçimine özen gösterilmelidir.

2.3.1 Aydınlatma tasarımlarının çevresel etki değerlendirmesinde kullanılan standart ve yönetmelikler

Binalarda aydınlatma sistemine ilişkin çevresel etkilerin değerlendirilmesi coğrafik, meteorolojik ve ekonomik açılardan birçok etkeni göz önüne alarak gerçekleştirilmektedir. Aydınlatma tasarımlarının çevresel etkisinin belirlenmesi, büyük ölçüde kullanılan malzemelere ve yapı elemanlarının özelliklerine bağlıdır.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (Life Cycle Assessment-LCA) çevresel mevzuat bağlamında üreticilerin ürünlerini analiz etmelerini ve geliştirmelerini sağlayan, tüketicilerin daha bilinçli seçimler yapmasına katkıda bulunan bir araçtır. Bununla birlikte, yaşam döngüsü değerlendirmesi ile üreticilerin üretim, kullanım ve yok edilme aşamalarında ne kadar enerji ve kaynak kullandıklarına, atık durumlarına ve bu değerlerin belgelendirilmesine dayanan bir yaklaşım ortaya konulmaktadır (ISO 21931-1:2010, 2010). İnşaat sektörü için ilgili yaşam döngüsü değerlendirmesi standartları, ISO 14040 ve 14044 serisinde tanımlanmış ve bu standartlar TSE olarak Türkiye'ye adapte edilmiştir (EN ISO 14040-14044, 2006). Şekil 2.7'de ISO 14040 ve 14044 uyarınca belirtilen LCA akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.7 : ISO 14040 ve 14044 standartları uyarınca LCA Çerçevesi (ISO 14040).

LCA ile hem ele alınan ürünlerin çevresel performansı sayısal olarak belirlenebilmekte, hem de ürünlerin tüm aşamaları için gerçekleştirilen iyileştirme ve optimizasyon çalışmaları sayesinde kaynakların optimum tüketilmesi gerçekleşmektedir. LCA aşamaları, amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirme ve sonuçların yorumlanması olacak şekilde dört aşamadan oluşmaktadır. Bu yöntemin kullanımı ile aydınlatma elemanları birbirleri ile karşılaştırılarak çevresel etkiler anlamında en uygun seçimin gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir. Böylelikle aydınlatma tasarımında ürün seçimi aşamasında LCA değerlendirmesi ile aydınlatma sistemlerinin çevresel etkisinin değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanları (Environmental Product Declaration- EPD), ürünlerin ISO 14040 standardı çerçevesinde tanımlanmış standart parametreler doğrultusunda yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçlarını içeren dokümanlardır. EPD dokümanları ile, yapı malzemelerinin ve yapısal ürünlerin çevresel performansına ilişkin detaylı bilgilerin elde edilmesi hedeflemekte ve bu doğrultuda ISO 14025 standardı kullanılmaktadır. Dünyaca kabul görmüş 'eko etiketler' olarak da adlandırılan çevresel ürün beyanları, ürünlerin yaşam döngüsü ve çevre etkisi değerlendirilmesinde gerekli olan bilgilerin temelini oluşturmakta ve bu sebeple binaların sürdürülebilirliğinin belgelenmesinde önem taşımaktadır.

2007 yılında binalarda kullanılan ürünlerin EPD dokümanlarının hazırlanması hedefiyle ISO 21930 standardı yayınlanmış ve bu standartta inşaat sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması ve minimum çevre etkisinin gerçekleştirilmesi hedefiyle gerekli bilgiler ile izlenmesi gereken sürece yer verilmiştir (ISO 21930, 2007). Bu konu ile ilgili hazırlanan standartlar şu şekildedir:

- EN 15804 Çevresel ürün beyanları (EN 15804, 2012).
- EN 15643 Yapı işlerinin sürdürülebilirliği- çevresel performansının tetkiki (EN 15643, 2010).
- EN 15978 Yapı işlerinin sürdürülebilirliği- Binaların çevresel performansının tetkiki-Hesaplama yöntemi (EN 15978, 2011).

Günümüzde gerçekleştirilen EPD çalışmaları ile aydınlatma tasarımlarında seçilen doğal ve yapma aydınlatma ürünlerinin çevresel etki değerlendirmesi mümkündür.

Günümüzde artan ürün beyanları sayesinde aydınlatma tasarımcıları ürün seçimini çevresel etkiler dikkate alınarak gerçekleştirebilecektir.

Eko-etkinlik kapsamında çevresel etki değerlendirmesi, kaynak tüketiminin, ve çevresel etkilerin azaltılması ile ürün hizmet değerinin artırtılması hedefleriyle geliştirilmiştir. ISO 14045-2012 standardında detayları bulunan bu yaklaşım, genel olarak çevresel etkileri azaltmak amacıyla kullanılan bir yönetim aracı olarak tanımlanmıştır (ISO 14045 Çevre yönetimi - Ürün Eko-verimlilik değerlendirmesi sistemleri - Prensipler, kurallar ve ilkeler, 2012). Aydınlatma ürünleri de bu yöntem kullanılarak eko etkinlik değerlendirmesi kapsamında sertifikalandırılabilmektedir. Türk aydınlatma elemanı üreticilerinin çevresel etki değerlendirmeye ilişkin ISO standartlarını kullanmaları isteğe bağlı bir durumdur, ancak bu standartlar uyarınca değerlendirmenin gerçekleştirilip ürünlerin çevre dostu olmasının beyan edilmesi, uluslararası alanda faaliyet gösteren firmalar için kaçınılmazdır.

Yeşil Kamu İhaleleri (Green Public Procurement- GPP) aracı, Avrupa Komisyonu tarafından 2008 yılında farklı ürün ve hizmetlerin tüm yaşam döngüsü boyunca düşük çevresel etkiye sahip olması hedefiyle gönüllülük prensibine dayalı olarak ortaya konmuş ve çevresel etkinin minimize edilmesi hedefiyle bu doğrultuda ortak bir hareket başlatılmıştır (Url-9). 2009 yılında İngiltere'de bulunan BRE kuruluşu aydınlatma departmanı tarafından 'İç Aydınlatma Teknik Altyapı Raporu' AB Komisyonu için hazırlanmış ve çevresel etkinin aydınlatma sistemleri ile olan ilişkisi incelenmiştir. Raporda, iç aydınlatmada kullanılan ürünlerin çevresel etkisinin azaltılması ve uygun ürün kullanımı konusunda bilgiler yer almakta, iç aydınlatmada kullanılan lamba, balast, aydınlatma aygıtı, aydınlatma kontrolüne ilişkin sistem üniteleri gibi ürünlere yönelik olarak uyulması gereken standart ve yönetmelikler tanıtılarak bu teknolojileri kapsayan ürünlerin etiketlenmesi ile ilgili bilgiler açıklanmaktadır (European Commission, Green Public Procurement Indoor Lighting Technical Background Report, 2011).

Eko-tasarım gereksinimleri yönetmeliği (2005/32/EC), binalarda yapma aydınlatma sistemlerinin sürdürülebilir olmasını hedefleyen ve bu doğrultuda sınırlandırmalar getiren bir yönetmeliktir. Bu yönetmelik ile enerji tüketen ürünlerin, enerji tüketimlerini ve çevreye olumsuz etkilerini azaltmak üzere üreticilerin tasarım aşamasında yönlendirilmesi hedeflenir (Directive of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005, Directive 2005/32/EC, 2005). Bu yönetmeliğin,

aydınlatma ürünleri ile ilgili kriterleri "Lamba, balast ve aydınlatma elemanları için eko-tasarım gereksinimleri (245/2009)" yönetmeliği ile belirlenmiştir (Commission Regulation (EC) No 245/2009, 2009). Yönetmelikte, istenen kriterleri sağlayan ürünlerin üzerinde 'CE' işaretinin bulunması gerektiği belirtilmektedir.

Elektrikli aletlerin çevresel etkilerinin minimize edilmesi hedefiyle geliştirilmiş ve birbirine paralel hedefleri olan iki temel direktif bulunmaktadır. Bunların ilki, **Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)** direktifidir. WEEE, aydınlatma ekipmanlarını ve elektrikli aletleri kapsamakta olup bu direktifle belirtilmiş ürünlerin ayrı toplanması ve geri dönüştürülmesi zorunlu kılınmaktadır. WEEE Direktifi ilk olarak 2002'de yürürlüğe girmiş ve 4 Temmuz 2012 tarihinde Avrupa Konseyi ve Parlementosu tarafından revize edilmiştir (Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council, 4 July 2012, Waste Electrical and Electronic Equipment-WEEE, 2012).

RoHS direktifi (Restriction of Hazardous Substances Directive- RoHS) elektrikli aletlerin çevresel etkilerinin minimize edilmesi hedefiyle geliştirilmiş olup bu direktifte belirli zararlı maddelerin elektriksel ürünlerde kullanımının engellenmesi hedeflenmektedir. Bu direktif ilk olarak 2003 yılında yürürlüğe girmiş ve 2011 yılında revize edilerek tekrar yayınlanmıştır. Bu direktifle kurşun, civa, kadminyum gibi insan sağlığını ve doğayı tehdit eden bileşenlerin elektrikli ürünlerde kullanımı yasaklanmıştır. (Directive 2011/65/EU European Parliament and of the Council, 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment- RoHS, 2011).

Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı uygulamada benzerlik gösteren ve birbirini tamamlayan yönetmeliklerin birleştirilmesi politikası çerçevesinde, 2002/95/EC sayılı RoHS Direktifi ile 2002/96/EC sayılı WEEE Direktifi'nin tek bir yönetmelik olarak yayımlanması kararı kapsamında 22/05/2012 tarihinde 28300 sayılı Resmi Gazete'de "**Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği"** yayımlanmıştır (Url-10). Bu yönetmelik gereği aydınlatma gereçleri üreticilerinin uyması gereken kriterler tanımlanmakta ve kullanım ömürleri dolmuş olan ürünlerin geri dönüşümünün sağlanmasına yönelik alınması gereken önlemler belirtilmektedir (Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği, 2012).

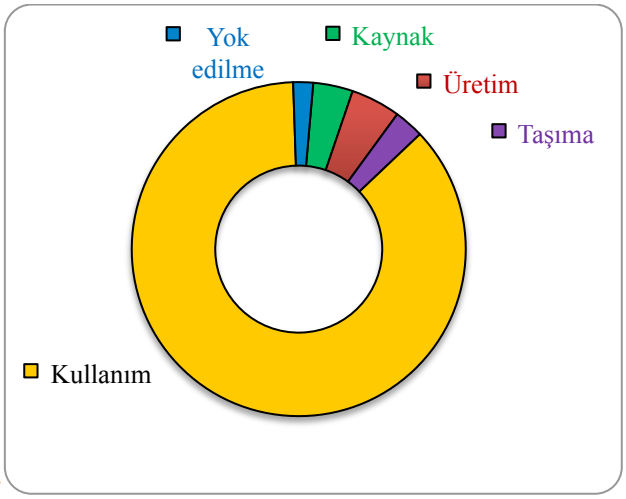
Yüksek performanslı yeşil binalar standardı (Standard 189.1P), yeşil binalar için standart değerler tanımlamaktadır (BSR/ASHRAE/USGBC/IESNA Standard 189.1P, 2009). Bu standart, yeşil bir binanın aydınlatma sistemine ilişkin, ışık kirliliği (dış aydınlatmalar), aydınlatma güç yoğunluğu ve enerji simülasyonu konularında uyulması gereken standart değerleri içermektedir. Bu standartta yeşil bir binanın aydınlatma güç yoğunluğu değerinin önerilen LPD değerinden %10 oranında daha düşük olması beklenmekte ve binalarda kullanılan ürünlerin "Energy Star" programı kriterlerini karşılayabilen ürünler olması istenmektedir.

2.3.2 Yapma aydınlatma elemanlarının çevresel etki değerlendirmesine ilişkin gerçekleştirilmiş çalışmalar

Yapma aydınlatma sistemleri, lamba, aygıt, kablolama sistemleri ve aydınlatma kontrol ekipmanları gibi ürünlerden oluşmaktadır. Aydınlatma tasarımları gerçekleştirilirken yapma aydınlatma elemanlarının doğru seçimi ve kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım, yok edilme aşamalarının her birinde çevreye en az zarar veren ve minimum enerji tüketen sistemler olarak tasarımı esastır. Çalışmanın bu bölümünde yapma aydınlatma elemanlarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

- 2002 yılında Karlsruhe'de yapılmış bir çalışmada, sürdürülebilir ürün tasarımı konusunda önerilen yöntem ile bir aydınlatma elemanının yaşam döngüsü analizi gerçekleştirilmiştir. Ele alınan aygıt ve lambaya ilişkin gerçekleştirilen analizler sonucu sera gazı salımı, enerji tüketimi, atık yönetimi, ham madde kullanımı başlıklarında çevresel etki değerlendirilmiştir (Halog, 2002). Bu çalışmaya göre tek bir aydınlatma elemanının elde edilmesi için ihtiyaç duyulan ham maddeler, ürün parçalarının bir araya getirilmesi işlemleri, aydınlatma elemanlarının kullanım ömrü ve kullanım aşamasında tüketilen elektrik enerjisi, kullanım ömrünü tamamladıktan sonraki aşamada atık yönetimi konuları, aydınlatma elemanına ilişkin yaşam döngüsünün parçalarını oluşturmaktadır.
- 2008 yılında Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services (CIRAIG) kuruluşu tarafından yayınlanan bir raporda yapma aydınlatma elemanlarının çevresel etki değerlendirilmesi sürecinde kullanım aşamasında tüketilen enerji miktarının diğer aşamalara oranla en fazla olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (CIRAIG, 2008).

- 2008 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada birbirleri ile değişimi mümkün olan, 60W güce sahip bir flüoresan lamba ile 13 W güce sahip bir kompakt flüoresan lamba teknolojileri çevresel etki açısından SimaPro yazılımı ile değerlendirilmiş ve 10000 saatlik kullanım süresi kriter alınmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucu iki ürün arasındaki yüksek enerji tüketimi farklılığı nedeniyle kullanım aşamasında kompakt flüoresan lambaların daha etkin olduğu sonucuna varılmış ancak kompakt flüoresan lambaların geri dönüşümüne yönelik olarak tedbir alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışmada kullanım aşamasının en fazla CO_2 gazı salımına neden olduğu belirtilmiştir (Ramroth, 2008).
- Avrupa Lamba Üreticileri Federasyonu'nun (European Lamp Companies Federation) 2009 yılında yayınlamış olduğu raporunda da benzer şekilde aydınlatma elemanlarından kaynaklanan çevresel etkilerin yaklaşık olarak %90'ının kullanım döneminde tüketilen enerji miktarı olduğu belirtilmiştir. Kullanım dışında enerji tüketimine ve dolayısı ile doğaya olan CO_2 salımının artışına sebep olan diğer aşamalar, taşıma, üretim, kaynak ve yok edilmedir. Bu aşamalardaki enerji kayıplarını ortadan kaldırmak, bilinçli bir ürün seçimi ile mümkündür. Şekil 2.8'de lambaların yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin dağılımını gösteren bir grafiğe yer verilmektedir (Url-11).



Şekil 2.8 : Lambaların yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri (Url-11).

- 2009 yılında Almanya'da gerçekleştirilen bir çalışmada birbirinin yerine kullanılabilecek şekilde seçilmiş üç farklı lamba teknolojisi (enkandesan, kompakt flüoresan ve LED) için yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Seçilen enkandesan lamba 40 W, kompakt flüoresan ve LED lamba ise 8 W güce

sahiptir. Seçilen ürünlerin ışık akılarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Ele alınan teknolojilerin birbirinden farklı olması sebebiyle bu çalışmada ışık renginin eş koşullara sahip olması durumu göz ardı edilmektedir. ISO 14040 standardı çerçevesinde gerçekleştirilen LCA analizlerinde ham madde kullanımı, üretim, taşıma, kullanım ve yok edilme aşamalarında meydana gelen çevresel etkiler belirlenmiştir. Bu çalışmada kompakt flüoresan ve LED ürünlerinin geri dönüşümünün titizlikle gerçekleştirilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre kullanılan yapma aydınlatma elemanlarının çevresel etkisinin belirlenmesi aşamalarından 'kullanım' aşamasının diğer aşamalara oranla daha etkin olduğu saptanmıştır (Osram, 2009).

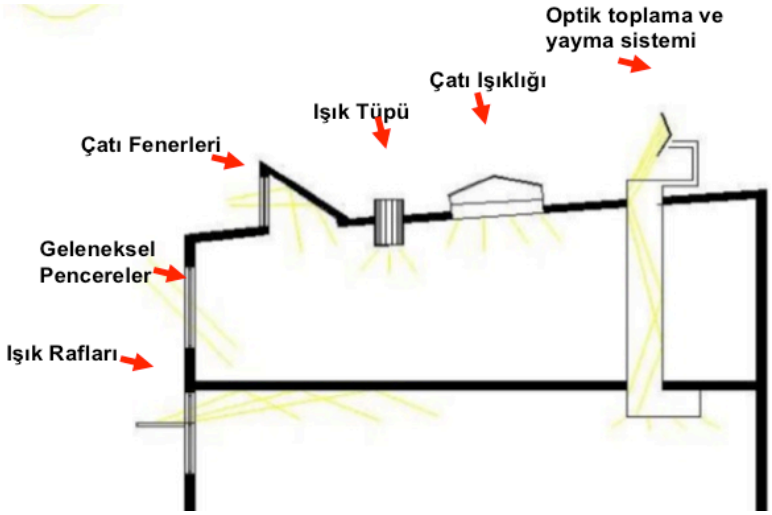
- 2009 yılında Japonya Çevre Yönetimi Birliği tarafından elektronik ürünlerin eko etkinlik göstergelerinin standartlaştırılması konulu bir yayın hazırlanmış ve bu yayında lamba ve aygıt üreticilerinin minimum çevresel etki açılarından uyması gereken kurallar belirtilmiştir (Guidelines for standardisation of Electronic Product Eco Efficiency Indicators Ver 2.1, 2009). Bu yayın sonrasında enkandesan (54 W) ve flüoresan (10W) olmak üzere iki farklı lamba seçimine ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesi ISO 14040-14044 uyarınca gerçekleştirilmiş ve ilgili ürünler eko etkinlik açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada 1000 saatlik süre için lambaların ışık akısı miktarı belirleyici faktör olmuştur. Öte yandan bu çalışmada lambaların üretim yeri, kullanıldığı ülkeye getirilme biçimi ve bu süreçte nakliye nedeniyle doğaya salınan CO_2 miktarları tespit edilerek analizlerde kullanılmıştır. Çalışmada doğaya salınan CO_2 miktarının %98'inin kullanım aşamasında olduğunu belirlenmiştir.
- 2009 yılında İngiltere Çevre Departmanı için hazırlanmış bir teknik raporda çeşitli aydınlatma ürünlerine ilişkin çevresel etki değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada LED ürünler, kompakt flüoresan, tüp flüoresan ve enkandesan ürünler ile karşılaştırılmış ve değerlendirmeler Ecoinvent yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre en fazla çevresel etkinin enkandesan lamba kullanımında oluştuğu belirtilmiş ve bu durumun seçilen ürünün düşük ışıksal etkinlik değerinden (lm/W) kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada da diğer çalışmalarda olduğu gibi kullanım aşamasının maksimum çevre etkisine yol açtığı belirlenmiştir (Navigant Consulting Europe, 2009).

- 2010 yılında İsviçre'de gerçekleştirilen bir çalışmada dört farklı lamba türüne (tungsten, halojen, flüoresan ve kompakt flüoresan) ilişkin yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilerek ilgili ürünlerin üretim, kullanım ve yok edilme aşamalarında gerçekleşen çevre etkisi belirlenmiştir. Çalışmada bir saatlik kullanım koşulları kriter alınmış ve Ecoinvent yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada maksimum çevre etkisinin kullanım aşamasında olduğu saptanmış ve daha az enerji tüketimi sağlayan lambaların kullanımında minimum çevre etkisinin oluştuğu belirtilmiştir (Welz, Hischier & Hilthy, 2011).
- 2010 yılındaki bir çalışmada LED ürünlerin çevresel etkilerinin minimize edilebilmesi hedefiyle gerekli kriterler üzerinde durulmuş ve üç farklı ürüne ilişkin değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ürünlerin optik özellikleri ve ürünlere ilişkin ısıl özellikler dikkate alınmıştır. Çalışmada çevresel etkinin azaltılabilmesi hedefiyle LED ürünlerin bağlantı parçalarının standardize edilmesinin ve az çeşitliliğe sahip malzeme kullanımının önemine dikkat çekilmiş ve LED lamba üreticilerinin ürünlerin ömürlerinin sonunda geri toplatılmasına yönelik stratejiler geliştirmesi gerekliliğine yer verilmiştir (Hendrickson, Matthews, Ashe, Jaramillo & McMichael, 2010).
- 2012 yılında Litvanya'da gerçekleştirilen bir çalışmada lambaların yaşam döngüsü analizlerinde en fazla CO_2 gazı salımına neden olan aşamanın kullanım aşaması olduğu bildirilmiştir (Elijošiutė, Balciukevičiūtė & Denafas, 2012).
- 2012 yılında Amerika Enerji Departmanı tarafından gerçekleştirilen bir araştırma projesinde çeşitli LED ürünlerin çevresel etkileri değerlendirilmiş ve bu çalışmada konu ile ilgili önceden gerçekleştirilen 10 farklı literatür araştırmasında elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Bu çalışmada LED ürünlerin enerji etkin olması nedeniyle günümüzde sıklıkla kullanıldığı vurgulanmış ancak bu ürünlerin çevresel etkilerinin belirlenmesinde rol oynayan üretim, taşıma, geri dönüşüm gibi unsurların da dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Navigant Consulting, Inc, 2012). Bu projeye ilişkin teknik raporda LED ürünlere yönelik üretim ve ürün performansı önerileri bulunmaktadır. Raporda LED üreticilerinin çevresel etkilerden haberdar olmaları gerekliliği vurgulanmış, bu konuda akademik çalışmalar yürüten kurum ve kuruluşların endüstri temsilcileri ile ortak hareket etmeleri önerilmiştir. Böylelikle minimum enerji tüketen ve maksimum çevresel etkinlik sağlayan ürünlerin geliştirilmesi teşvik edilmiştir. Ayrıca çevresel etki

değerlendirilmesinde kullanılan programların veri tabanlarının güncel ürünleri barındıracak şekilde oluşturulması gerektiği raporda belirtilmiştir (Pacific Northwest National Laboratory N14 Energy Limited, 2012).

2.3.3 Doğal aydınlatma elemanlarının çevresel etki değerlendirmesine ilişkin gerçekleştirilmiş çalışmalar

Binalarda günışığından yararlanmak açısından kullanılan sistemler, geleneksel pencereler, çatı ışıklıkları, ışık tüpleri, optik ışık toplayıcı ve yayıcıları, ışık rafları gibi çeşitli uygulama başlıkları altında toplanmaktadır. Şekil 2.9'da günışığının iç mekana alınma yöntemleri, bir yapı kesiti üzerinde örneklenmiştir. Doğal aydınlatma için kullanılan ürünlerin minimum çevresel etkiye sahip olarak seçilmesi gerekmekte, bu ürünlerin çevresel etki değerlendirilmesi ve sürdürülebilirlik açısından gerekli ilkeleri sağlaması dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.9 : Günışığının iç mekana alınma yöntemleri.

Günümüzde çevresel etki değerlendirme hedefiyle farklı ülkeler ve bina araştırma kuruluşları tarafından çeşitli yazılımlar geliştirilmekte ve bu yazılımlar farklı bina alt sistemlerini ve binalarda sıklıkla kullanılan malzemelere ilişkin veri tabanlarını içermektedir (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez & Castell, 2014, Haapio & Viitaniemi, 2008, NISTIR 7423, 2007). Doğal aydınlatma elemanlarının yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında, enerji performansının hesaplanabilmesi için simülasyon programlarının kullanımı önerilmektedir (Grant & Ries, 2012, Thomas & Wong, 2013, Alshamrani, Galal & Alkass, 2014).

Doğal aydınlatma sistemlerinin kullanım aşaması, çevresel etkinin en fazla oluştuğu aşamadır (Recio, Narváez & Guerrero, 2005, Salazar & Sowlati, 2008). İtalya'da 2014 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada pencerelere ilişkin bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirilmiş olup bu çalışmada farklı cam türü ve doğrama seçimi sonucu elde edilen pencere alternatiflerinin enerji ve çevresel performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada pencerelere ilişkin iklimsel, görsel, akustik analizler gerçekleştirilerek seçilen malzeme tiplerine bağlı olarak oluşan çevresel etki değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma, doğal aydınlatma elemanlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesinde cephe sisteminin ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerine olan etkisini detaylı olarak incelemesi açısından önem taşımaktadır (Baldinelli, Asdrubali, Baldassarri, Bianchi, D'Alessandro, Schiavoni & Basilicata, 2014). Pencere camlarına yönelik bir diğer çalışma Avrupa'da 2007 yılında gerçekleştirilmiş ve güneş kontrol camlarının binalarda kullanımına ilişkin çevresel etki değerlendirmesi ile oluşan CO_2 salımı belirlenmiştir. Bina kullanımı esnasında oluşan çevresel etkilerin belirlenmesinde ısıtma ve soğutma yüklerinin etkisinin detaylı olarak ele alındığı bu çalışmada aydınlatma enerjisi ve iç mekanda oluşan görsel konfor koşulları göz ardı edilmiştir (TNO Building and Construction Report 2007-D-R0576/B, 2007).

Literatürde güneş kontrol elemanlarına yönelik olarak gerçekleştirilen çeşitli çevresel etki değerlendirmesi çalışmaları ile karşılaşılmaktadır. 2014 yılında İtalya'da gerçekleştirilen bir çalışmada güneş kontrol elemanlarının çevresel etkilerinin yaşam döngüsü değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve çalışmada Sima Pro yazılımı kullanılmıştır. Çalışmada, farklı güneş kontrol elemanı tiplerinin binalarda uygulanması sonucu oluşan görsel ve iklimsel konfor koşulları ile aydınlatma, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi miktarları ölçülerek bu elemanların çevresel etkisi LCA yöntemi ile belirlenmiştir (Stazi, Marinelli, Di Perna & Munfao, 2014).

3. BİNALARDA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Binalarda günışığı performansının belirlenmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesi, mimaride günışığı etkisi analizlerinin gerçekleştirilebilmesi açısından gerekli bir konudur. Literatürde günışığına bağlı değerlendirme yöntemleri incelendiğinde farklı yöntemler ile karşılaşılmaktadır. Binalarda günışığı performansının doğru şekilde belirlenmesi, dış aydınlık düzeyinin gerçeğe en yakın olarak hesaplanması durumuna bağlıdır. Çalışmanın bu bölümünde binalarda günışığı performansının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen hesap yöntemleri tanıtılmakta ve dış aydınlık düzeyinin belirlenmesi için yapılmış çalışmalar incelenmektedir.

3.1 Dış Aydınlık Düzeylerinin Belirlenebilmesi İçin Yapılmış Çalışmalar

Doğal aydınlatma performansının en doğru şekilde belirlenmesi için ele alınan yöreye ilişkin dış aydınlık düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Dünyada meteorolojik ölçümler gerçekleştiren çeşitli kuruluşlarda dış aydınlık düzeyi ölçümleri yapılabilmektedir. Çeşitli ülkelerin birlikte rol aldıkları projeler çerçevesinde meteorolojik verilerin derlenerek, dış aydınlık düzeylerinin elde edilmesi, aydınlık düzeyi haritalarının ele alınan coğrafi bölgeler için oluşturulması mümkündür (Url-12, Url-13, Url-14, Url-15). Bu çalışmalara verilebilecek örnekler:

- Satel-Light (1996-1999),
- Soda (2000-2002),
- Heliosat-3 (2001-2004),
- Mesor (2007-2009) projeleridir.

Dış aydınlık düzeyi verilerinin elde edilebilmesi için, ele alınan meteoroloji istasyonunda gerçekleştirilen uzun süreli ölçüm sonuçlarına gereksinim duyulmaktadır. Ele alınan bir bölgeye ilişkin dış aydınlık düzeyi ile ilgili yeterli verinin ve ölçüm imkanının bulunmaması durumunda, dış aydınlık düzeyinin belirlenebilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda ele alınan coğrafi bölgeye ilişkin saatlik global ve yaygın ışınım verileri, güneşlenme

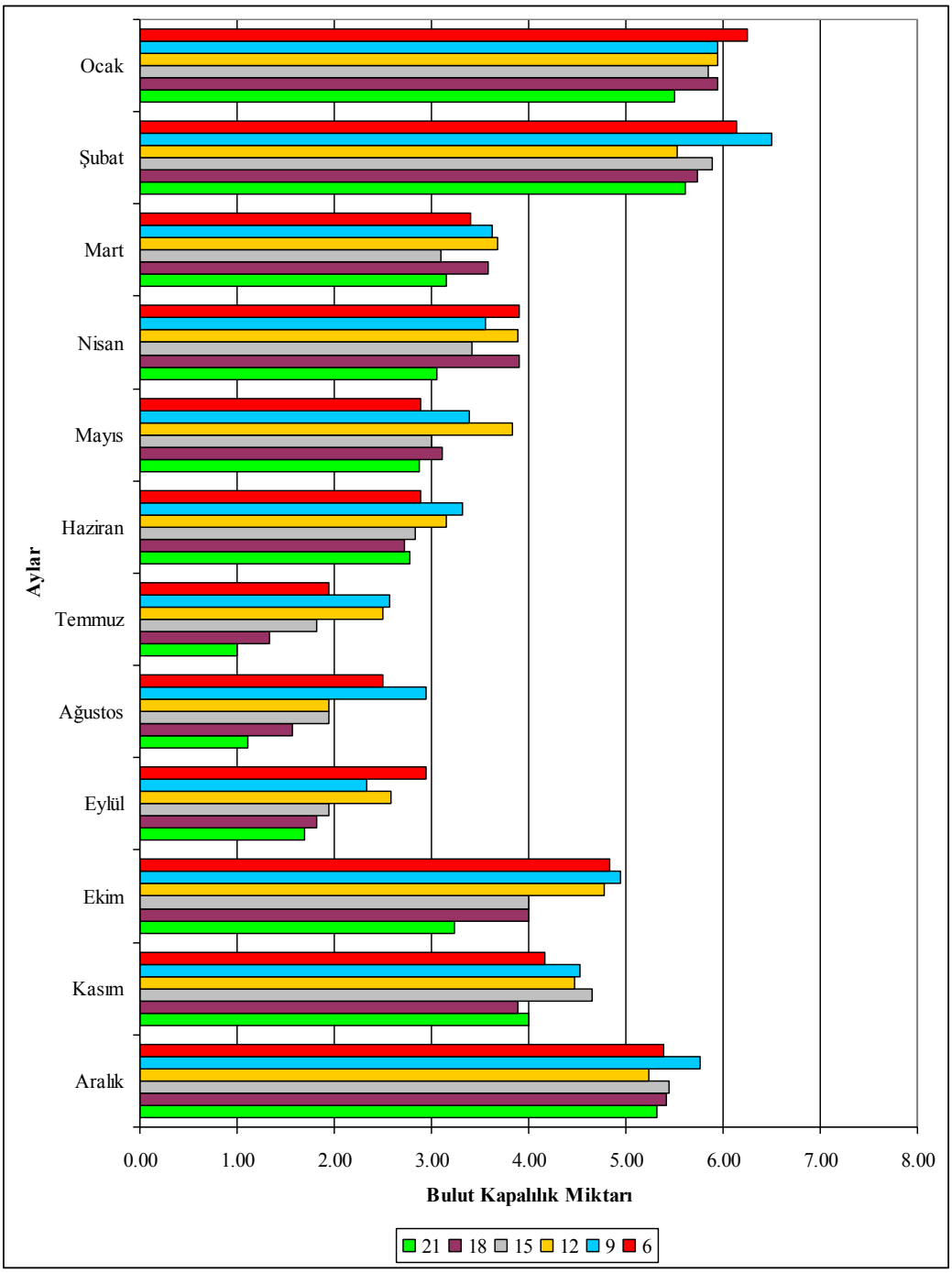
süreleri, berraklık indisi, bulutluluk oranı gibi değerlerin kullanımı ile dış aydınlık düzeyinin belirlenmesi ya da gök koşullarının kategorize edilmesi sağlanabilmektedir. Bu verilerin kullanılma amacı ele alınan bölgedeki saatlik ışınım değerlerinin dış aydınlık düzeyine dönüştürülmesi veya bölge için en uygun gök modelinin belirlenmesidir.

Bulutluluk verileri meteoroloji istasyonlarında ölçülmekte ve rapor edilmektedir, bu sistemde sekiz değer üzerinden ölçüm yapılır ve bu sistem okta sistemi olarak adlandırılır. Bulutluluk verilerin sınıflandırılması, 1/8 – 2/8 için Few, 3/8 – 4/8 için Scattered, 5/8 – 6/8 – 7/8 için Broken ve 8/8 için Overcast olarak gerçekleştirilir (Url-16). Çizelge 3.1'de İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu'nda 1991-2011 yılları arasında her ayın 15. günlerinde 06.00-21.00 saatleri arasında ölçülen saatlik bulutluluk değerlerinin ortalamalarına yer verilmiştir. Şekil 3.1'de ise bu verilerin grafiksel ifadesi yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günlerinde ölçülen ortalama saatlik bulut kapalılık miktarı.

Aylar	Saatler					
	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Ocak	6.25	5.95	5.95	5.85	5.95	5.5
Şubat	6.14	6.50	5.53	5.89	5.74	5.61
Mart	3.40	3.63	3.68	3.10	3.58	3.15
Nisan	3.90	3.56	3.89	3.42	3.90	3.06
Mayıs	2.89	3.39	3.83	3.00	3.12	2.88
Haziran	2.88	3.32	3.16	2.83	2.72	2.78
Temmuz	1.94	2.56	2.50	1.82	1.33	1.00
Ağustos	2.50	2.94	1.94	1.94	1.56	1.12
Eylül	2.95	2.33	2.58	1.95	1.82	1.69
Ekim	4.83	4.95	4.78	4.00	4.00	3.24
Kasım	4.17	4.53	4.47	4.65	3.88	4.00
Aralık	5.39	5.76	5.24	5.44	5.41	5.31

Saatlik bulutluluk verilerinin kullanımı ile ele alınan coğrafi bölgede yıllık olarak karşılaşılan gök kapalılığının değerlendirmesi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, dijital görseller üzerinden gök taramasının gerçekleştirilmesini konu edinen bir çalışmada, 8 değer üzerinden ölçülen bulutluluk değerlerinin bulut kalınlığı ve geçirgenliği konularını ihmal ettiği belirtilmekte, bu nedenle bu sistem ile gerçekleştirilen gök sınıflandırmasının bilimsel çalışmaları hatalı olarak yönlendirebileceği ifade edilmektedir (Long, Sabburg, Calbó & Pagès, 2006). Öte yandan bulutluluk değerleri 3'er saat aralıklarla ölçüldüğünden saatlik gök modeli sınıflandırmasında bu verilerin her saat için karşılığı olmadığı bilinmektedir.



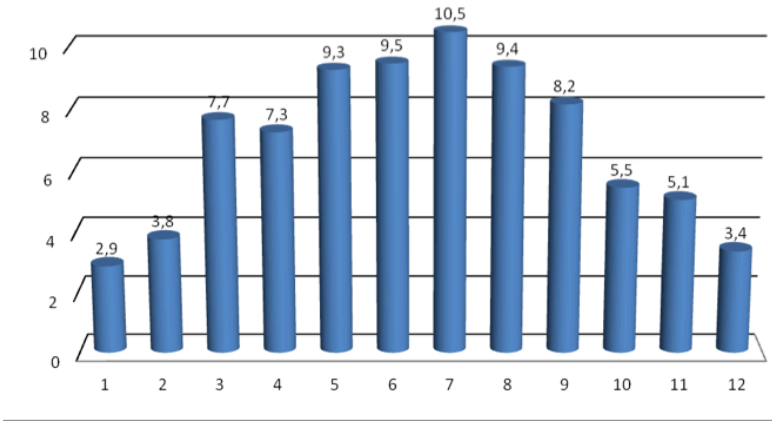
Şekil 3.1 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günlerinde ölçülen ortalama saatlik bulut kapalılık miktarı grafiği.

Güneşlenme süresi, meteorolojik istasyonlarda ölçülebilen bir veri türü olup belirli bir zaman aralığındaki güneşlenme süresinin belirli bir zaman aralığındaki olası güneşlenme süresine oranı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin bir saat (60 dakika) için güneşlenme süresi 0.75 saat (45 dakika) ise güneşlenme süresi 0.75 olarak belirlenmektedir. Bu değerin yüzde olarak ifadesi güneşlenme yüzdesi veya güneşlenme çarpanıdır. Çizelge 3.2'de İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu'nda

1991-2011 yılları arası her ayın 15. günü ölçülen saatlik güneşlenme süresi ortalamasına yer verilmiş, Şekil 3.2'de ise ölçülen güneşlenme süreleri ortalamasının toplam değerlerinin aylara göre değişimi grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3.2 : İstanbul Göztepe Meteoroloji İstasyonu 1991-2011 yılları arası her ayın 15. günü ölçülen saatlik güneşlenme süresi değerleri.

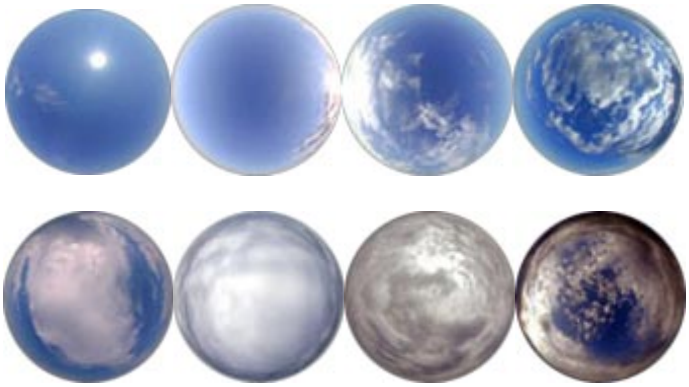
Saatler	Aylar											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
07:00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,70	0,90	0,90	0,80	0,60	0,10	0,00	0,00
08:00	0,20	0,40	0,80	0,70	0,80	0,90	0,90	0,90	0,80	0,60	0,40	0,10
09:00	0,40	0,40	0,90	0,70	0,70	0,90	0,90	0,90	0,70	0,50	0,80	0,30
10:00	0,20	0,50	0,80	0,70	0,80	0,90	0,90	0,80	0,80	0,70	0,40	0,10
11:00	0,40	0,40	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90	0,90	0,90	0,70	0,60	0,50
12:00	0,50	0,50	0,80	0,80	0,90	0,80	0,90	0,90	0,80	0,60	0,60	0,80
13:00	0,40	0,50	0,80	0,80	0,90	0,70	1,00	0,90	0,80	0,60	0,70	0,60
14:00	0,50	0,40	0,70	0,70	0,90	0,80	1,00	0,90	0,80	0,70	0,70	0,60
15:00	0,30	0,50	0,80	0,70	0,90	0,90	1,00	0,90	0,90	0,60	0,70	0,40
16:00	0,00	0,20	0,70	0,70	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,40	0,20	0,00
17:00		0,00	0,20	0,20	0,90	0,80	0,90	0,50	0,30	0,00	0,00	0,00
18:00			0,00	0,00	0,10	0,20	0,30	0,10				
Toplam	2,9	3,8	7,7	7,3	9,3	9,5	10,5	9,4	8,2	5,5	5,1	3,4



Şekil 3.2 : İstanbul'da 1991-2011 yılları arası 07:00-18:00 saatleri arasında ölçülen güneşlenme süreleri ortalamasının toplamı.

Global ışınım modellerinin geliştirilmesinde güneşlenme süresi ve bulutluluk verilerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak bir bölgeye ilişkin gök koşullarının doğru olarak belirlenmesi için sadece gök kapalılığı değerlerinin kullanılması ya da güneşlenme süresinin belirlenmesi yeterli olmamaktadır. Toplam 9 durum için değerlendirme imkanı sunan (0-8 okta aralığı) ve her saat için gerçekleştirilmeyen bulutluluk ölçümlerinde, bulut kalınlığı ve doğal aydınlatma koşulları için son derece önemli olan bulut rengi konuları göz ardı edilmektedir. 2001 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada gök sınıflandırması için güneşlenme süresinin

kullanımının bulutluluk değerlerine oranla daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Gordon, 2001). Gök ışığının nitelik ve niceliği, birçok parametreye bağlıdır. Şekil 3.3'de farklı gök koşullarını ve bulutluluk durumlarını temsil eden görsellere yer verilmiştir. Dış aydınlık düzeyinin ölçülmemesi durumunda bu değer çeşitli gök modelleri uyarınca hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kabul edilen gök modelinin ele alınan bölgenin koşullarını en doğru şekilde temsil etmesi beklenmektedir.



Şekil 3.3 : Farklı gök koşullarını temsil eden görseller (Url-17).

Kapalı gök modeli, 1942 yılında Moon ve Spencer tarafından geliştirilmiştir (Moon & Spencer 1942). Bu yöntem, CIE tarafından kabul edilerek standartlaştırılmıştır. Kapalı gök modeli gökyüzünün tamamıyla bulutlarla kaplı olduğunu, direkt güneş ışığının görülmediğini kabul eder. Bu gök modelinde ufuk parıltısı, zenit parıltısının üçte biri büyüklüğündedir ve yönlere göre değişim dikkate alınmamaktadır. Bu gök modelinde, gök yarı küresi üzerinde gözlenen noktanın parıltısı Eşitlik 3.1 ile belirlenir (CIE Publication, 1955; Küçükdoğu ve diğ, 1995).

$$L(\theta) = L_Z \frac{1+2sin(\theta)}{3} \quad \textbf{(3.1)}$$

L(θ): gök yarı küresi üzerinde gözlenen noktanın parıltısı,

L_Z: zenit parıltısı,

θ: gözlenen nokta ile gözleme noktasını birleştiren doğrunun izdüşümü ile yaptığı yükseklik açısı.

Açık gök modeli, CIE tarafından 1973 yılında kabul edilmiş ve bulutsuz bir gökyüzünün kabulüne dayanan bir yöntemdir. Açık gök modeline ait parıltı dağılımı hesapları, 1967'de Kittler tarafından ortaya atılmıştır. Bu modelde aydınlık düzeyinin homojen olmayan bir dağılımı vardır. CIE'nin açık gök modeline göre gözlenen gök

parçasının parıltısı Eşitllik 3.2 ile belirlenir (CIE Publication 22, 1973; Küçükdoğu ve diğ, 1995).

$$L_{\varepsilon,\alpha}/L_z = \mathrm{f}(\delta)\Phi(\varepsilon)/\mathrm{f}(z_0)\Phi(0^\circ) \quad \textbf{(3.2)}$$

$L_{\varepsilon,\alpha}$: gözlenen gök parçasının parıltısı (zenitten ε açısı ve güneş meridyeninden α azimut açısı kadar uzaklıkta),

f(δ): gözlenen gök parçasının güneşle arasındaki açısal uzaklığın (δ) fonksiyonu,

f(z_0): güneşin zenitten açısal uzaklığının fonksiyonu,

Φ(ε): gözlenen gök parçasının zenitten açısal uzaklığının fonksiyonu,

Φ(0°): 0° açı için bir değişmez değer.

Ortalama gök modelleri, CIE açık gök ve CIE kapalı gök koşulları gibi aşırı durumlar arasındaki diğer gök koşullarını matematiksel olarak ifade etmek hedefiyle geliştirilmiştir. Birçok coğrafi bölgede, farklı tarih ve saatlerde değişken bulutluluk durumları ile karşılaşıldığından açık ve kapalı gök koşulları, ele alınan coğrafi bölgede karşılaşılan gök koşullarını tümüyle temsil edememektedir. Bu doğrultuda farklı matematiksel modellere dayalı olarak çeşitli bilim insanları tarafından ortalama gök modelleri geliştirilmiştir. 1983 yılında yayınlanan Aydınlı Ortalama Gök Modeli, 1985 yılında geliştirilen Nakamura Ortalama Gök Modeli, 1987 yılında geliştirilen Brunger Ortalama Gök Modeli, 1988 yılında geliştirilen Perraudeau Ortalama Gök Modeli ve 1990 yılında geliştirilen Matsuura Ortalama Gök Modeli, ortalama gök modellerine verilebilecek temel örneklerdir (Aydınlı, 1983, Badescu, 2008). Türkiye'de doğal aydınlatma konusunda kapsamlı çalışmaların yapılabilmesi hedefiyle dış aydınlık düzeylerinin tüm şehirler veya benzer iklimsel karakteristiğe sahip bölgeler için belirlenmesi gerekmektedir. 1995 yılında gerçekleştirilen bir araştırma projesinde Türkiye'nin meteorolojik verilerinden yararlanılarak 5 pilot bölge için Sırrı Aydınlı Ortalama Gök Modeli'ne göre dış aydınlık düzeyi belirlenmiştir (Küçükdoğu ve diğ, 1995).

All-sky gök modelleri, göğün aydınlık dağılımının sürekli değişken olma durumu dikkate alınarak geliştirilmiş yaklaşımlardır. 1991 yılında R. Perez tarafından "Perez all weather sky luminance" yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, direkt ışınım, indirekt ışınım, yaygın ışınım ve değişken atmosferik koşulları farklı katsayılar şeklinde dikkate alır ve dış aydınlık düzeyi, Eşitlik 3.3 uyarınca hesaplanır.

$$L(\gamma,\theta) = L_2\left[1 + a\text{EXP}\left(\frac{b}{\sin\gamma}\right)\right][1 + cEXP(\theta d) + e\sin^2\theta] \quad \textbf{(3.3)}$$

Burada, γ ele alınan noktanın zenit açısını, θ ele alınan nokta ile güneşin pozisyonu arasındaki açıyı, a, b, c, d, e ise çeşitli katsayıları ifade etmektedir. Bu katsayıların (a=1, b=-0.32, c=10.989, d=-3 ve e=0.4945 olarak seçilmesi durumunda hesaplanan dış aydınlık düzeyi, CIE Açık Gök Modeli ile aynı sonuçları vermektedir. Perez gök modelinin temel özelliği, açık gök ve kapalı gök arasında farklı gök koşulları dikkate alan 8 gök modelini hesaplama olanağı sunmasıdır. Böylelikle ele alınan bölge için en gerçekçi durum dikkate alınmaktadır (Perez, Seals & Michalsky, 1993).

CIE Standart Genel Gök Modeli, 2003 yılında ortaya atılmış bir gök modelidir. Bu yöntemin oluşturulmasındaki amaç, gök aydınlık dağılımının hesaplanması ve sınıflandırılmasına yönelik uluslararası bir taban oluşturmaktır. Bu model, CIE açık ve CIE kapalı gök modellerini temel almaktadır. CIE Standart Genel Gök Modeli'nde 15 standart gök tipi ve ilgili parametre değerleri bulunmakta olup bu bilgiler Çizelge 3.3'de verilmiştir (CIE Publication, 2003).

Çizelge 3.3 : CIE Standart Genel Gök Modeli için standart parametreler (CIE Publication, 2003).

Tip	Gradiation	İndikatriks	a	b	c	d	e	Açıklama
1	I	1	4	-0,7	0	-1	0	CIE Standart kapalı gök
2	I	2	4	-0.7	2	-1.5	0.15	Kapalı gök, güneşin çevre bölgesi çok düşük parlaklığa sahip
3	II	1	1.1	-0.8	0	-1	0	Kapalı gök, güneşin çevre bölgesi orta derece parlaklığa sahip
4	II	2	1.1	-0.8	2	-1.5	0.15	Kapalı gök, güneşin çevre bölgesi daha yüksek parlaklık geçişine sahip
5	III	1	0	-1	0	-1	0	Tekdüze gök
6	III	2	0	-1	2	-1.5	0.15	Parçalı bulutlu gök, güneşin çevre bölgesi düşük parlaklığa sahip
7	III	3	0	-1	5	-2.5	0.3	Parçalı bulutlu gök, güneşin çevre bölgesi daha parlak
8	III	4	0	-1	10	-3	0.45	Parçalı bulutlu gök, güneş tacı (solar corona) görünür şekilde
9	IV	2	-1	-0.55	2	-1.5	0.15	Parçalı bulutlu gök, güneş engellenmiş şekilde
10	IV	3	-1	-0.55	5	-2.5	0.3	Parçalı bulutlu gök, güneşin çevre bölgesi daha parlak
11	IV	4	-1	-0.55	10	-3	0.45	Mavi-beyaz renkli gök, güneş tacı belirgin
12	V	4	-1	-0.32	10	-3	0.45	CIE Standard açık gök, düşük bulanığa sahip
13	V	5	-1	-0.32	16	-3	0.3	CIE Standard açık gök, kirli atmosferik koşullara sahip
14	VI	5	-1	-0.15	16	-3	0.3	Bulutsuz bulanıklık, güneş tacı (solar corona) görünür şekilde
15	VI	6	-1	-0.15	24	-2.8	0.15	Mavi- beyaz gök, geniş güneş tacı görünür

Bilindiği gibi dış aydınlık düzeyi, ele alınan coğrafi bölgenin iklimsel ve coğrafi koşullarına, atmosferin bulanıklılığına, ele alınan bölgede karşılaşılan gök koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermekte ve bu değer, ölçüm ve hesaplama

ile elde edilebilmektedir. Türkiye'de meteoroloji istasyonlarında dış aydınlık düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmediğinden incelenen bir bölgedeki dış aydınlık düzeyinin hesaplamalara dayalı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye'deki meteoroloji istasyonlarında saatlik toplam güneş ışınımı verisi ölçülmekte ve bu veriler meteoroloji istasyonlarından temin edilebilmektedir. Amerika Enerji Departmanı (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy-EERE) da çeşitli programlarda kullanılmak üzere dünyadaki birtakım bölge ve şehirlere ilişkin olarak hazırlanmış iklim verilerini derlemiş ve bu verileri kullanıcılara sunmuştur (Url-18). Ancak bu veriler Türkiye için günümüzde İstanbul, Ankara ve İzmir meteoroloji istasyonlarındaki ölçümlere dayanmakta, diğer şehirlere ait iklim dosyaları ilgili veri tabanında bulunmamaktadır.

Dış aydınlık düzeyi ölçümünün yapılmadığı bölgeler için ilgili saatlik güneş ışınımı verilerinin gök tipine ve buna bağlı olarak dış aydınlık düzeyi verilerine dönüştürülmesi mümkündür. Gök tipinin elde edilmesinde ışınım verilerinin kullanıldığı yaklaşımların ilki, saatlik yaygın güneş ışınımının saatlik global güneş ışınımına oranı olarak tanımlanan gök oranı (sky ratio) yaklaşımıdır. Bu oran sonucu elde edilen verilerinin değer aralıklarına göre ilgili gök sınıflandırması açık kapalı ve ortalama gök olacak şekilde gerçekleştirilebilmekte ve Eşitlik 3.4 uyarınca hesaplanmaktadır (IESNA, 2000).

$$\text{Gök Oranı} = \frac{G_y}{G_t} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Burada,

G_y : saatlik yaygın güneş ışınımı (W/m^2)

G_t : saatlik toplam güneş ışınımı (W/m^2)'dır.

Buna göre; Gök Oranı ≤ 0.3 ise açık, $0.3 <$ Gök Oranı < 0.8 ise ortalama, $0.8 \leq$ Gök Oranı ise kapalı gök olarak ilgili sınıflandırma gerçekleştirilmektedir.

Gök sınıflandırması için kullanılan diğer yöntem ise Perez berraklık indisine göre gerçekleştirilen sınıflandırmadır. Perez berraklık İndisi, saatlik yaygın güneş ışınımı, saatlik direkt güneş ışınımı ve saatlik zenit açısı verileri kullanılarak Eşitlik 3.5 uyarınca hesaplanmaktadır (Perez, Seals & Michalsky, 1993).

$$\varepsilon = \frac{[(G_y + G_d)/G_y + 1.041Z^3]}{[1 + 1.041Z^3]} \quad \textbf{(3.5)}$$

Burada,

ε : Perez berraklık indisi,

G_y: saatlik yaygın güneş ışınımı (W/m^2),

G_d: saatlik direkt güneş ışınımı (W/m^2),

Z: saatlik zenit açısı (rad)'dır.

Buna göre; ε >=4.5 ise açık, 1.23< ε <4.5 ise ortalama, ε ≤1.23 ise kapalı gök olarak ilgili sınıflandırma gerçekleştirilmektedir.

Gök tiplerine ilişkin sınıflandırma çalışmalarına literatürde özellikle dış aydınlık düzeyine ilişkin periyodik ölçümlerin yapılmadığı coğrafi bölgeler için rastlanmaktadır. İlgili bölgede sıklıkla karşılaşılan gök modelleri çeşitli yöntemlerle belirlenerek doğal aydınlatma için gerekli analizler, karşılaşılan gök modeli uyarınca hesaplanarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmalara verilebilecek örnekler şu şekildedir:

- Tayland'da 2002 ve 2007 yıllarında gerçekleşen iki farklı çalışmada gök oranı ve Perez berraklık indisi sınıflandırma yöntemleri kullanılarak karşılaşılan gök modelleri tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda gök oranının aldığı aralıklara göre açık, kapalı ve ortalama gök koşullarının oluşumu ele alınan bölge için saptanmıştır (Pattanasethanon, Lertsatitthanakorn, Atthajariyakul & Soponronnarit, 2007, Chirarattananon, Chaiwiwatworakul & Pattanasethanon, 2002).
- 2002 yılında Yunanistan ve Slovakya'da gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı iklimsel özelliklere sahip iki şehir için gök sınıflandırması bir kış mevsimi boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kış koşullarında Bratislava ve Atina şehirlerinde karşılaşılan gök koşulları, 5 dakikalık aralıklarla ölçülen global ve yaygın ışınım verileri ve zenit parıltısı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir (Bartzokas, Darula, Kambezidis, Kittler, 2003).
- Hong Kong'da Li ve ekibi tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada CIE Standart Genel Gök Modeli'nde tanımlanan 15 adet gök modelinin ele alınan

bölge için karşılaşılma sıklıkları belirlenmiş ve yıllık olarak analiz edilmiştir (Li, Lau & Lam, 2003).

- Endonezya'da 2004 yılındaki bir çalışmada tropik iklimsel özelliklere sahip Makassar şehri için açık, kapalı ve ortalama gök koşullarının gerçekleşme sıklıklarının hesaplanmasında iki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler, saatlik yaygın güneş ışınımının saatlik global güneş ışınımına oranı olarak tanımlanan gök oranı yöntemi ile güneşlenme süresinin güneşlenme olasılığı olan süreye oranı olan "bağıl güneşlenme süresi" yöntemleridir. Çalışma kapsamında Hasanuddin Üniversitesi IDMP İstasyonu'nda 1995-2000 yılları arasında ölçülen global aydınlık düzeyi, yaygın aydınlık düzeyi, global ışınım, yaygın ışınım, zenit parıltısı değerleri kullanılarak her iki yöntem doğrultusunda karşılaşılan açık, kapalı ve ortalama gök koşullarının yüzdeleri belirlenmiştir (Rahim,Baharuddin & Mulyadi, 2004).

- 2005 yılında CIE Standart Genel Gök Modeli'nin pratik bir şekilde uygulanmasını sağlamak amacıyla Kittler R. ve Darula S. tarafından bir yaklaşım geliştirilerek güneşin yükseliş açısı, azimut açısı, hesap noktası ile ilgili belirleyici açılar ve 15 farklı gök tipine ilişkin standart katsayılar bir matematiksel formülde uygulanarak dış aydınlık düzeylerinin farklı gök tipleri için belirlenmesi sağlanmıştır (Kittler & Darula, 2005).

- 2006 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da bu sınıflandırma yöntemi ile Tayland için ele alınan bölgede karşılaşılan gök modelleri yıllık olarak tespit edilmiştir (Chirarattananon, Rukkwansuk, Chaiwiwatworakul & Pakdeepol, 2006).
- Güney Kore'de bulunan Kyung Hee Üniversitesi'nde 2012'de gerçekleştirilen bir çalışmada gök oranı ve Perez berraklık indisi sınıflandırma yöntemlerinin kullanımı ile gök koşulları tespit edilmiştir (Kon & Kim, 2012).
- Malezya'da 2006 yılında yapılan bir çalışmada, dış aydınlık düzeyi ölçümünün yapılmadığı Subang şehri için saatlik global ışınım verileri kullanılarak dış aydınlık düzeyleri elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, ölçülen ve hesaplanan global ışınım verilerinin karşılaştırılması ve CIE Standart Genel Gök Modeli'nde tanımlanan 15 adet gök modelinin karşılaşılma sıklığının belirlenmesidir. Çalışmada 21 yıllık meteorolojik verilerin derlenmesi ile elde edilmiş tipik referans yıla ait global ışınım değerleri ile gök kapalılığına bağlı olarak

hesaplanmış direkt ve yaygın ışınım değerleri veri olarak kullanılmıştır. CIE Standart Genel Gök Modeli uyarınca dış aydınlık düzeyleri hesaplanmış ve hesaplanan değerler tipik referans yıl sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Shahriar & Mohit, 2006).

- 2010 yılında Çin'de gerçekleştirilen bir çalışmada CIE Standart Genel Gök Modeli'ne dayalı 'dinamik gök tipi tanıma yöntemi' geliştirilerek yöntemin uygulanabilirliği bir deneysel çalışma ile test edilmiştir. Bu çalışma, ele alınan coğrafi bölgede karşılaşılan gök modellerin tespitine ilişkin detaylı verilerin elde edilebilmesi açısından önemlidir (Xiao, Zhao, Xiao, 2010).
- Literatürde bir bölgede karşılaşılan gök modeli/modellerinin belirlenebilmesi için gökyüzünün gök tarayıcıları ile (skyscanner) taranması ve gök taraması ile elde edilen verilerin dijital fotoğraflanması ile kayıt altına alınarak gök aydınlığının yıllık haritalarının çıkartılması ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmektedir (Roy ve diğ. 1998, Spasojevic & Mahdavi, 2005, Mahdavi ve diğ, 2006).
- 2000 yılında Fransa'da yapılan bir çalışmada Avrupa Güneş Işınımı Atlası (European Solar Radiation Atlas) çerçevesinde geliştirilen bir açık gök modeli tanıtılmaktadır. Bu gök modelinde uydu görüntüleri üzerinden zemin seviyesindeki güneş ışınımı tahmini Heliostat yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada önerilen yeni açık gök modeli, Heliostat yöntemini temel alan diğer açık gök modelleri ile karşılaştırılmış, bu karşılaştırmalar Linke Bulanıklılık Çarpanı'nın farklı aralıkları ve farklı güneş yükseklikleri için gerçekleştirilmiştir (Rigollier, Bauer & Wald, 2000). Uydu görüntüleri üzerinden güneş ışınımı tahminlerinin yapıldığı bu tür çalışmalar kullanılarak dış aydınlık düzeyinin de elde edildiği bilinmektedir.
- Günümüzde gelişen teknoloji yardımı ile bulutlara ait verilerin zemin seviyesinden ölçülmesi ve bu verilerin derlenmesi mümkündür. Zemin tabanlı bulut taraması verileri yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı ve doğal aydınlatma miktarını doğrudan etkilediği için bu tür çalışmalar dış aydınlık düzeyinin doğru olarak belirlenebilmesi için önemlidir. Uydudan yapılan bulut tahminlerinin doğruluğunun saptanabilmesi için de bu tür çalışmalara başvurulmaktadır (Feister, Shields, Karr, Johnson, Dehne &Woldt 2000).

3.2 Binalarda Günışığı Performansının Değerlendirilmesine İlişkin Yöntemlerin Tanıtılması

Doğal aydınlatma performansının bir bina veya hacimde değerlendirilebilmesi için ele alınacak hacmin yıllık doğal aydınlatma analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla incelenen hacmin tüm yıl boyunca gün saatleri içerisinde doğal aydınlatma hesaplamasının yapılması sağlanmalıdır. Bu bölümde iç mekanlarda günışığı performansını belirlemek üzere geliştirilmiş yaklaşımlar tanıtılmaktadır.

3.2.1 Günışığı faktörü

Günışığı Faktörü, günışığına bağlı değerlendirme yöntemlerinin arasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ilk olarak 1900'lü yıllarda İngiltere'de ortaya atılmıştır. Günışığı Faktörü; hacimde çalışma düzlemi üzerinde oluşan günışığı aydınlığının, engellenmemiş CIE Kapalı Göğü altında eş zamanlı olarak dış yatay düzlemde oluşan aydınlığa oranıdır. Bu değer, Eşitlik 3.6 ile hesaplanır.

$$GF = GB + DYB + IYB\ (\%) \qquad \textbf{(3.6)}$$

GF: Günışığı faktörü, bir hacmin belirli bir noktasındaki günışığı aydınlığının engellenmemiş yarım gök kubbeden gelen dış yatay aydınlık düzeyine oranıdır.

GB: Gök bileşeni, ele alınan herhangi bir düzlem üzerinde yer alan herhangi bir referans noktasında gökten gelen dolaysız ışık nedeniyle oluşan günışığı aydınlığının, dış yatay düzlem üzerinde engellenmemiş yarım gök kubbeden gelen günışığı nedeniyle oluşan aydınlığa oranı (%)

DYB: Dış yansımış bileşen, referans noktasında oluşan günışığı aydınlığında dış yüzeylere ve engellere çarptıktan sonra yansıyarak referans noktasını etkileyen dolaylı günışığının katkısı (%)

İYB: İç yansımış bileşen, referans noktasında oluşan günışığı aydınlığında iç yüzeylere çarparak yansıdıktan sonra referans noktasını etkileyen dolaylı günışığının katkısı (%)

Bu yöntemde direkt güneş ışığı göz önüne alınmaz. Bu değer, hacim boyutları, pencere boyutları, pencere doğramasına ilişkin özellikler, cam türü, dış engellerin boyut, konum ve malzemelerine ilişkin özellikler, hacim iç yüzeylerinin ışık

yansıtma çarpanları gibi parametrelere bağlı olarak belirlenir. Günışığı faktöründe sabit bir oran tariflendiği için bu yöntem kullanılarak doğal aydınlatmanın yıl içerisindeki değişkenliği ile ilgili bir değer elde edilmemektedir. Bu yöntemde CIE Kapalı Göğü altında eş zamanlı olarak dış yatay düzlemde oluşan aydınlığın yüzdesi esas alındığından yönlere bağlı olarak elde edilecek farklılıklar göz ardı edilmektedir.

3.2.2 Günışığı katsayıları

Günışığı katsayıları, gökyüzünün farklı parçalara bölünmesi ve her bir gök parçasının aydınlık etkisinin, hedef noktaya olan etkisinin belirlenmesine dayanmaktadır (Tregenza, Waters, 1983). Örneğin x hedef noktası için, $DC_{\alpha}\ (x)$ günışığı katsayısı değeri, Eşitlik 3.7 ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.4'de günışığı katsayılarının hesaplanmasını ifade eden bir görsele yer verilmiştir.

$$D_{\alpha} = \frac{\Delta E_{\alpha}(x)}{L_{\alpha}\Delta S_{\alpha}} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Burada:

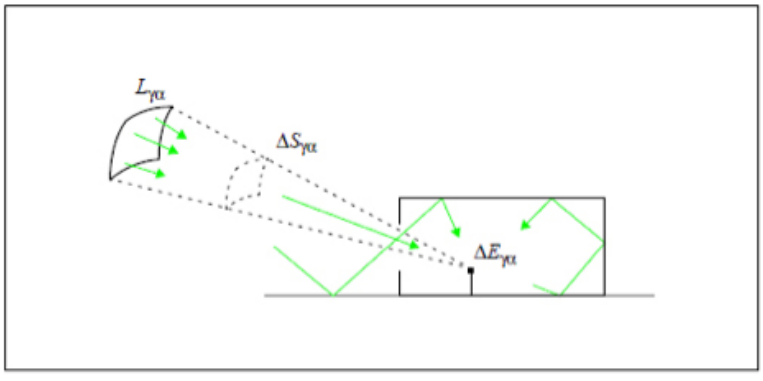
x: hedef sensör noktası,

S_{α}: gök parçası,

ΔS_{α}: S_{α}'nın açısal boyutu,

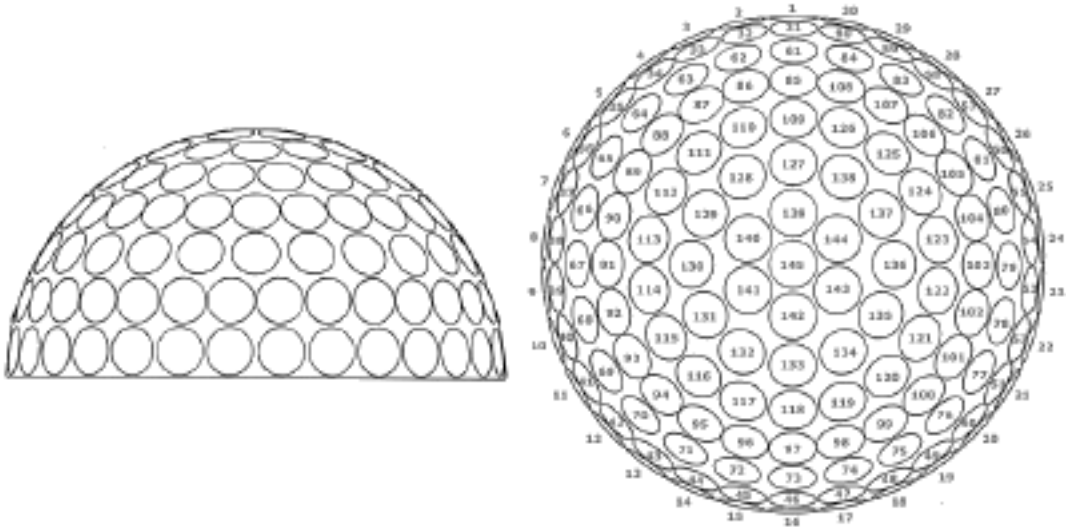
$E_{\alpha}(x)$: x noktasında S_{α}'ya bağlı oluşan aydınlık (lux),

L_{α}: S_{α}'nın parıltısı (cd/m^2)'dır.



Şekil 3.4 : Gök parçasının hedef noktaya olan aydınlık etkisinin belirlenmesi (Tregenza & Waters, 1983).

Günışığı Katsayısı yöntemine göre hedef nokta üzerindeki toplam aydınlık *E(x)*, tüm gök parçalarının etkisinin dikkate alınması ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.5'de Günışığı Katsayısı yöntemine göre 145 adet gök parçasına ayrılmış gök kubbeye ilişkin bir görsele yer verilmiştir (Url-19). 2006'da Hong Kong'da gerçekleştirilen bir çalışmada, günışığı katsayısı yönteminin iç mekanlardaki aydınlık düzeyini dış aydınlık düzeyine bağlı olarak belirleyebilmek için kullanılan efektif bir yöntem olduğu belirtilerek bu yöntemin pratik şekilde uygulanabilmesi için bir matematiksel model ve nomogram yöntemi tanıtılmıştır (Li, Cheung & Lau, 2006). 2007 yılında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, Günışığı Katsayısı yönteminin iç mekanlarda doğal aydınlatma miktarının belirlenmesi ve doğal aydınlatmaya bağlı değerlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için Günışığı Faktörü Yöntemi'ne göre daha gerçekçi sonuçlar sunduğu belirlenmiştir (Kittler, 2007).



Şekil 3.5 : Günışığı katsayılarının hesaplanmasında gök kubbenin ifadesi (Url-19).

3.2.3 Günışığı otonomisi

Günışığı Otonomisi, günışığı alan mekanlarda yıllık olarak günışığı miktarının değerlendirilmesi amacıyla 1989 yılında İsviçre'de yer alan "Association Suisse des Electriciens" derneği tarafından ortaya atılmıştır. Bu yaklaşım, bir yıl içinde bir hacimde istenen aydınlık düzeyinin yalnızca doğal aydınlatma ile sağlandığı saatlerin toplamının, yıl içindeki toplam kullanım saatlerine oranı olarak nitelendirilmektedir. Günışığı otonomisi yaklaşımı 2001-2004 yılları arasında Christoph Reinhart tarafından, ele alınan coğrafi bölgenin meteorolojik verilerinin de dikkate alınması açısından yeniden yorumlanmıştır (Reinhart, Mardaljevic & Rogers, 2006).

Yaklaşımda hacim içerisinde tüm yıl boyunca oluşan doğal aydınlatma koşullarının dikkate alınması gerekmekte ve bu durum da dinamik günışığı analizlerini beraberinde getirmektedir.

3.2.4 Sürekli günışığı otonomisi

Sürekli Günışığı Otonomisi yaklaşımı, Zach Rogers tarafından 2006 yılında ortaya atılmıştır. Temel olarak Günışığı Otonomisi ile aynı prensibe dayanıyor olmakla birlikte bu yaklaşımın farkı, puanlama biçimidir. Bu yaklaşımda, doğal aydınlatma ile iç mekanda istenen aydınlık düzeyinin sağlanma sürekliliği ve doğal aydınlatma miktarının istenen aydınlık düzeyine olan yakınlığı dikkate alınarak bir puanlama sistemi geliştirilmiştir (Reinhart, Mardaljevic & Rogers, 2006).

3.2.5 Faydalı günışığı aydınlığı

Faydalı Günışığı Aydınlığı, Mardaljevic ve Nabil tarafından 2005 yılında Günışığı Otonomisi Yöntemi'ne bağlı olarak ortaya atılmış bir değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemde, hacimlerde oluşan günışığının "faydalı" olma aralıkları, dünyada bu konuda yapılmış çeşitli çalışmalara dayandırılarak şu şekilde gruplandırılmıştır:

- yetersiz günışığı aydınlığı (<100 lux),
- faydalı günışığı aydınlığı (100-2000 lux),
- istenen sınırları aşan günışığı aydınlığı (>2000 lux) (Nabil & Mardaljevic, 2005).

3.2.6 İklime bağlı günışığı modellemesi

İklime bağlı günışığı modellemesi, 2006 yılında Mardaljevic tarafından ortaya atılmıştır. Bu yöntem, standart yıllık meteorolojik veriler yardımı ile güneş ve gök koşullarına ilişkin verilerin elde edilmesine ve bu verilere dayalı olarak doğal aydınlatma hesaplamalarının gerçekleştirilmesine dayanmaktadır. İklime bağlı günışığı modellemesi, incelenecek binanın coğrafi konumuna, günışığı açıklıklarının yönüne, mekan geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlı olup coğrafi koşullara ilişkin ölçüme dayalı yıllık verileri dikkate almaktadır (Mardalevic, 2008). Bu yöntem ile yatay düzlemde elde edilen Perez All- Weather gök modeline dayalı ortalama saatlik dış aydınlık düzeyleri dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmektedir.

3.3 Günışığı Performansının Belirlenmesinde Aydınlatma Simülasyon Programlarının Kullanımı

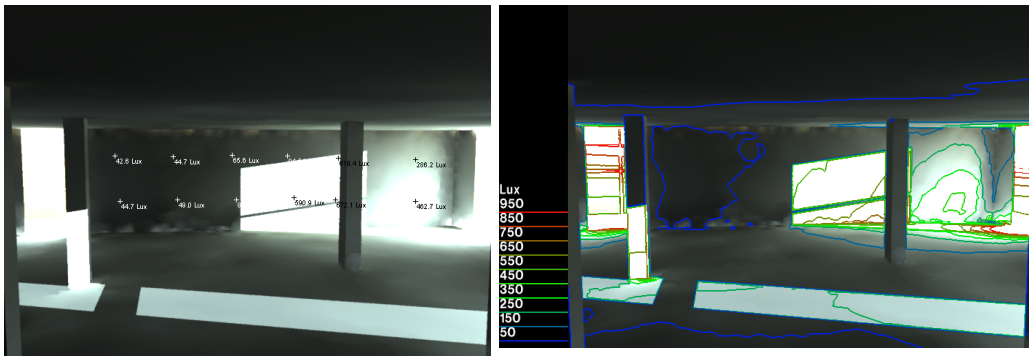
Tasarlanan doğal aydınlatma sistemlerinin etkinliğinin belirlenebilmesi amacıyla günümüzde çeşitli aydınlatma simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu programların binaların tasarım aşamasından itibaren kullanılmasıyla iç mekanda oluşacak günlük veya mevsimsel aydınlık düzeyi değerlerinin saptanması, doğal aydınlatmaya bağlı olarak yapma aydınlatma sistemlerinin tasarlanması, mekanlarda aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi, farklı gölgeleme stratejilerinin kullanımı ile kamaşma problemlerinin ortadan kaldırılması ve görsel konfor koşullarının gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Günümüzde mimari aydınlatma tasarımı konusunda simülasyon programlarının kullanımı sayesinde mimari projenin ilk aşamasından itibaren aydınlatma tasarımına ilişkin doğru kararların alınması ve günışığının mimaride uygun şekilde kullanılması sağlanmaktadır.

Aydınlatma enerjisi performansı; binadaki günışığı kullanımı potansiyeli ve yapma aydınlatma sistemlerinin özellikleri ile belirlenmektedir. Fiziksel tasarım parametrelerinin her biri, binanın aydınlatma tasarımına doğrudan etki eden faktörlerdir. Günümüzde aydınlatma tasarımı programları aracılığıyla bu tür verilerin simülasyonu ile elde edilen sonuçlara yönelik olarak tasarım ön kararlarının optimize edilmesi mümkün olmaktadır. Radiance, Daysim, Ecotect, Relux, Dialux gibi çeşitli simülasyon programları, kullanıcılarına aydınlatma tasarımına yönelik aydınlık düzeyi ve parıltı dağılımın hesaplanması, güneş kontrolü elemanlarının etkisinin belirlenmesi, aydınlatma enerjisi tüketiminin hesaplanması gibi farklı alanlarda veriler sunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, dünyada yaygın olarak kullanılan çeşitli doğal aydınlatma simülasyon programları tanıtılmaktadır.

RADIANCE programı, Kalifornia Lawrence Berkeley Labratuvarları tarafından geliştirilmiş olup bu programının hedefleri, aydınlık düzeyinin hesaplanması, yapma ve doğal aydınlatma etkisinin ayrı ayrı ele alınması, karmaşık yapı geometrileri ve CAD uzantılı mimari çizim sistemleri ile uyumlu olarak çalışabilmesi olarak tanımlanmaktadır (Ward, 1994). RADIANCE simülasyon programı, gensky gök modeli derleyicisi üzerinden altı farklı gök modeli seçeneğinin kullanımına olanak sağlamaktadır. Radiance Programı'na veri girişi gerçekleştirilirken, hesaplamanın yapılacağı mekanın fiziksel özelliklerini en uygun şekilde yansıtan bir modelleme

çalışması gerçekleştirilmeli, malzemeler gerçeğe uygun olarak seçilmeli ve dış çevre ile dış engellere ilişkin özellikler doğru olarak tanımlanmalıdır. Bu amaçla Radiance programı malzeme ve tefriş kütüphanesinden yararlanılabilmektedir. Bu program, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE 171:2006: Test Cases to assess the Accuracy of Lighting Computer Programs "Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Belirlemeye Yönelik Testler" adlı yayın kullanılarak 2008 yılında akredite olmuş bir program olup programın çıktıları çeşitli testlerden geçirilmiştir (CIE 171:2006, 2006). Bu akreditasyon çalışması, Avusturya'daki Innsbruck Üniversitesi Matematik Bölümü çalışanları ve Bartenbach LichtLabor Aydınlatma Laboratuvarı ortaklığında gerçekleştirilmiştir (Geisler-Moroder & Dür, 2008).

Radiance programı, doğal aydınlatma simülasyonu alanında çalışmalarını yürüten aydınlatma tasarımcıları ve bilim adamları tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. 1995 yılında gerçekleştirilen bir ölçüm tabanlı çalışmada bu program ile İngiltere'de bulunan BRE ofis binası modellenerek iç mekanda elde edilen günışığı miktarı farklı tarih-saatler için hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen çıktıların ölçüm sonuçları ile tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Mardaljevic, 1995). Radiance programının kullanıldığı bir diğer çalışmada Almanya-Stuttgart'ta bulunan bir müze binası için gerçekleştirilen doğal aydınlatma simülasyonları ortalama gök modeli kullanılarak farklı tarih ve saatlerde gerçekleştirilmiş ve elde edilen çıktılar iç mekandaki görsel konfor koşullarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada günışığının iç mekandaki dağılımını ifade eden elde çıktı örnekleri Şekil 3.6'de yer almaktadır (Şener, 2009).



Şekil 3.6 : Günışığının iç mekandaki dağılımını ifade eden RADIANCE çıktı örneği (Şener, 2009).

2002 yılında bu program kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada Finlandiya için uydu kaynaklı 'Sattelight dış aydınlık dağılımı ölçümleri' ile 'CIE Standart Genel

Gök Modeli' tiplerinin eşleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 13 bölge için Sattelight uydu istasyonlarında ölçülen dış aydınlık düzeyleri CIE Standart gök modeli tipleri ile karşılaştırılmış ve bu çalışmada ilgili doğal aydınlatma hesaplamaları Radiance programı ile gerçekleştirilmiştir (Norvasuo, 2002).

2006 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada Radiance programı, farklı gök koşullarının bu program yardımı ile hesaplanabilmesi nedeniyle tercih edilmiştir (Li & Cheung, 2006). Radiance programı aynı zamanda ileri günışığı sistemlerinin de modellenmesinin mümkün olduğu bir algoritmaya sahiptir. 2002 yılında Amerika'da Queensland Teknoloji Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir doktora çalışmasında ofis binalarında mikro ölçekte tasarlanmış ışık kılavuz sistemlerinin modellenmesi çalışmasında Radiance programına başvurulmuş ve ele alınan modele ilişkin sonuçlar gerçekleştirilen ölçüm çalışmaları ile karşılaştırılarak, hata oranının %10'dan az olduğu belirlenmiştir (Greenup, 2002).

Evalglare Programı, Radiance tabanlı olarak geliştirilmiş olup mekanlarda oluşabilecek kamaşmanın belirlenmesi ve denetlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Url-20). Radiance programı ile elde edilmiş mekan görselleştirmeleri bu programda veri olarak kullanılarak ilgili görseller üzerinde olası kamaşma bölgeleri belirlenir.

Bu programda, ele alınan görselin piksellerine ayrıştırılması tekniği ile her bir pikselin eşleştiği parıltı değerine bağlı olarak Günışığına bağlı Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability), Günışığına bağlı Kamaşma İndisi (DGI), UGR (Unified Glare Rating) analizi ve CIE Kamaşma İndisi (CIE Glare Index) hesaplamaları gerçekleştirilir.

Daysim programı, Radiance tabanlı olarak geliştirilmiş olup binaların aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin saptanmasına yönelik olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalarda kullanıcıların mekanı kullanım şekilleri, yapma aydınlatma sistemi ve gölgeleme elemanlarını kontrol etme biçimleri dikkate alınır. İç mekanda görsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için istenen aydınlık düzeyi belirtilerek hesaplamalar bu değer dikkate alınarak gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen simülasyonlara ilişkin sonuçlar, raporlar olarak sunulmakta, metrekare başına düşen aydınlatma enerjisi miktarı, sensör noktalarında elde edilen günışığı faktörü, günışığı otonomisi ve yıllık ışığa maruz kalma miktarı belirlenebilmektedir.

Binalarda aydınlatma enerjisi hesaplamalarında kullanıcıların davranışlarının tahmin edilmesi ve aydınlatma enerjisinin gerçeğe yakın olarak hesaplanabilmesi hedefiyle çeşitli kullanıcı davranış modelleri aydınlatma simülasyon programlarına veri olarak eklenmiştir (Şener & Uyan, 2011). Daysim programı, kullanıcı davranışlarının dikkate alındığı 'Lightswitch' adlı bir hesap algoritmasına sahiptir. Lightswitch ile kullanıcı profilleri oluşturulması ve aydınlatma enerjisi hesaplamalarının bu profillere göre gerçekleştirilmesi mümkündür.

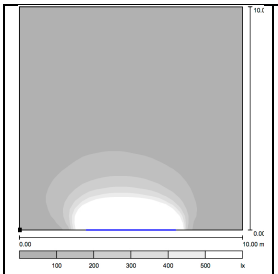
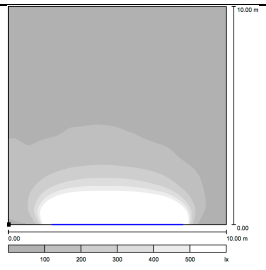
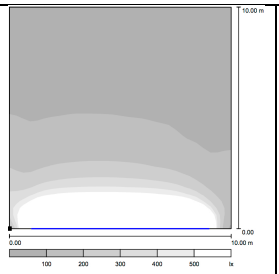
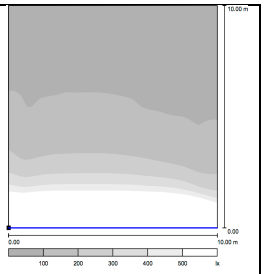
Bu programda veri olarak kullanılan ve aydınlatma enerjisi değerlerini doğrudan etkileyen kullanıcı davranışları, konu ile ilgili gerçekleştirilen çeşitli anket tabanlı çalışmaların sonuçlarından yararlanarak alınmıştır (Reinhart, 2006). Lightswitch modelinde kullanıcıların mekandaki aydınlatma sistemlerine (yapma aydınlatma sistemi, güneş kontrol elemanları) müdahale ettikleri dikkate alınmış ve kullanıcılar yapma aydınlatma elemanlarını kontrol etme ve güneş kontrolü elemanlarını kullanma biçimlerine göre aktif ve pasif olarak kategorize edilmiştir (Reinhart & Wienold, 2011).

Ecotect programı, bina tasarım aşamasından itibaren yapının aydınlatma, akustik, gölge analizi, termal analiz gibi hesaplamalarını gerçekleştirebilmek amacıyla Dr. Andrew Marsh tarafından tasarlanmıştır (Url-21). Bu programda aydınlatmaya yönelik olarak günışığı faktörü hesabı, gölge konisi hesabı ve Radiance ve Daysim programları ile entegre olacak şekilde aydınlık düzeyi ve aydınlatma enerjisi hesapları gerçekleştirilebilmektedir. Ecotect programında yıllık ve günlük güneş diyagramlarından yararlanılarak iç mekana alınan direkt güneş ışığının mekandaki gölge etkisini saptamak mümkündür. Bu özellik sayesinde dış engellerin ve komşu binaların, yol açacağı gölgeleme durumları günlük ve saatlik olarak öngörülebilmektedir. Bu program, binalarda güneş kontrolü amacıyla gölgeleme araçları tasarlamaya yönelik özelliklere sahip olup iç mekanda direkt güneş ışığının etkin olacağı zaman aralıklarının belirlenmesiyle uygun güneş kontrolü araçlarının tasarlanabilmesi ve kamaşma problemlerinin önlenmesi mümkündür.

Dialux ve Relux programları, doğal ve yapma aydınlatma tasarımı için kullanılabilecek simülasyon araçlarındandır. Bu programlar ile farklı malzeme ve aydınlatma firmalarına ait aydınlatma elemanlarının kütüphaneleri sayesinde aydınlatma uygulamalarının geliştirilip görselleştirilmesi ve aydınlatma tasarımlarına ilişkin sonuçların elde edilmesi mümkündür. Bu programlarda aydınlatmanın niteliği

ve niceliği ile ilgili olarak sayısal ve görsel çıktılar elde edilebilmektedir. Ayrıca dış engellerin dikkate alınması ile iç mekanda elde edilebilecek aydınlık düzeyinin belirlenmesi olanaklıdır.

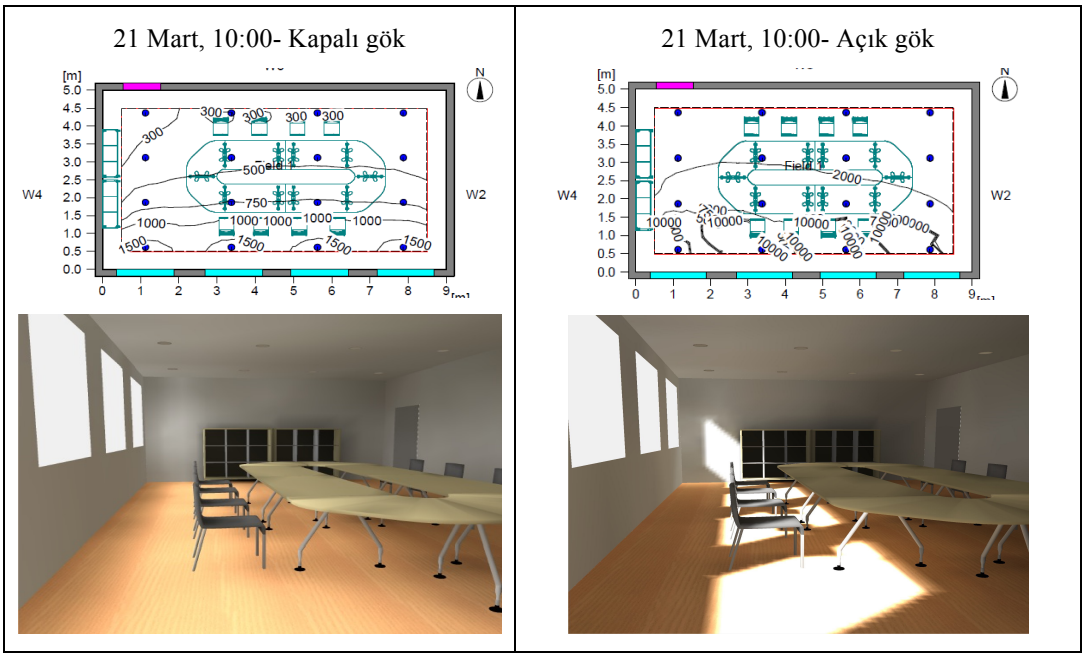
Dialux programı, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE 171:2006: Test Cases to assess the Accuracy of Lighting Computer Programs "Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Belirlemeye Yönelik Testler" adlı yayın uyarınca akredite edilmiştir. Bu programda günışığına dayalı aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken, mekanların yer aldığı coğrafi konum, enlem ve boylamı, yapının yönlenişi bilgileri programa veri olarak girilebilmekte, ülkelerin kullanmış oldukları zaman dilimleri seçilebilmekte ve yaz saati uygulamasının zaman aralıkları belirtilebilmektedir. Programda CIE açık, CIE kapalı ve ortalama gök modeli olmak üzere üç gök modeli seçeneği bulunmaktadır. Pencerelerin programa tanıtılmasında saydam bileşenlerin optik özellikleri, iç mekanın kullanım durumu ve işlevine bağlı kirlilik katsayıları ve çerçeve malzemesine, sabit- hareketli olma durumlarına bağlı çerçeve katsayıları hesaplamalara dahil edilebilmektedir (Url-22). Şekil 3.7'de Dialux programı kullanılarak simüle edilmiş bir hacim için farklı saydamlık oranı kullanılması durumlarına ilişkin elde edilen çıktılar örnek olarak verilmiştir.

			
%20 Saydamlık oranı (15 Mart, 11:00, ortalama gök, E_{ort}: 162 lux)	%30 Saydamlık oranı (15 Mart, 11:00, ortalama gök, İstanbul koşulları, E_{ort}: 243 lux)	%40 Saydamlık oranı (15 Mart, 11:00, ortalama gök, İstanbul koşulları, E_{ort}: 321 lux)	%50 Saydamlık oranı (15 Mart, 11:00, ortalama gök, E_{ort}: 391 lux)

Şekil 3.7 : Dialux programı kullanılarak simüle edilmiş bir hacime ilişkin örnek.

Relux programı, 1998 yılında Almanya'da bulunan Relux Informatik AG tarafından geliştirilmiştir (Url-23). Programa ele alınan mekanın bulunduğu coğrafi konum bilgileri, simülasyonun gerçekleştirilmesi öngörülen tarih ve gök modeli türü veri olarak girilmektedir. Bu programda yapma ve doğal aydınlatma simülasyonları radiocity-yayılım yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Relux programında genel olarak elde edilebilecek veriler, yapı yüzeylerinde veya çalışma düzleminde oluşan aydınlık

dağılımının çeşitli şekillerde ifadesi, mekandan alınmış bir kesit üzerinde aydınlık düzeyinin değişikliklerini ifade eden grafikler, mekanın gerçeğe yakın olarak modellenebilmesi sonucu elde edilen görselleştirmeler şeklindedir. Program ile gerçekleştirilen simülasyonlarda doğal ve yapma aydınlatmanın ayrı ayrı ele alınması veya her ikisini birden kullanılması mümkündür. Programda ayrıca EN 15193 hesap yöntemi ve DIN 18599 standardı uyarınca aydınlatma enerjisi hesaplamalarının gerçekleştirilmesi olanaklıdır. Relux programı da Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE 171:2006 yayını kullanılarak akredite edilmiştir. Bu program ile günışığı hesaplamaları CIE kapalı, CIE açık gök ortalama gök modelleri kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 3.8'de Relux programında simüle edilmiş bir hacmin kapalı ve açık gök koşullarında, 21 Mart saat 10:00'da İstanbul koşulları için elde edilmiş çalışma düzlemi üzerindeki eşaydınlık eğrilerini gösteren plan ve iç mekan perspektifleri program çıktılarına örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.8 : Kapalı ve Açık gök koşulları ile modellenmiş bir toplantı odası hacminin karşılaştırmalı örneği (Şener, 2009).

3.4 Tartışma ve Değerlendirme

Çalışmanın bu bölümünde, binalarda günışığı performansının belirlenmesi hedefiyle geliştirilmiş farklı yöntemler özetlenmiş ve dünyada bu yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar örneklenmiştir. Bilindiği gibi mimaride günışığı etkisi analizlerinin en doğru şekilde gerçekleştirilebilmesi için dış aydınlık düzeyinin en uygun şekilde belirlenmesi esastır. Ele alınan bölgede dış aydınlık düzeyi

ölçümlerinin gerçekleştirilmemesi durumunda incelenen bölgeye en uygun gök modeli belirlenmelidir. Çeşitli meteoroloji istasyonlarında ölçümü yapılan saatlik global ve yaygın ışınım, güneşlenme süreleri, berraklık indisi, bulut kapalılık miktarı gibi değerlerin veri olarak kullanılabildiği çalışmalara literatürde yer almaktadır. Türkiye'deki meteoroloji istasyonlarında dış aydınlık düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmediğinden bu çalışma incelenecek şehirlerde sıklıkla karşılaşılan gök koşullarının tespit edilmesi gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Dış aydınlık düzeyinin en uygun şekilde belirlenmesi neticesinde iç mekanlarda elde edilen günışığı performansının değerlendirilmesi, gerek görsel konfor gerekse enerji korunumu açılarından önem taşımaktadır. Literatür incelendiğinde bu hedefle geliştirilmiş birbirinden farklı değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür.

J. Mardaljevic, L. Heschong ve E. Lee tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada günışığına bağlı değerlendirme yöntemleri ve enerji ilişkisini incelenmiş ve doğal aydınlatmanın binalarda kullanımının önemine dikkat çekilerek binalarda görsel konfor koşullarının değerlendirilmesine ilişkin önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışma kapsamında doğal aydınlatmanın kullanıldığı binalarda gerçekleştirilmesi gereken değerlendirmeler aşağıdaki gibidir:

- Çalışma düzleminde oluşan aydınlık düzeyine ilişkin değerlendirme,
- Göz hizasındaki analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Bakış doğrultusundaki analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Tavan hizasındaki analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Işık sensörlerinin tepkisine yönelik analizlerin gerçekleştirilmesi
- Binaya ilişkin dinamik sistemlerin dikkate alınması (güneş kontrol elemanları, yapma aydınlatma sistemlerinin kontrol edilme biçimi)
- Kompleks cephe sistemlerine yönelik analizlerin gerçekleştirilmesi
- Kullanıcı davranışlarına ilişkin verilerin dikkate alınması (Mardalevic, Heschong & Lee, 2009).

2011 yılında ABD'de gerçekleştirilen bir çalışmada, binalarda günışığı performansının çeşitli simülasyon araçları ile belirlenmesi ve elde edilen değerlendirme sonuçlarının günışığı göstergeleri olarak oluşturulması için bir

yaklaşım geliştirilmiştir. Reinhart C. ve Wienold J. tarafından gerçekleştirilen bu yaklaşımın adımları simülasyon tabanlı doğal aydınlatma analizlerinin gerçekleştirilmesi, ele alınan hacmin günışığı potansiyelinin belirlenmesi, görsel konfor koşullarının denetlenmesi, konforsuzluk kamaşması analizlerinin gerçekleştirilmesi, kullanıcı davranışlarının belirlenip modellenmesi, enerji ve CO_2 salımı miktarlarının hesaplanması olarak belirtilmektedir. Yaklaşımda doğal aydınlatma analizleri Daysim ve Evalglare, enerji ve CO_2 salımı hesaplamaları ise EnergyPlus yazılımında gerçekleştirilmektedir (Reinhart & Wienold, 2011).

2012 yılında ABD'de gerçekleştirilen bir çalışmada, bina tasarım aşamasından itibaren doğal aydınlatmanın uygun şekilde tasarlanıp yeterliliğinin belirlenebilmesine yönelik bir 'günışığı değerlendirme yaklaşımı' önerilmektedir. Bu yaklaşım uyarınca gerçekleştirilen öneriler, çalışma düzleminde günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi, doğal aydınlatmanın uygun şekilde mekana dağılımı, kamaşmanın önlenmesi, günışığı otonomisine bağlı aydınlatma enerjisi hesabı, yeterli günışığı ile sirkadiyen ritmin sağlanması, doğal aydınlatma açıklıklarının uygun şekilde boyutlandırılması, dış görüş, iç mekana pencereler yardımı ile alınan güneş ışınımının ısıtma- soğutma yükleri açısından denetimi olarak sekiz başlıkta toplanmıştır (Leslie, Radetsky & Smith, 2012).

Çalışmanın bu bölümünde 'doğal aydınlatma performansının belirlenmesine yönelik çeşitli ölçüm ve hesap yöntemleri ve bu konuda dünyada gerçekleştirilen çalışmalar derlenmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşımda, iç mekanlarda günışığı performansının değerlendirilmesi için çalışmanın bu bölümünde detayları aktarılan bilimsel yöntemler ve simülasyon araçlarının kullanımı gerçekleştirilmiştir. Mimari aydınlatma tasarımında günışığının etkin olarak kullanılması ile iç mekanlarda görsel konforun sağlanması ve aydınlatma enerjisi performansının iyileştirilmesi mümkündür. Bu hedefle, doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin uygun bir şekilde bütünleşik olarak tasarlanması gerekmektedir. Öte yandan günümüzde binalarda kullanılan aydınlatma sistemlerinin çevresel etkisinin minimum olacak şekilde seçilmesi ve maliyet etkinlik kavramının tasarımda gözetilmesi gerekmektedir.

Tasarım aşamasından itibaren aydınlatma sistemlerinin çeşitli açılardan değerlendirilmesi gerekliliği, gerçekleştirilen literatür araştırması sonucu ortaya konmuştur. Sürdürülebilir aydınlatma tasarımlarının gerçekleştirilmesi için hacimlerde istenen görsel konfor koşullarının sağlanması, psikolojik ve fizyolojik

açılardan uygun koşulların gözetilmesi, minimum aydınlatma enerjisi gereksinimi, minimum çevresel etki ve optimum maliyet kavramlarının bir arada ele alınması konusu son derece önemlidir. Bu nedenle aydınlatma tasarımlarının bütüncül bir anlayış ile bu parametreler doğrultusunda geliştirilebilmesi için yeni bir yaklaşım olan 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı' önerilmiş ve çalışmanın 4. Bölümünde yaklaşımın detayları aktarılmıştır. Bu yaklaşım ile aydınlatma tasarımı aşamasında görsel konfor, enerji performansı, çevre etkisi ve maliyet etkinlik açılarından gerekli değerlendirilmelerin gerçekleştirilmesi ile optimum aydınlatma tasarımı kararlarının elde edilmesi mümkün olacaktır.

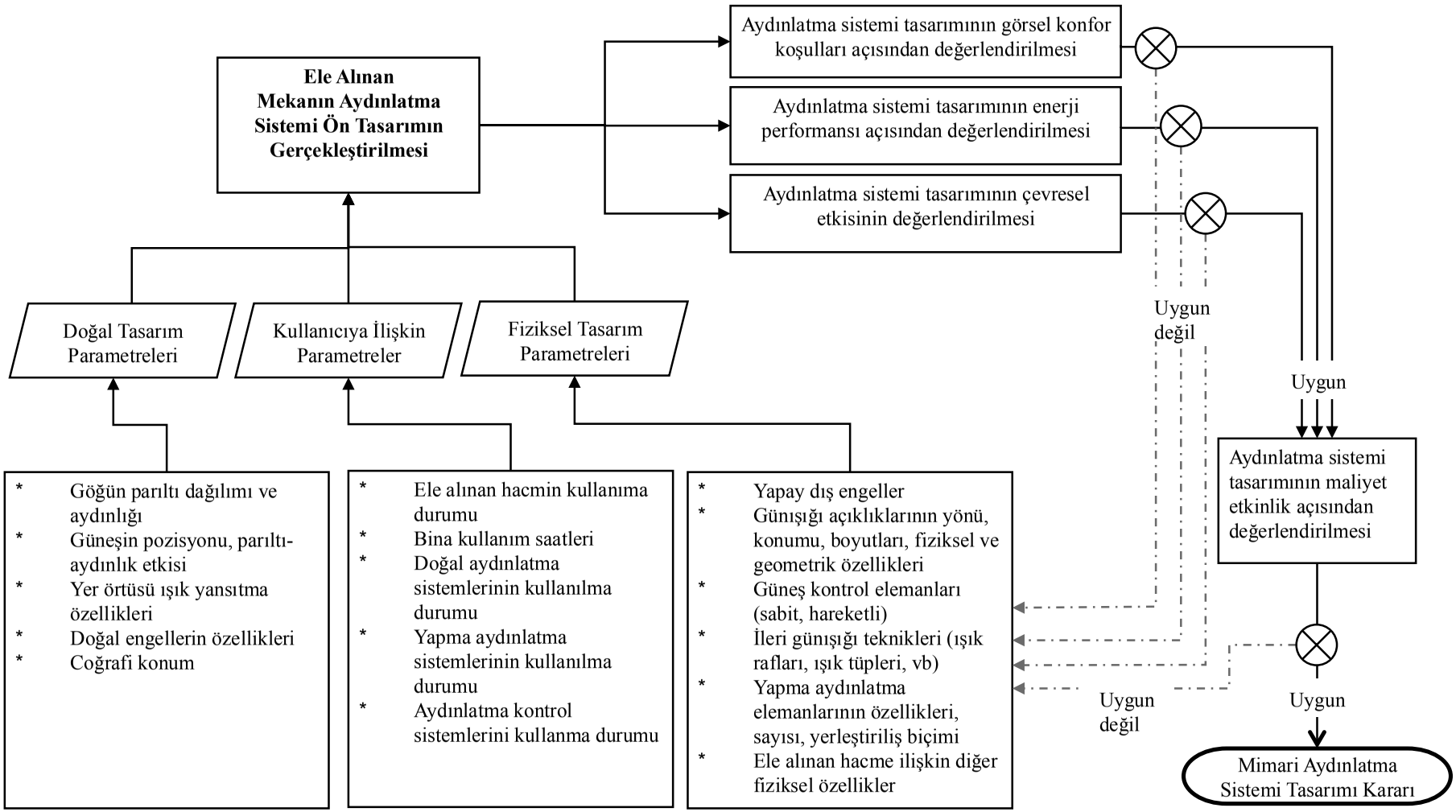
4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI YAKLAŞIMI

Bu çalışmada aydınlatma ön tasarımlarını sürdürülebilirlik kriterlerini dikkate alarak yönlendiren, değerlendiren ve optimum tasarım kararının elde edilmesini hedefleyen bir 'mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı' önerilmiş ve geliştirilen yaklaşım Türkiye koşulları için uygulanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen yaklaşım tanıtılmaktadır. Yaklaşımda sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımını doğrudan ilgilendiren aşağıdaki dört başlığın sağlanması esas alınmaktadır:

- Aydınlatma tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının enerji performansı açısından değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi,
- Aydınlatma tasarımının maliyet etkinlik açısından değerlendirmesi.

Sürdürülebilir aydınlatma tasarımları, hacimlerde istenen görsel konfor koşullarının dikkate alınması, psikolojik ve fizyolojik açılardan en uygun koşulların sağlanması, aydınlatma sistemlerinin enerji etkinliği, minimum çevresel etki ve optimum maliyet bileşenlerinin dikkate alınması ile elde edilmektedir. Aydınlatma tasarımlarında optimum maliyetin belirlenmesi, tasarımlara ilişkin net maliyet değerlerinin Avrupa Birliği Standartları uyarınca hesaplanabilmesi ile mümkündür. Bu çalışma kapsamında tüm bu parametreleri bütüncül bir anlayış ile dikkate alan 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı' yaklaşımı geliştirilmiştir.

Şekil 4.1'de sürdürülebilir çevre için geliştirilmiş mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımını tanıtan bir akış diyagramına yer verilmiştir. Bu yaklaşımın kullanımı ile alternatiflerin birbirleri ile kıyaslanması ve sürdürülebilirlik açısından en uygun çözümün belirlenmesi mümkündür.



Şekil 4.1 : Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı akış diyagramı.

Sürdürülebilir çevre için geliştirilmiş mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı, her yöreye uygulanabilecek şekilde geliştirilmiş olup yaklaşımın Türkiye koşulları için uygulanmasında aydınlatma tasarımlarını etkileyebilecek farklı bölgesel özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Geliştirilen yaklaşım, ele alınan bina tipolojilerine ve hacim türlerine ilişkin gereksinimleri dikkate almaktadır. Bu hedefle, dünyada aydınlatma ile ilgili çalışmalar yürüten kuruluşların yayınlamış olduğu standart ve tavsiyelerde belirtilen kriterlerin sağlanması yaklaşımda esas alınmaktadır. Yaklaşımda veri olarak gereksinim duyulan parametreler şu şekildedir:

- *Doğal tasarım parametreleri*: göğün parıltı dağılımı ve aydınlığı, güneşin pozisyonu ve parıltı-aydınlık etkisi, yer örtüsüne ilişkin ışık yansıtma özellikleri, doğal engellerin özellikleri, coğrafi konum
- *Fiziksel tasarım parametreleri*: yapay dış engeller, ele alınan hacme ilişkin fiziksel özellikler, günışığı açıklıklarının yönü, konumu, boyutları, fiziksel ve geometrik özellikleri, güneş kontrol elemanlarına ilişkin özellikler, ileri günışığı teknolojileri, ele alınan hacme ilişkin diğer fiziksel özellikler
- *Kullanıcılara ilişkin parametreler*: mekanın kullanılma durumu, bina kullanım saatleri, kullanıcıların yapma ve doğal aydınlatma sistemlerini kullanma biçimleri, kullanıcıların aydınlatma kontrol sistemlerini kullanma biçimleri.

Bu veriler doğrultusunda ele alınan mekanın aydınlatma sistemi ön tasarımının gerçekleştirilmesi ile ilgili alternatifin görsel konfor, enerji etkinlik, çevresel etki ve maliyet etkinlik açılarından değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Uygun sonuçlara sahip olmayan alternatiflerin fiziksel tasarım parametrelerine geri dönüşü sağlanır ve tasarım ön kararlarının revize edilmesi beklenir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucu tasarım alternatifinin uygun sonuçlar vermesi durumunda ‘mimari aydınlatma sistemi tasarımı kararı’ elde edilmektedir.

Elde edilen aydınlatma sistemi tasarım kararlarının, binanın ısıtma ve soğutma enerji performansı açılarından ele alınarak optimum tasarım kararları elde edilmelidir. Bu hedefle, yaklaşım uyarınca elde edilen tasarım kararlarının binanın toplam enerji performansı dikkate alınarak belirlenmesi, böylelikle ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi açılarından optimize edilmiş tasarım kararlarının elde edilmesi beklenmektedir.

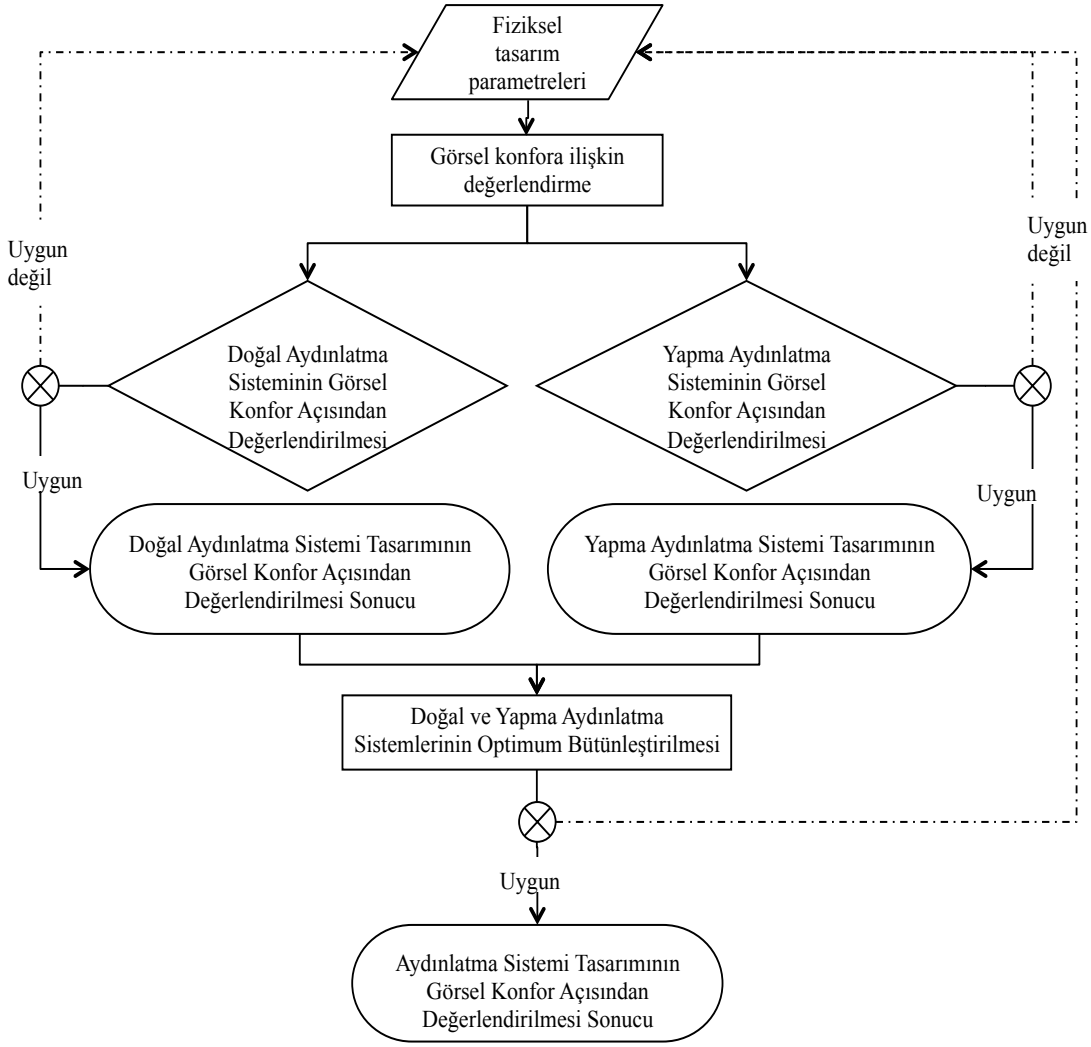
Bir mekanın aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin doğru tasarımı için aydınlatma simülasyon programlarının kullanımına gereksinim duyulmaktadır. Aynı zamanda mimari tasarım aşamasından itibaren bu programların kullanılması sonucu, ileride görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik olarak oluşabilecek aksaklıkların önlenmesi mümkün olabilmekte ve enerji etkinlik açısından doğru seçeneklerin ele alınması sağlanabilmektedir. Öte yandan binaların aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin bu programlar yardımı ile önceden belirlenmesi mümkün olmaktadır. Yaklaşımda, görsel konfor koşullarını sağlama sürecinde çalışmanın 3.3. bölümünde detayları aktarılan simülasyon programlarının olanakları kullanılmaktadır. Geliştirilen yaklaşım, ileri düzeyde modelleme ve simülasyon programlarının kullanımına olanak vermekte, böylelikle farklı bina geometrilerinin ve yenilikçi teknolojilerin aydınlatma sistemi tasarımında kullanılması ve değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

4.1 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesi

Aydınlatma tasarımlarının öncelikli hedefleri, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerine en iyi şekilde karşılık verilmesi ve ele alınan mekanlarda görsel konfor koşullarının sağlanmasıdır. Çalışmanın 2.1 bölümünde aydınlatma tasarımlarında görsel konfor koşullarını sağlamak için gerekli kriterler detaylı olarak açıklanmaktadır. Geliştirilen yaklaşımda aydınlatma sistemi tasarımlarının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi için uluslararası standartlarca tanımlanmış kriterler dikkate alınarak kullanıcıların göz sağlığının korunması ve görsel açıdan konforlu iç mekanların elde edilmesi hedeflenmektedir.

Aydınlatma sistemi tasarımında alınan kararların görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi ve bu koşullarının sağlanması yaklaşımda esas alınmıştır. Şekil 4.2'de bu sürece ilişkin akış diyagramına yer verilmiştir. Görsel konfora ilişkin olarak gerçekleştirilen değerlendirme, yapma ve doğal aydınlatma sistemleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yaklaşım, uygun koşullara sahip olmayan ön tasarım alternatiflerinin fiziksel tasarım parametrelerine geri dönülerek revize edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle aydınlatma sistemine ilişkin görsel konfor koşullarının sağlanması ve aydınlatma sistemi tasarım kararının görsel konfor koşulları açısından performansının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Aydınlatma

sistemi tasarımlarının görsel konfor koşullarını sağlaması süreci ile ilgili değerlendirmeler, yaklaşımda yapma ve doğal aydınlatmanın iç mekana olan etkilerinin saptandığı simülasyon programlarının kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.2 : Aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor açısından değerlendirmesi.

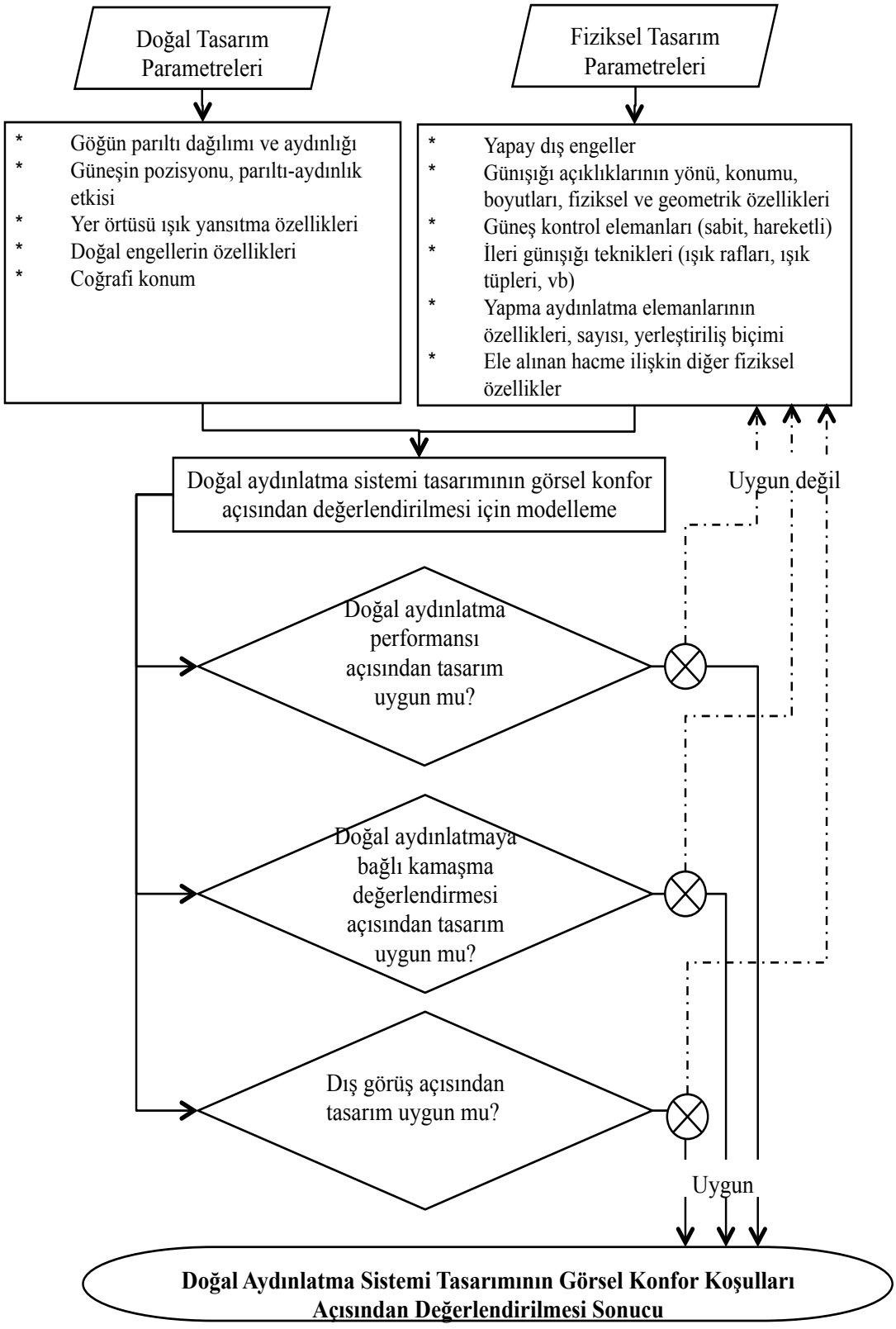
Günışığının iç mekanda yarattığı görsel ve psikolojik etki sebebiyle mimaride doğal aydınlatmaya dayalı sistemler geliştirilmekte ve doğal aydınlatma binalarda etkin olarak kullanılmaktadır. Örneğin ilkokul binaları, çoğunlukla gün saatleri içerisinde kullanılan ve doğal aydınlatma kullanımının görsel konfor, psikolojik ve fizyolojik gereksinimler açılarından son derece önemli olduğu bina tipolojilerindendir. Bu tür binalarda yapma ve doğal aydınlatmanın optimum bütünleştirilmesini hedefleyen PSALI (permanent supplementary artificial lighting of interiors) yaklaşımının kullanımı yaygındır (Hopkinson, 1959). Günümüzde EN 12464 standardı uyarınca doğal aydınlatmaya gereksinim duyulan mekanlarda yapma ve doğal aydınlatmanın

optimum bütünleştirilmesi gerekmektedir. Geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı' yaklaşımında, gerekli görülen mekanlarda doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin optimum düzeyde bütünleştirilmesi hedeflenmektedir. Bütünleşik aydınlatma sistemine gereksinim duyulan mekanlarda yapma aydınlatma sistemlerinin ve aydınlatma kontrolünün doğal aydınlatma sistemi ile uyumlu olarak tasarlanması esastır.

Doğal aydınlatmanın etkin olmadığı saatlerde kullanılan bazı bina türlerinde veya hacimlerde yapma aydınlatma, öncelikli aydınlatma sistemi olarak tercih edilmekte ve bu tür hacimlerde aydınlatma tasarımları doğal aydınlatma etkisi gözetilmeksizin gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle bütünleşik aydınlatma tasarımı, gün boyu kullanılan, görsel konfor, psikolojik ve fizyolojik gereksinimler açılarından günışığı kullanımının gerekli olduğu tipolojiler için geçerlidir. Geliştirilen yaklaşımda doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin, gün boyu kullanılan ve günışığından etkin olarak yararlanılabilecek durumlarda, doğru olarak bütünleştirilmesi gerekliliği esas alınmakta, bütünleştirmenin uygun olmadığı mekanlarda yalnızca yapma aydınlatma açısından görsel konfor koşullarını sağlama süreci değerlendirmeye alınmaktadır.

4.1.1 Doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi

Bir mekana ait yıllık doğal aydınlatma performans değerinin elde edilebilmesi için mekanda tüm yıl boyunca gerçekleşen günışığı aydınlığının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla ilgili hesaplamalar gerçekleştirilerek hedef düzlemlere ilişkin aydınlık düzeyleri saptanabilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde doğal aydınlatma sistemlerinin görsel konfor koşullarını sağlaması süreci irdelenmektedir. Görsel konfor koşullarının elde edilmediği ön tasarım seçeneklerinin revize edilmesi amacıyla fiziksel tasarım parametrelerine geri dönüşler ile tasarım kararının istenen görsel konfor koşullarını gerçekleştirmesi ve doğal aydınlatma performansı açısından yeterli olması sağlanmaktadır. Şekil 4.3'de doğal aydınlatma sistemi tasarımların görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci yer almaktadır.



Şekil 4.3 : Doğal aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci.

Geliştirilen yaklaşım uyarınca bu sürecin adımları şu şekildedir:

- Ele alınan hacim için gerekli modelleme çalışmasının gerçekleştirilmesi,
- Ele alınan hacmin doğal aydınlatma performansının yıllık olarak hesaplanması,
- Ele alınan hacmin doğal aydınlatmaya bağlı kamaşma değerlendirmesinin yıllık olarak hesaplanması,
- Ele alınan hacmin dış görüş analizlerinin gerçekleştirilmesi.

Gerçekleştirilen hesaplamalar ve analizler sonucunda doğal aydınlatma ile sağlanan aydınlık düzeyinin çalışma saatleri veya bina kullanım saatleri içinde yeterli olduğu alanlar belirlenebilmekte ve görsel konfor açısından sorunlu bölgeler saptanabilmektedir. Simülasyonlar aracılığıyla hacim içerisinde görsel konfora ilişkin değerlendirme sonuçlarının sayısal olarak ifade edilmesi mümkündür. Böylelikle ele alınan hacim için yıllık doğal aydınlatma performansının belirlenmesi yaklaşımda hedeflenir. Yaklaşımın bu bölümünde doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansı bütüncül bir şekilde ele alınmakta, gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda gerekli durumlarda fiziksel tasarım parametrelerine olan geri dönüşler ile optimum tasarım kararlarının elde edilmesi sağlanmaktadır.

4.1.1.1 Dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesi için uygun gök modelinin belirlenmesi

Geliştirilen yaklaşım uyarınca doğal aydınlatma sistemi performansının elde edilmesi için dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesine yönelik olarak uygun gök modelinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmanın 3.1 bölümünde ayrıntıları açıklanan CIE Standart Genel Gök Modeli'nin Türkiye koşullarına uyarlanması için 2012 yılında gerçekleştirilen bir çalışma yöntemi esas alınmıştır (Şener & Yener, 2012). Buna göre ele alınan şehirlere ilişkin meteorolojik veriler kullanılarak ilgili bölgede karşılaşılan saatlik gök koşulları, CIE Standart Genel Gök Modeli'nde yer alan CIE Açık, CIE Kapalı ve Ortalama gök modelleri olacak şekilde belirlenmiştir.

Bu çalışmada, saatlik olarak bölgeye ilişkin en uygun gök modelinin tespitinde BEP-TR Ulusal Hesap Modeli'nde kullanılan iklim verileri esas alınmıştır. Bu veriler, Türkiye'deki illerde bulunan ilgili meteoroloji istasyonlarında 1989-2008 yılları

arasında ölçülmüş veriler olup Tipik Meteorolojik Yıl (TMY) olarak derlenmiştir. Bu verilerin hazırlanması aşamasında saatlik direkt ve saatlik yaygın güneş ışınımı değerleri, Duffie & Beckman yöntemi ile hesaplanarak elde edilmiş ve Türkiye'deki şehirlerde karşılaşılan uygun gök koşullarının belirlenmesi hedefiyle kullanılmıştır.

Çalışmada ilgili meteorolojik verilerin 15. günlerindeki değerler esas alınmıştır. 2008 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada İstanbul ilinde olduğu kabul edilen bir ilköğretim okulu dersliğine ait doğal aydınlatma hesaplamaları için gerçekleştirilen istatistiksel analizlerde her ayı karakterize eden günün her ayın 15. günü olduğu sonucuna varılmıştır (Kutlu, 2008). Türkiye için hazırlanmış BEP-TR hesap yönteminin aydınlatma bölümünde de doğal aydınlatma koşullarını temsil eden karakteristik günün her ayın 15. günü olduğu kabul edilmiştir (BEP-TR, 2010).

Türkiye koşulları için elde edilen TMY verilerinin yardımı ile her il için dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesine yönelik olarak uygun gök modelinin belirlenmesi mümkündür. Ancak bu çalışmada CIE Standart Genel Gök Modeli'nin Türkiye koşullarına uyarlanması için İstanbul ve Antalya şehirleri örnek olarak seçilmiş ve ele alınan şehirlere ilişkin olarak İstanbul Florya Meteoroloji İstasyonu ile Antalya Meteoroloji İstasyonu'nda 1989-2008 yılları arasında ölçülen iklimsel veriler kullanılmıştır. Ele alınan bölgelerde karşılaşılan saatlik gök koşullarının açık gök, kapalı gök ve ortalama gök olacak şekilde tüm yıl için belirlenebilmesi hedefiyle gök sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Bu hedefle çalışmanın 3.1 bölümünde detayları aktarılan Perez Berraklık İndisi yöntemi kullanılarak Eşitlik 3.5 uyarınca ilgili hesaplamalar yıllık olarak gerçekleştirilmiş ve bu amaçla saatlik yaygın güneş ışınımı, saatlik direkt güneş ışınımı ve saatlik zenit açısı verileri kullanılmıştır. İstanbul ve Antalya koşulları için her ayın 15. günlerinde saatlik olarak elde edilen gök modeline ilişkin bilgiler sırası ile Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : İstanbul ili Perez berraklık indisi yöntemi kullanılarak oluşturulmuş gök durumu sınıflandırılması.

Istanbul	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
7	*	*	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	*
8	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	Kapalı
9	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	Kapalı
10	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
11	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
12	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
13	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Ortalama
14	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	Kapalı
15	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	Kapalı
16	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	Kapalı
17	*	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	*	*
18	*	*	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Açık	Ortalama	Kapalı	*	*	*
19	*	*	*	*	Kapalı	Ortalama	Ortalama	*	*	*	*	*

Çizelge 4.2 : Antalya ili Perez berraklık indisi yöntemi kullanılarak oluşturulmuş gök durumu sınıflandırılması.

Antalya	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
7	*	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı	*
8	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Kapalı
9	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
10	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
11	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
12	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
13	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
14	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
15	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16	Kapalı	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Kapalı	Kapalı
17	*	Kapalı	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	Ortalama	Kapalı	*	*
18	*	*	*	Ortalama	Ortalama	Açık	Açık	Ortalama	*	*	*	*
19	*	*	*	*	*	Açık	Açık	*	*	*	*	*

Gök sınıflandırması için kullanılan Gök Oranı ve Perez Berraklık İndeksi yöntemlerinin karşılaştırılması ile ilgili olarak daha önce gerçekleştirilmiş bir çalışmada elde edilen verilere dayalı olarak Çizelge 4.3'de İstanbul ve Antalya illeri için elde edilen gök durumu sınıflandırması yıllık sonuçları verilmiştir (Şener & Yener, 2012).

Çizelge 4.3 : İstanbul ve Antalya için elde edilen gök durumu sınıflandırması verilerinin yıllık dağılımı.

	Gök Oranı Yöntemi		
	Açık (%)	Ortalama (%)	Kapalı (%)
İstanbul	27,94	58,82	13,24
Antalya	49,25	50,75	0,00
	Perez Berraklık İndeksi Yöntemi		
İstanbul	13,97	51,47	34,56
Antalya	24,63	66,42	8,96

Bu çalışmada, ele alınan iki farklı hesap yöntemi arasında yıllık oranda kapalı gök koşullarının yıl içinde görülme oranının daha yüksek olduğu, dolayısı ile doğal aydınlatma potansiyeli açısından olumsuz koşulları dikkate alan Perez Berraklık İndeksi Yöntemi'nin kullanımı öngörülmüştür.

4.1.1.2 Ele alınan hacmin doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen yaklaşım uyarınca ele alınan hacmin doğal aydınlatma performansının yıllık olarak belirlenmesi için gerekli bilgilere yer verilmiştir. Bu hedefle, saatlik olarak belirlenen gök modeli bilgileri uyarınca doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenebilmesine yönelik gerekli modelleme çalışmasının ve günışığı simülasyonlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bir mekanın yıllık doğal aydınlatma performansının belirlenebilmesi için ele alınan mekanda tüm yıl boyunca gerçekleşen günışığı aydınlığının belirlenmesi esastır. Bu amaçla geliştirilen yaklaşımda doğal aydınlatma hesaplamalarının gerçekleştirilmesinde aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- Ele alınan hacmin simülasyon programında detaylı olarak 3D modellenmesi,
- Ele alınan simülasyon tarihi ve saati için uygun gök modellerinin kullanımı (Bölüm 4.1.1.1 uyarınca),
- Ele alınan hacimde simülasyonlar yardımı ile tüm yıl boyunca gerçekleşen günışığı aydınlığının saatlik olarak belirlenmesi,

- Simülasyon sonuçları uyarınca hacme ilişkin yıllık doğal aydınlatma performans sonucunun 'Sürekli Günışığı Otonomisi' yöntemiyle elde edilmesi.

Bu yaklaşımda doğal aydınlatma hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için detayları çalışmanın 3.3. bölümünde aktarılan Radiance programı kullanılmaktadır. Bu program ile ele alınan hacim üç boyutlu olarak modellenir. Radiance Programı Gensky gök derleyicisinde yer alan gök modeli özellikleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Gensky gök derleyicisi'nde tanımlı gök modeli seçenekleri.

Komutu	İngilizce	Türkçe
-s	Sunny sky without sun. (The sky distribution will correspond to a standard CIE clear day.)	Güneşsiz açık gök. (Gök dağılımı standart bir CIE açık güne karşılık gelecek şekilde)
+s	Sunny sky with sun. In addition to the sky distribution function, a source description of the sun is generated.	Güneşli açık gök. (Gök dağılımı faktörüne ek olarak güneşe ait bir kaynak tanımlaması mevcut olacak şekilde)
-c	Cloudy sky. The sky distribution will correspond to a standard CIE overcast day.	Kapalı gök. (Gök dağılımı standart bir CIE kapalı güne karşılık gelecek şekilde)
-i	Intermediate sky without sun. The sky will correspond to a standard CIE intermediate day.	Güneşsiz ortalama gök. (Gök dağılımı standart bir CIE ortalama güne karşılık gelecek şekilde)
+i	Intermediate sky with sun. In addition to the sky distribution, a (somewhat subdued) sun is generated.	Güneşli ortalama gök. (Ortalama gök dağılımına ek olarak güneşe ait bir kaynak tanımlaması mevcut olacak şekilde)
-u	Uniform cloudy sky. The sky distribution will be completely uniform	Tekdüze gök. Gök dağılımının tamamen tekdüze olması hali

Geliştirilen yaklaşım uyarınca, doğal aydınlatma simülasyonlarında, tezin 4.1.1.1 bölümünde aktarılan yöntem ile belirlenen gök modelleri kullanılır. Ele alınan bölgeye ilişkin olarak elde edilen saatlik gök durumu bilgileri, RADIANCE simülasyon programının Gensky gök derleyicisindeki gök modelleri ile eşleştirilerek mekana ilişkin yıllık doğal aydınlatma simülasyonları gerçekleştirilir. Bu hedefle Gensky gök derleyicisinde sırasıyla -s, -c, -i komutları ile tanımlı CIE açık, CIE kapalı ve ortalama gök modelleri yaklaşım uyarınca simülasyonlarda kullanılır.

Hacmin yıllık doğal aydınlatma performansı, tüm yıl boyunca gerçekleştirilen günışığı aydınlığının belirlenmesine bağlı olarak detayları çalışmanın 3.2.4 bölümünde aktarılan 'Sürekli Günışığı Otonomisi Yöntemi' uyarınca elde edilir. Ele alınan hacimde istenen aydınlık düzeyinin yalnızca doğal aydınlatma ile sağlanma sürekliliği ve doğal aydınlatma miktarının istenen aydınlık düzeyine olan yakınlığı bu yöntemde esas alınmaktadır. Doğal aydınlatma simülasyonları sonucu elde edilen veriler, incelenen hacimler için konforlu alan yüzdesinin elde edilmesi ve buna bağlı

olarak yıllık bazda doğal aydınlatma performansının belirlenmesi hedefleriyle kullanılmaktadır.

4.1.1.3 Kamaşma analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi

Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı uyarınca görsel konfor koşullarının sağlanması sürecinde doğal aydınlatmadan kaynaklanan kamaşmanın değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Doğal aydınlatmaya bağlı kamaşmanın hesaplanabilmesi için geliştirilen yöntemler çalışmanın 2.1 bölümünde incelenmiştir. Geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin kamaşma açısından değerlendirilmesinde DGP Günışığı Kamaşma Olasılığı Yöntemi kullanılmakta ve kamaşma olasılığı ile ilgili hesaplar Eşitlik 2.7 uyarınca gerçekleştirilmektedir.

Görsel konfor koşullarının sağlanması sürecinde doğal aydınlatma kaynaklı kamaşma analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle ele alınan mekanın kullanım ve tefriş durumlarına bağlı bakış doğrultularının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bakış doğrultuları için yıllık doğal aydınlatma kaynaklı kamaşma analizleri DGP yöntemini esas alması sebebiyle Radiance tabanlı olarak geliştirilmiş Evalglare Programı ile gerçekleştirilmektedir. Yaklaşım uyarınca doğal aydınlatmaya bağlı kamaşma analizlerinin gerçekleştirilmesinde şu adımlar izlenir:

- Fiziksel modellemesi gerçekleştirilmiş mekanda kullanıcılar için belirlenen temsili bakış doğrultularının belirlenmesi,
- Belirlenen bakış doğrultularında saatlik olarak doğal aydınlatma hesaplamalarının gerçekleştirilmesi
- Bakış doğrultularında elde edilen doğal aydınlatma hesap sonuçlarının parıltı dağılımı bilgisine sahip olacak şekilde görselleştirilmesi (.hdr / .pic uzantılı)
- Elde edilen görsellerin işlenmesi ve ilgili duruma ilişkin DGP hesap yöntemi ile kamaşma değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi

Kamaşma hesap sonuçlarının değerlendirilebilmesi için gerekli değer aralıklarına çalışmanın 2.1 bölümünde yer verilmiştir. Buna göre ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarımı ön kararına ilişkin kamaşma analizleri sonucu elde edilen değerlerin %30'dan dan fazla olması durumunda, hissedilebilir kamaşmanın mevcut olduğu

kabul edilmektedir. Bu durum dikkate alınarak ele alınan hacim için yıllık kamaşma performansı hesaplanır. Yaklaşımda bakış doğrultularında elde edilen günlük, aylık ve yıllık sonuçların kamaşma matrisleri halinde ifade edilmesi sağlanır. Çizelge 4.5'de örnek bir mekanda yer aldığı kabul edilen 11 farklı analiz noktası ve dokuz farklı yıllık temsili hesap tarihleri için gerçekleştirilmiş kamaşma hesapları sonucu hazırlanmış yıllık kamaşma analizleri matrisi örneğine yer verilmiştir. İlgili örnekte, DGP değerinin %30'dan fazla olduğu sonuçlar işaretlenmiştir.

Çizelge 4.5 : Örnek bir hacim için yıllık kamaşma analizleri matrisi örneği.

Analiz Noktaları	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,04	0,25	0,02	0,29	**0,31**	0,24	0,25	**0,31**	0,26
Nokta 2	0,05	0,25	0,02	0,28	**0,31**	0,24	0,25	**0,31**	0,25
Nokta 3	0,04	0,27	0,02	0,27	0,28	0,23	0,24	0,28	0,24
Nokta 4	0,03	0,25	0,02	0,28	0,27	0,26	0,25	0,29	0,26
Nokta 5	0,03	0,25	0,02	0,27	0,27	0,25	0,25	0,29	0,26
Nokta 6	0,05	0,28	0,03	0,27	0,28	0,25	0,25	**0,30**	0,25
Nokta 7	0,02	0,27	0,01	0,26	0,26	0,26	0,25	0,28	0,26
Nokta 8	0,03	0,27	0,02	0,25	0,27	0,25	0,25	0,28	0,26
Nokta 9	0,03	0,28	0,02	0,24	0,28	0,25	0,25	0,28	0,26
Nokta 10	0,02	0,25	0,01	0,22	0,29	0,27	0,24	0,30	0,24
Nokta 11	0,02	0,26	0,01	0,24	0,25	0,24	0,25	0,26	0,24
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%12,12
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%12,12
Yıllık kamaşma olasılığı					%4,70				

Doğal aydınlatmaya bağlı kamaşma oluşumunun gözlendiği ve istenen görsel konfor koşullarının sağlanamadığı ön tasarım seçenekleri için, Şekil 4.1'de verilen akış diyagramında fiziksel tasarım parametrelerine geri dönüş ile gerekli düzenlemelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Böylelikle doğal aydınlatmaya bağlı kamaşma açısından optimum tasarım kararlarının elde edilmesi hedeflenmektedir.

4.1.1.4 Dış görüş analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi

Yaklaşımın bu bölümü, doğal aydınlatma sistemlerinin dış görüş kriterini sağlaması açısından denetlenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu bölümde iç mekanda çeşitli noktalarda dış görüş analizlerinin gerçekleştirilebilmesi hedefiyle bir yaklaşım

önerilmektedir. Bu yaklaşıma göre gerekli mekanlarda dış görüşün sağlanabilmesi, pencere boyutlarına ve engel durumuna bağlı olarak belirlenir.

Çalışmanın 2.2 bölümünde dış görüş ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür araştırmasında elde edilen bilgilere dayanarak mekanlarda doğal aydınlatmanın sağlanması ve kullanıcıların görsel açıdan hoşnut olacağı yeterli dış görüş koşullarının elde edilmesi hedefiyle engel durumu ve pencere boyutlarına bağlı olarak aşağıdaki üç kriterin dikkate alınması gerekmektedir:

- Mekanlarda dış görüşün sağlanabilmesi için gerekli saydamlık oranının minimum %20 olması (Keighley, 1973, BS 8206-2, 2008),
- Dış görüşün üst seviye (gök ya da yapay çevre), orta seviye (doğal veya yapay çevre) ve alt seviyeyi (zemin) içermesi ve görünür gök açısının 90°-65° arasında olması (BS 8206-2, 2008, CIBSE LG10, 1999),
- Mekanlarda istenen 'gökyüzü görüşünün' belirlenmesi için 'günışığı erişim çizgisi' yaklaşımının kullanımı ve dış görüş açısından sorunlu bölgelerin belirlenmesi (Littlefair, 2011).

Bu kriterlerin gerçekleştirilmesi ile ele alınan mekanlarda dış görüş koşulları değerlendirilerek kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik açılardan konforda olmaları amaçlanır. Yaklaşımda dış görüşün sağlanabilmesi hedefiyle ele alınan hacmin planına, kesitine, dış ortam ve engel durumu bilgilerine ve pencere ile ilgili özelliklere gereksinim duyulmaktadır. 'Günışığı erişim çizgisi' pencereye paralel olarak kabul edilir. Bu çizginin pencereye olan uzaklığı, plan ve kesit üzerinden gerçekleştirilen çizimler ile ya da çalışmanın 2.1.2 bölümünde yer alan Eşitlik 2.8 yardımı ile hesaplanır. Hacimlerde uygun dış görüş koşullarını sağlamak ve doğal aydınlatmadan maksimum oranda faydalanabilmek hedefiyle günışığı erişim çizgisi'nin mekandaki konumu saptanır ve gök görüşü analiz edilir.

Ele alınan aydınlatma sistemi ön tasarımlarının yaklaşım uyarınca uygun dış görüş koşullarını sağlamaması durumunda ön tasarımın dış görüş açısından revize edilmesi için fiziksel tasarım parametrelerinde gerçekleştirilen gerekli düzenlemeler ile dış görüş açısından uygun aydınlatma tasarımı seçenekleri elde edilerek bina kullanıcılarının fizyolojik- psikolojik açılardan konforda olmaları sağlanmaktadır. Ancak bu aşamada görsel konfor koşullarının yanı sıra iklimsel ve işitsel konfor koşulları açılarından da gerekli optimizasyon çalışması gerçekleştirilmelidir. Öte

yandan, saydamlık oranlarının binanın toplam enerji performansı dikkate alınarak belirlenmesi, böylelikle ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi açılarından optimize edilmiş tasarım kararlarının elde edilmesi sağlanmalıdır.

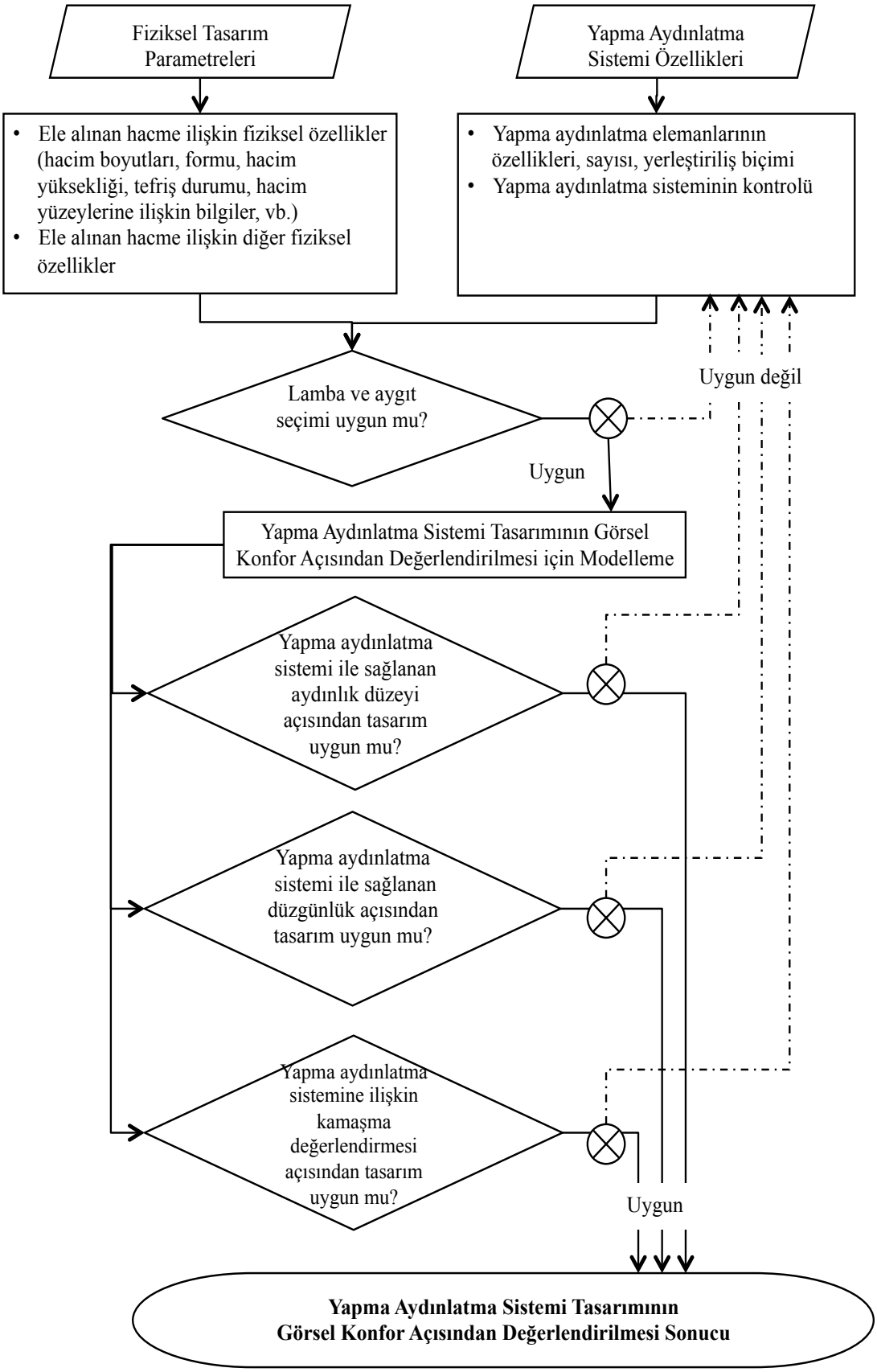
4.1.2 Yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, yapma aydınlatma sistemlerinin görsel konfor koşullarını sağlaması süreci aktarılmaktadır. Geliştirilen yaklaşım uyarınca, yapma aydınlatma sistemi ön tasarımlarının aşağıdaki kriterler açısından değerlendirilmesi sağlanır:

- Lamba ve aygıt seçiminin uygunluğu,
- Yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan aydınlık düzeyinin uygunluğu,
- Yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan düzgünlüğün uygunluğu,
- Yapma aydınlatma sisteminin kamaşma açısından uygunluğu.

Öncelikle, ele alınan yapma aydınlatma sistemi ön tasarımlarında kullanılan elemanların EN 12464 standardı kriterlerine, mekanın karakteristiğine ve fiziksel şartlarına uyumlu olması beklenmektedir. Fiziksel tasarım parametreleri, yapma aydınlatma elemanlarının özellikleri, sayısı, yerleştiriliş biçimi, yapma aydınlatma sisteminin kontrolü verileri uyarınca CIE tarafından akredite olmuş bir simülasyon programında ilgili mekan modellenir ve görsel konfor performansı değerlendirmeleri gerçekleştirilir. Şekil 4.4'de yapma aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci yer almaktadır.

Bu yaklaşım uyarınca görsel konfor koşullarını sağlayan yapma aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yapma aydınlatma sistemi tasarım kararlarının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi ile ele alınan yapma aydınlatma sistemi tasarımına ilişkin görsel konfor performansı elde edilir.



Şekil 4.4 : Yapma aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi süreci.

4.1.2.1 Yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyinin değerlendirilmesi

Yaklaşımın bu bölümünde, ele alınan hacim türü ve işlev için yapma aydınlatma sistemi ile sağlanması istenen minimum aydınlık düzeyi açısından gerekli değerlendirme gerçekleştirilir. Bu doğrultuda, ele alınan hacimde yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi hesaplanarak elde edilir. Geliştirilen yaklaşım uyarınca ele alınan hacim için yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyinin belirlenmesinde CIE tarafından akredite olmuş aydınlatma simülasyon programlarının kullanılması önerilir. Gerekli yapma aydınlatma simülasyonları sonucu elde edilen verilerde çalışma düzlemi/hedef düzlemlerde oluşan aydınlık dağılımı belirlenir ve mekan içerisindeki ortalama aydınlık düzeyinin EN 12464 standardında istenen minimum değerleri sağlaması beklenir. Belirlenen ortalama aydınlık düzeyinin EN 12464 standardına uygun olmaması durumunda ilgili ön tasarım revize edilerek istenen görsel konfor koşullarının sağlanması gerçekleştirilir.

4.1.2.2 Yapma aydınlatma sistemi ile mekanda sağlanan düzgünlüğün değerlendirilmesi

Ele alınan hacimde çalışma düzleminde gerçekleşen minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı olan düzgünlük değerinin EN 12464 standardında hacim türüne ve işleve bağlı olarak belirtilen minimum değerleri sağlayacak şekilde ele alınması gerekmektedir. Yaklaşımın bu bölümünde aydınlatmanın düzgünlüğünün sağlanması konusunda gerekli değerlendirme gerçekleştirilir. Bunun için mekanda çalışma düzlemi veya hedef düzlem üzerinde yapma aydınlatma sistemi ile elde edilen düzgünlük değeri belirlenir. Düzgünlük hesaplamalarında CIE tarafından akredite olmuş aydınlatma simülasyon programlarının kullanımı önerilir. Belirlenen düzgünlük değerinin EN 12464 standardına uygun olmaması durumunda ilgili ön tasarım revize edilerek istenen görsel konfor koşulları sağlanır.

4.1.2.3 Yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşmanın değerlendirmesi

Yaklaşımın bu bölümünde, yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşmanın değerlendirilmesi, UGR hesap yöntemi kullanılarak Eşitlik 2.6 uyarınca gerçekleştirilir. UGR yöntemi, yapma aydınlatmaya bağlı kamaşma hesabı için kullanılan, güncel ve CIE tarafından kabul edilmiş bir yöntemdir. EN 12464

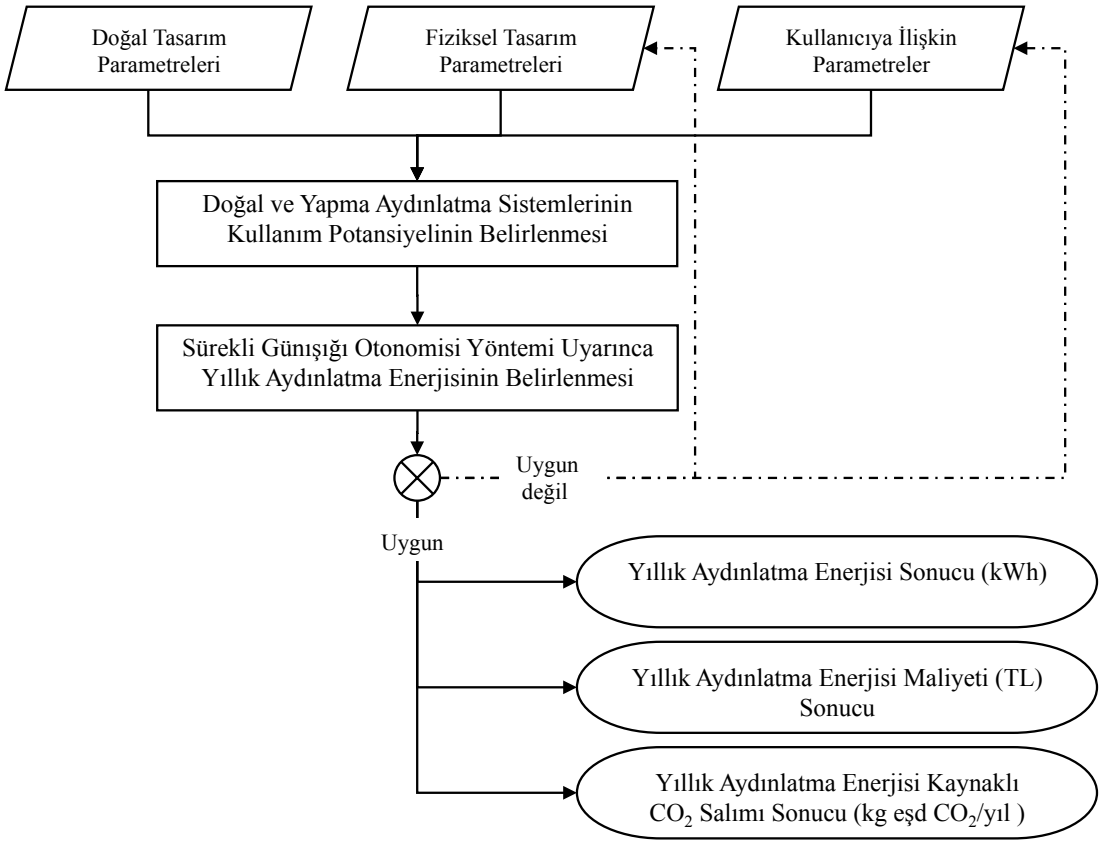
standardında hacim türüne ve işleve bağlı olarak belirtilen maksimum UGR değerleri dikkate alınarak yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşma değerlendirmesi gerçekleştirilir. Geliştirilen yaklaşımda UGR hesabı, ele alınan hacim için izleyici bakış doğrultusunun tanımlanması ve buna bağlı olarak ilgili noktalarda kamaşma analizlerinin gerçekleştirilmesi ile sağlanır. Elde edilen değerlerin EN 12464 standardına uygun olmaması durumunda ilgili ön yapma aydınlatma sistemi tasarımı revize edilerek kamaşma açısından istenen görsel konfor koşulları sağlanır.

4.1.3 Doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi

Önerilen yaklaşım, sürdürülebilir mimari aydınlatma tasarımında doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin gerekli durumlarda doğru olarak bütünleştirilmesini ele almaktadır. Bu nedenle aydınlatma sistemlerinin bütünleştirilmesi istenen hacimlerde, yapma aydınlatma sistemlerinin ve aydınlatma kontrolünün doğal aydınlatma ile uyumlu olarak tasarlanması beklenmektedir. Yaklaşımda, EN 12464 standardı uyarınca ele alınan bina ve hacim türüne bağlı olarak doğal aydınlatmaya gereksinim duyulan mekanlarda yapma ve doğal aydınlatmanın optimum bütünleştirilmesi esas alınır. Bütünleşik aydınlatma sisteminin ilgili hacimlerde sağlanması denetlenir ve optimum bütünleştirmenin sağlanmadığı durumlarda fiziksel tasarım parametrelerine geri dönüşler ile ön tasarım revize edilir.

4.2 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi

Binalarda aydınlatma enerjisinin azaltılması, enerji etkin aydınlatma tasarımlarının geliştirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Binalarda aydınlatma enerjisi performansı, mekanlarda istenen görsel konfor koşullarını yerine getirmek amacıyla harcanan aydınlatma enerjisine bağlıdır. Bu değerlendirme yöntemi kapsamında doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin olabildiğince birlikte kullanılması doğrultusunda aydınlatma sistemi tasarımlarının enerji performansının belirlenebilmesine yönelik bir yaklaşım önerilmektedir. Geliştirilen yaklaşım, mevcut binaların aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyelinin belirlenmesi amacıyla da kullanılabilmektedir. Şekil 4.5'de geliştirilen yaklaşıma ilişkin olarak aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansının belirlenmesi ile ilgili süreci aktaran akış diyagramına yer verilmiştir.



Şekil 4.5 : Aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansının belirlenmesi.

Geliştirilen yaklaşım uyarınca aydınlatma tasarımının enerji performansının belirlenmesi adımları şu şekildedir:

- Doğal tasarım parametreleri, fiziksel tasarım parametreleri ve kullanıcıya ilişkin parametrelerin kullanımı ile doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin kullanım potansiyelinin belirlenmesi,
- Sürekli günışığı otonomisi verilerine dayalı olarak yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin belirlenmesi,
- Yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi (kWh), yıllık aydınlatma enerjisi maliyeti ve yıllık CO_2 salımı sonuçlarının elde edilmesi.

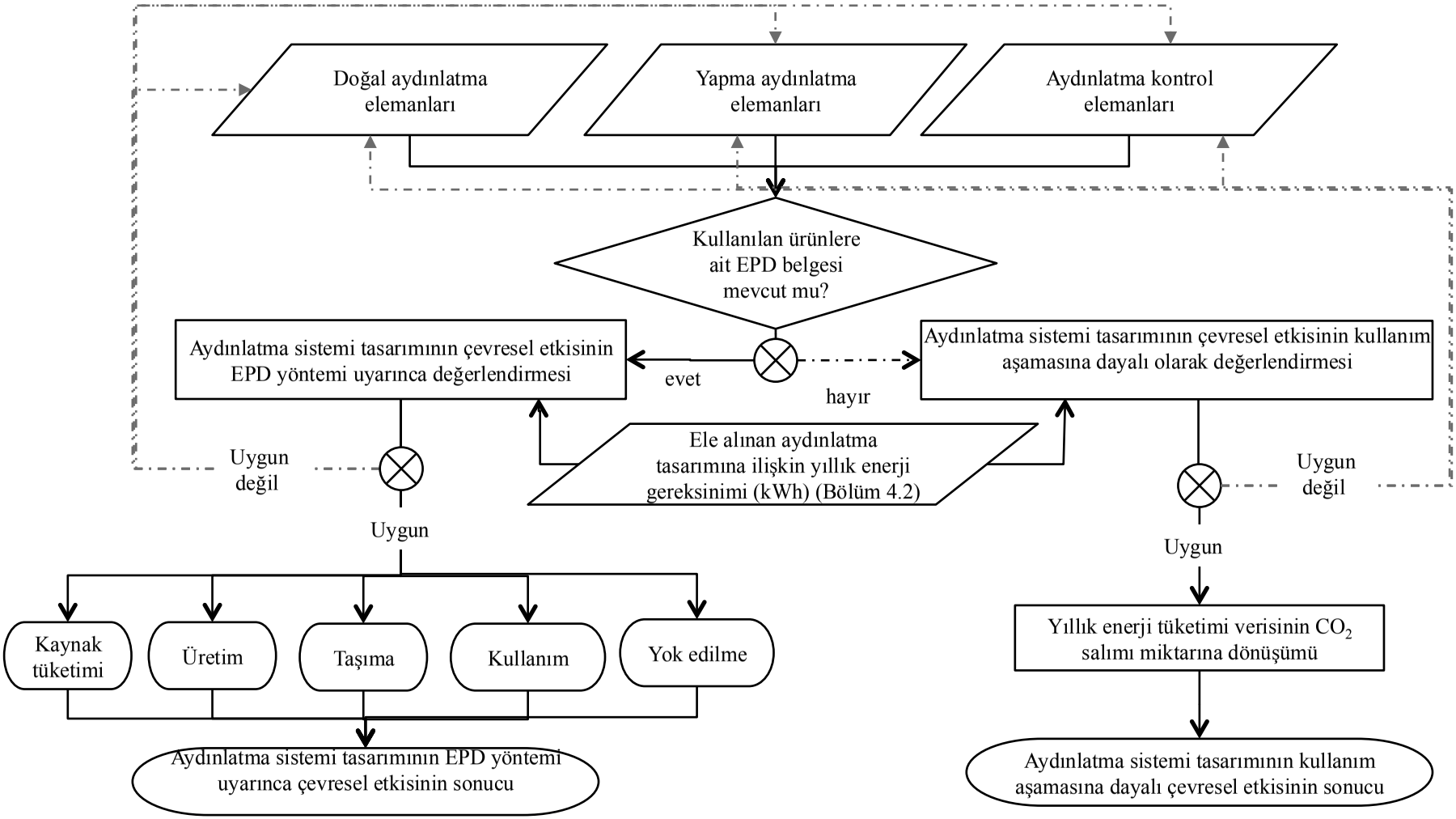
Aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansının belirlenmesi, doğal tasarım parametrelerine, fiziksel tasarım parametrelerine ve bina kullanıcılarına ilişkin parametrelere bağlıdır. Ele alınan mekanda günışığı kullanımının mevcut olması durumunda mekanın doğal aydınlatma performansının yıllık olarak belirlenmesi ve buna bağlı olarak yapma aydınlatma sisteminin kullanılma durumunun ortaya konması gerekmektedir. Yıllık aydınlatma enerjisi performansının doğal

aydınlatmaya bağlı olarak belirlenebilmesinde yaklaşımın 4.1.1.2 bölümünde detayları aktarılan 'sürekli günışığı otonomisi' yöntemi sonuçları kullanılır. Bu bilgiler ile doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin kullanım potansiyeli belirlenir ve yapma aydınlatmanın doğal aydınlatmaya bağlı kullanım oranı saptanır. Ele alınan mekanda yalnızca yapma aydınlatma sisteminin kullanılması durumunda ise yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin belirlenmesinde binanın kullanım saatleri, kullanıcı davranışları ve yapma aydınlatma sistemi ilişkin özellikleri dikkate alınır.

Ele alınan aydınlatma sistemi ön tasarımına yönelik olarak elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarına bağlı olarak aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansı belirlenir. Aydınlatma sistemi tasarımı kararına yönelik olarak elde edilen 'yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi' değeri kullanılarak yıllık aydınlatma enerjisine ilişkin maliyet ve aydınlatma sistemlerinin kullanımı sonucu oluşan CO_2 salımı miktarı belirlenir. Aydınlatma sistemi tasarım aşamasından itibaren aydınlatma enerjisinin minimize edileceği seçimlerin gerçekleştirilmesi geliştirilen yaklaşım uyarınca sağlanabilmektedir.

4.3 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi

Aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan bileşenlerin çevresel etkisinin belirlenmesi ve ilgili tercihlerin bu durum gözetilerek gerçekleştirilmesi, sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir. Bu konuda gerçekleştirilen çalışmalara ilişkin bilgilere bölüm 2.3'de yer verilmiştir. Aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen yaklaşımda, aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkilerinin ayrıntılı olarak ele alınması ve aydınlatma tasarımlarında kullanılan ürünlerin en az çevresel etkiye sahip olacak şekilde seçilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım, yok edilme aşamalarının her birinde çevreye en az zarar veren, minimum enerji ve kaynak tüketen aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Yaklaşım uyarınca aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirmesine yönelik olarak hazırlanan akış diyagramına Şekil 4.6'da yer verilmiştir.



Şekil 4.6 : Aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi akış diyagramı.

Geliştirilen yaklaşım uyarınca aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi adımları şu şekildedir:

- Aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan doğal aydınlatma sistemi elemanları, yapma aydınlatma sistemi elemanları ve aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılan ürünlere ilişkin çevresel ürün beyanı (EPD) verilerinin elde edilmesi,
- Aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan elemanların EPD dokümanlarında yer alan veriler uyarınca yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemi ile çevresel etkinin değerlendirmesi,
- Aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan elemanların kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım, yok edilme aşamalarında oluşan çevresel etkinin değerlendirmesi,
- Aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan elemanların EPD dokümanlarının mevcut olmaması durumunda, kullanım aşamasına dayalı olarak çevresel etkinin değerlendirilmesi.

Aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin çevresel etkilerinin değerlendirilebilmesi hedefiyle doğal ve yapma aydınlatma sistemi elemanlarına ve kullanılan aydınlatma kontrol sistemlerine yönelik verilerin elde edilmesi ve envanter çalışmasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çevresel etkinin kapsamlı olarak değerlendirilebilmesi hedefiyle bu verilerin, ilgili sistem elemanlarının üretimi, kaynak tüketimi, ürünün üretildiği konumdan kullanılacağı konuma olan ulaştırılma biçimi ve ulaşımda kullanılan taşıt türü, ürünün kullanım ömrü, kullanım esnasında oluşan kaynak ya da enerji tüketimi miktarı ve son olarak ürünün yok edilme stratejisine yönelik detayları içermesi beklenmektedir. Bu doğrultuda, gerekli tüm verilerin nitelik olarak benzerliği ve bu verilerin güvenilirliğinin kanıtlanmış olması, tasarım alternatiflerinin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi açısından son derece önemlidir.

Geliştirilen yaklaşımda, öncelikli olarak aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan tüm ürünlerin 2012 yılında yayınlanan EN 15804 standardı uyarınca hazırlanan EPD belgelerine sahip olması şartı aranır. Bu yöntemde, kullanılan aydınlatma elemanlarının kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım, yok edilme aşamalarına ilişkin çevresel etki sonuçları, çevresel ürün beyanlarında yer alan veriler uyarınca

elde edilir. Böylelikle geliştirilen yaklaşımda aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin belirlenmesi ve tasarım alternatiflerinin çevresel etki gözetilerek karşılaştırılması ile optimum çözümlerin elde edilmesi gerçekleştirilir.

EN 15804 standardı uyarınca binalarda kullanılan ürünlere yönelik olarak hazırlanan çevresel ürün beyanı (EPD) dokümanlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak bu tür detaylı çevresel etki analizi çalışmalarının günümüz koşullarında yeterince yaygın olmaması ve aydınlatma sektöründeki ürünlerin çoğu için EPD dokümanlarının bulunmaması nedenleriyle yaklaşımda alternatif bir yöntemin kullanımı önerilmektedir. Bu yöntemde, aydınlatma elemanlarına ilişkin çevresel etkinin en yüksek oranda gerçekleştiği 'kullanım aşaması' değerlendirilerek, yıllık aydınlatma enerjisi tüketimine dayalı olarak doğaya salınan sera gazı miktarı hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım uyarınca aydınlatma sistemi tasarımlarına ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin özellikleri dikkate alınarak hesaplanmış olması beklenmekte, bu hesaplamalar çalışmanın 4.2 bölümünde detayları aktarılan yöntem uyarınca gerçekleştirilmektedir. Ele alınan aydınlatma sistemi tasarım alternatifi için elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi miktarı, enerji kaynağına bağlı olarak değişen 'dönüşüm katsayıları' yardımı ile yıllık 'birincil enerji miktarına' (kWh/yıl) dönüştürülür. İlgili dönüşüm katsayılarının ulusal verilere dayanması gerekmektedir. Bu katsayıların güncellenmesi durumunda, en güncel dönüşüm verilerinin kullanımı esastır. Aydınlatma enerjisi tüketiminden kaynaklanan birincil enerji miktarı da enerji kaynağına bağlı olarak değişen 'CO_2 salımı dönüşüm katsayısı' yardımı ile CO_2 salımı miktarına dönüştürülür. Böylelikle aydınlatma sistemi tasarımının yıllık CO_2 salımı belirlenerek aydınlatma sistemi tasarımının çevresel etkisi kullanım aşamasına bağlı olarak saptanır.

4.4 Aydınlatma Sistemi Tasarımının Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirmesi

Avrupa'da binaların enerji performansının arttırılması ve CO_2 salımının azaltılması hedefiyle 2002 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD), 2010 yılında revize edilmiştir. Bu dokümanda "yaklaşık sıfır enerjili bina" ile "optimum enerji performansı ve maliyet " kavramları ortaya konmaktadır. AB üye ülkelerinde binalarda minimum enerji kullanımı ile optimum maliyet

düzeylerinin hesaplanması beklenmektedir (EPBD recast, Directive 2010/31/EU, 2010). Direktifte tanımlanan çerçeve yöntem, 2012 yılında yayınlanan AB yönetmeliği ile açıklanarak ilgili yönetmelikte binalarda enerji performansı analizleri ve maliyet analizleri ile optimum enerji performans düzeylerinin belirlenmesi hedeflenir (Commission Delegated Regulation EU No 244/2012, 2012; Ganiç & Yılmaz, 2014). 2012 yılında yayınlanan 244/2012 yönetmeliğinde "net bugünkü değer yöntemi" ile hesaplanması öngörülmektedir. Bu yöntem, binaların veya bina alt sistemlerinin maliyet açısından değerlendirilmesi hedefiyle hazırlanmış olan "EN 15459 Avrupa Standardı'nda açıklanmaktadır (EN 15459, 2007).

Bu yaklaşımda aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet açısından değerlendirilmesinde finansal verilere (hesap periyodu, piyasa faiz oranı, geri ödeme süresi, hesap yılına ilişkin elektrik enerjisi birim fiyatı), kullanılan elemanların ömrüne ve aydınlatma sistemi tasarımına ilişkin maliyet verilerine gereksinim duyulmaktadır. Birim fiyat verileri, yürürlükte olan piyasa fiyatları derlenerek elde edilebilmektedir. Bina alt sistemlerine ilişkin ortalama ömür bilgileri için EN 15459 Avrupa standardı referans gösterilmektedir (EN 15459, 2007). EN 15459 Standardı'nda tanımlanan "net bugünkü değer yöntemi kullanılarak maliyet hesabı, Eşitlik 4.1 uyarınca gerçekleştirilmektedir.

$$C_g(\tau) = C_1 + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} \left(c_{a,i}\,(j)\; x\; R_d\,(i) \right) - v_{f,\tau}\,(j) \right] \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada,

τ : hesaplama süresi,

Cg(τ) : toplam maliyet,

Cl : ilk yatırım maliyeti,

Ca,i(j) : yıllık giderler,

Vf,τ(j) : binanın, hesaplama süresi sonunda kalan bedeli,

Rd (i) : i yılı için indirim oranı'dır.

İndirim oranının belirlenebilmesi için öncelikle reel faiz oranının hesaplanması gerekmektedir. Reel faiz oranı, Eşitlik 4.2 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$R_R = \frac{(R - R_i)}{(1 + R_i/100)} \qquad \textbf{(4.2)}$$

Burada,

R_R: reel faiz oranı,

R: piyasa faiz oranı,

$R_İ$: enflasyon oranı'dır.

İndirim oranı ise reel faiz oranı ve hesap başlangıç tarihinden itibaren geçen yıl sayısına bağlı olarak Eşitlik 4.3 yardımı ile belirlenmektedir.

$$R_d\,(p) = \left(\frac{1}{1+R_R/100}\right)^P \quad \textbf{(4.3)}$$

Burada,

$R_d\,(p)$: indirim oranı,

R_R: reel faiz oranı,

p: hesap başlangıç tarihinden itibaren geçen yıl sayısı'dır.

EN 15459 standardı'nda işletme, bakım- onarım maliyeti, enerji maliyeti gibi her yıl sürekli olarak oluşan maliyetlerin hesaplanması için bugünkü değer faktörünün kullanılması önerilmektedir. Bugünkü değer faktörü, reel faiz oranı (R_R) ve hesap periyodu dikkate alınarak Eşitlik 4.4 yardımı ile belirlenebilmektedir.

$$f_{pv}(n) = \frac{1-(1+R_R/100)^{-n}}{R_R/100} \quad \textbf{(4.4)}$$

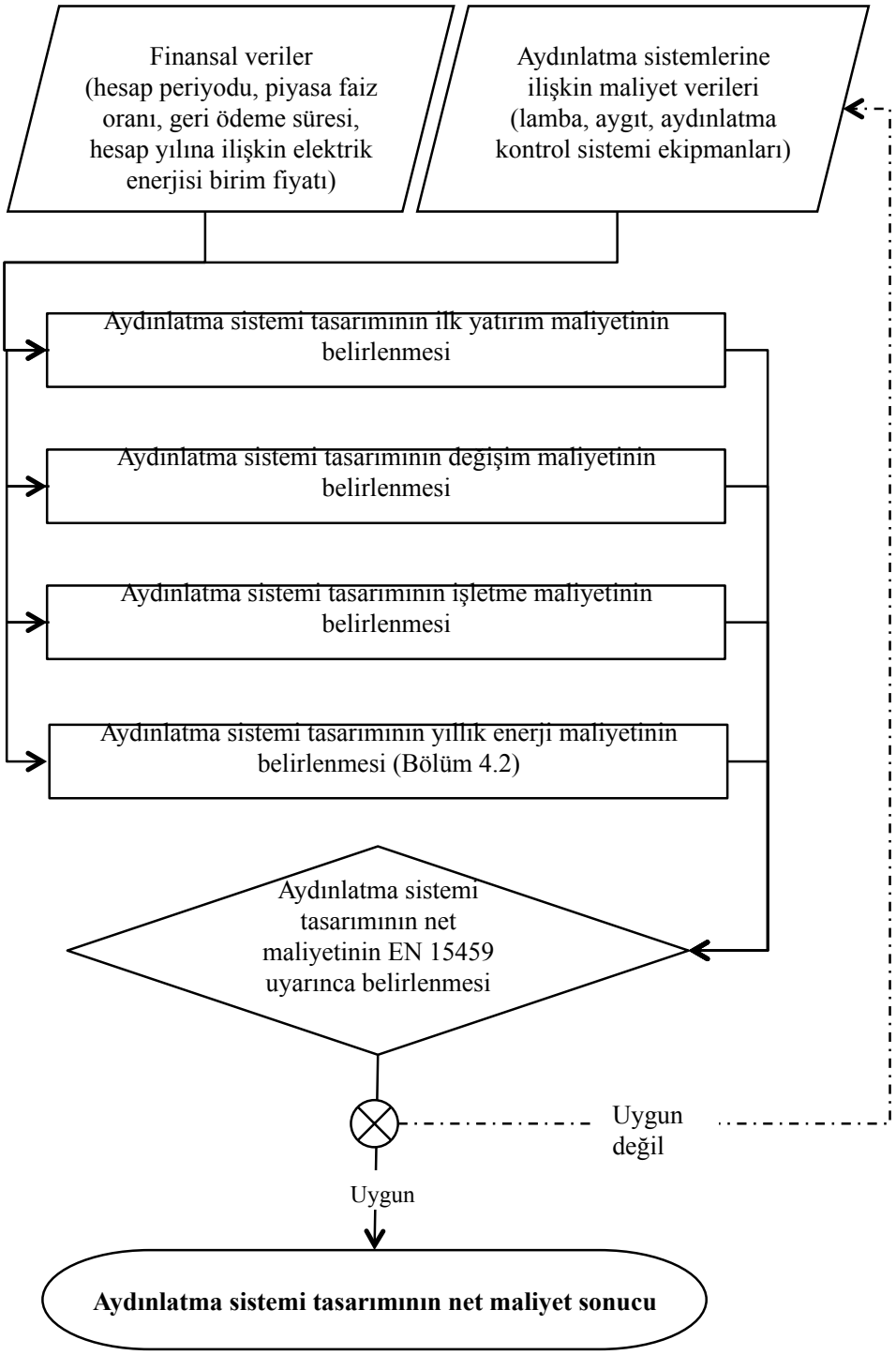
Burada,

$f_{pv}(n)$: bugünkü değer faktörü,

R_R: reel faiz oranı,

n: hesap periyodu (yıl)'dır.

Çalışmanın bu bölümünde, aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet açısından değerlendirilmesi hedefiyle 244/2012 yönetmeliğinde tanımlanan "net bugünkü değer yöntemi" uyarınca EN 15459 standardına dayalı bir yaklaşım önerilmiş ve aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet etkinlik açısından değerlendirilmesi ile net maliyetin hesaplanabilmesi için Şekil 4.7'de verilen akış diyagramı hazırlanmıştır.



Şekil 4.7 : Aydınlatma sistemi tasarımının net maliyetinin belirlenmesi.

Aydınlatma sistemi tasarımının net maliyetinin belirlenmesi, net bugünkü değer yöntemi uyarınca ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, işletme maliyeti ve enerji maliyeti hesaplarından oluşmaktadır. Aydınlatma sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin hesaplanmasında, kullanılan ürünlerin birim fiyatları ve sistemlerin kurulum, bakım ve onarımı için gerekli personel giderleri Katma Değer Vergisi (KDV) dahil olacak şekilde dikkate alınır. Maliyet hesaplamalarında kullanılan

aydınlatma ürünlerinin birim fiyat verileri ile seçilen sistemlerin ömürlerine ilişkin veriler, üretici firmalardan temin edilebilmektedir. Aydınlatma sistemlerinin yenileme maliyetleri, kurulan sistemlerin ömürleri dikkate alınarak hesaplanmakta ve yenilemenin gerçekleşeceği yıl için indirim oranı, reel faiz oranı (piyasa faiz oranı ve enflasyon oranını dikkate alacak şekilde) verilerine bağlı olarak belirlenmektedir. Aydınlatma sistemlerinin işletme maliyetleri, aydınlatma sistemlerine ilişkin bakım ve onarım ile ilgili maliyet bilgilerini içerecek şekilde hesaplanır. Aydınlatma sistemlerinin enerji maliyetlerinin belirlenmesinde, ele alınan tasarım için bölüm 4.2 uyarınca hesaplanan aydınlatma enerjisi gereksinimleri veri olarak kullanılır. Aydınlatma sistemi tasarımları için belirlenen aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin maliyet açısından karşılığı hesaplanırken, kullanılacak olan elektrik enerjisi birim fiyatının Türkiye koşullarında ilgili yıl için Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ)'nden elde edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ele alınan aydınlatma sistemi tasarımında kullanılan lambaların ve kontrol sistemlerinin parazit güçlerinin de EN 15193 standardı uyarınca dikkate alınması gerekmektedir.

Geliştirilen yaklaşım ile aydınlatma sistemi tasarımlarının net maliyetlerinin belirlenmesi mümkün olmakta ve ele alınan tasarım alternatiflerinin maliyet etkinlik açısından değerlendirilmeleri sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucu maliyet etkinlik açısından uygun sonuca sahip olmayan tasarım alternatiflerinin revize edilmesi ile maliyet optimum seçenekler elde edilir.

4.5 Geliştirilen Yaklaşım Uyarınca Elde Edilen Sonuçların Derlenmesi ve Aydınlatma Tasarımı Göstergelerinin Oluşturulması

Çalışmanın bu bölümü, geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı' yaklaşımı kapsamında elde edilen sonuçların derlenmesi ve aydınlatma tasarımı göstergelerinin oluşturulmasını içermektedir. Yaklaşım uyarınca gerçekleştirilen değerlendirme sonuçları, aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir:

Aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar: Doğal ve yapma aydınlatma sistemleri için görsel konfor koşulları açısından değerlendirme sonuçlarını içerir. Doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor koşulları açısından değerlendirmesi sonuçları şu şekildedir:

- doğal aydınlatma sisteminin yıllık performans sonucu (Sürekli günışığı otonomisi yöntemi uyarınca, %),
- doğal aydınlatmaya bağlı yıllık kamaşma değerlendirmesi sonucu (DGP yöntemi uyarınca, %),
- dış görüşün sağlanması açısından gerçekleştirilen değerlendirme sonucu (CIBSE LG10 ve BS 8206-2 standartları uyarınca, %).

Yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor koşulları açısından değerlendirmesi ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Lamba ve aygıt seçiminin uygunluğu (EN 12464 Standardı uyarınca),
- Hacimde yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi sonucu (EN 12464 Standardı uyarınca),
- Hacimde yapma aydınlatma sistemi ile sağlanan düzgünlük sonucu (EN 12464 Standardı uyarınca),
- Yapma aydınlatma sistemine bağlı kamaşma değerlendirmesi sonucu (EN 12464 Standardı- UGR yöntemi uyarınca),
- Yapma aydınlatma sisteminin doğal aydınlatma ile optimum bütünleştirilmesi sonucu (EN 12464 Standardı uyarınca).

Aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansı açısından değerlendirilmesi sonucu: Bu değer, 'sürekli günışığı otonomisi yöntemi' ile belirlenen doğal aydınlatma performansına bağlı olarak yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin özelliklerin ve kullanıcıya ilişkin parametrelerin dikkate alınması ile belirlenir. Aydınlatma sistemi tasarımının enerji performansı açısından değerlendirilmesi sonuçlarında kullanılan birim, kWh'dır.

Aydınlatma sistemi tasarımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi sonuçları:

- Aydınlatma sistemi tasarımının çevresel etkisinin EPD yöntemince değerlendirilmesi sonucu (kaynak tüketimi, üretim, taşıma, kullanım, yok edilme aşamalarının her birinde oluşan çevresel etki sonuçları),
- Aydınlatma sistemi tasarımının çevresel etkisinin kullanım aşamasında doğaya salınan CO_2 miktarına dayalı olarak değerlendirilmesi sonucu (yıllık kg eşd CO_2 /yıl).

Aydınlatma sistemi tasarımının maliyet etkinlik açısından değerlendirmesine ilişkin sonuçlar: Bu değer aydınlatma tasarımının özelliklerine bağlı olarak EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi ile belirlenir. Bu bölümde aydınlatma tasarımının ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, işletme maliyeti, enerji maliyeti ve net maliyete ilişkin sonuçlar yer almaktadır. Elde edilen sonuçların birimi, TL'dir.

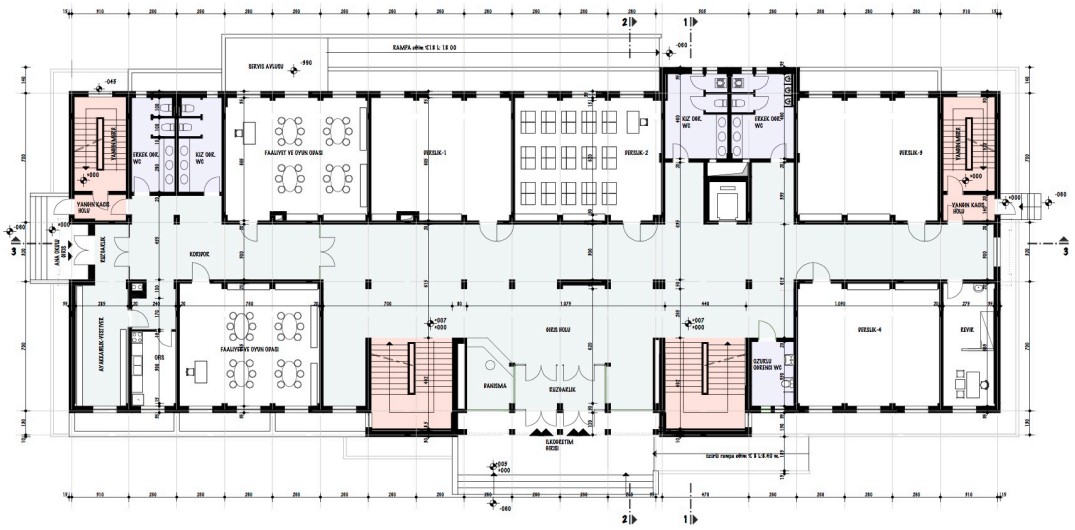
Aydınlatma tasarımı göstergeleri, geliştirilen yaklaşım uyarınca elde edilen sonuçların derlenmesi ile hazırlanan göstergelerdir. Geliştirilen aydınlatma tasarımı göstergelerinin kullanım amacı, elde edilen sonuçların sistematik bir şekilde sunulmasıdır. Yaklaşım kapsamında oluşturulan aydınlatma tasarımı göstergesi örneğine Çizelge 4.6'da yer verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Yaklaşımda oluşturulan aydınlatma tasarımı göstergesi örneği.

SenaryoAdı: ……			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	…….(%)
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	DGP değeri (%)
		Dış Görüşün Sağlanması	CIBSE LG10 ve BS 8206-2 Kriterleri	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	(uygun/değil)
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	EN 12464-1 Kriterleri	EN 12464-1	.....(lux)
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	EN 12464-1 Kriterleri	EN 12464-1	U değeri
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	EN 12464-1 Kriterleri	UGR yöntemi (EN 12464-1)	UGR değeri
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	EN 12464-1 Kriterleri	EN 12464-1	Ra değeri
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi		EN 12464-1	(var/yok)
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi	….. kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	….. (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	….. TL

5. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN MİMARİ AYDINLATMA SİSTEMİ TASARIMI YAKLAŞIMININ TÜRKİYE İÇİN UYGULANMASI

Çalışmanın bu bölümünde, Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı'nın Türkiye koşulları için örnekler üzerinde uygulanması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel özellikleri dikkate alınarak farklı doğal ve fiziksel çevre tasarım parametreleri için uygulanmıştır. Uygulama için seçilen tipoloji, bir ilkokul binasıdır. Ele alınan bina, Türkiye'de Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı'nca projeleri hazırlanan ve 'Eğitim yapıları mimari proje hazırlanması genel ilkeleri' adlı yayın uyarınca proje detayları belirtilerek farklı bölgelerde uygulanan bir tip projedir (MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı, 2006). Seçilen tip ilköğretim okulu binası, 16 derslikli bir yapı olup öğretmenler odası, idari mekanlar, sirkülasyon alanları, toplantı odası, wc alanları gibi farklı eylemlere hizmet eden mekanlardan oluşmaktadır. Şekil 5.1'de uygulama için seçilen binaya ilişkin bir kat planına, Şekil 5.2'de ise binanın kesitine yer verilmiştir. Kullanım saatleri 08:00-17:00 arasında olan bina, Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında kullanılmamaktadır.



Şekil 5.1 : İncelenen ilköğretim binası zemin kat planı (MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı, 2006).

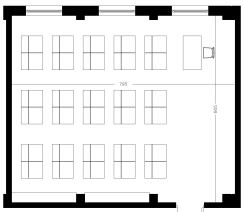
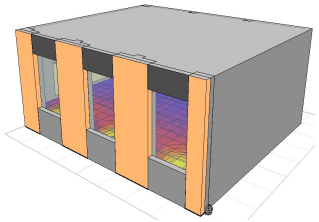
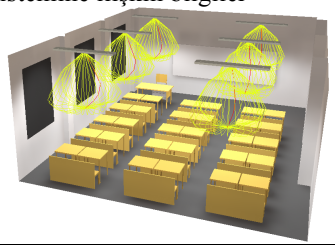


Şekil 5.2 : İncelenen ilköğretim binası kesiti (MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı, 2006).

Eğitim binalarında en sık karşılaşılan ve tekrarlanan hacim türü, gün saatlerinde etkin olarak kullanılan derslik mekanlarıdır. Bu mekanlara ilişkin optimum aydınlatma sistemi tasarımlarının geliştirilmesi, öğrenci ve öğretmenlerin görsel ihtiyaçlarının uygun şekilde karşılanması ve aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi açılarından önemlidir. Bu nedenle geliştirilen yaklaşımın uygulaması, tip ilköğretim okulu dersliği örneğinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.1'de ele alınan binaya ve incelenen dersliğe ilişkin mevcut mimari proje ve aydınlatma sistemi bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler, MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı tarafınca hazırlanan mimari proje ve elektrik tesisat projelerinden elde edilmiştir.

Geliştirilen yaklaşımının Türkiye koşulları için uygulanması, ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımının optimize edilebilmesi hedefiyle farklı tasarım parametreleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımının Türkiye koşulları için uygulanması ve görsel konfor, aydınlatma enerjisi, çevresel etki ile maliyet etkinlik açılarından oluşacak farklılıkların belirlenebilmesi hedefiyle Türkiye'nin beş farklı iklim tipini temsil eden şehirlerin ele alınması önerilmektedir. Daha önceden gerçekleştirilen çalışmalarda bu şehirler Ankara (ılımlı-kuru), Antalya (sıcak-nemli), Diyarbakır (sıcak-kuru), Erzurum (soğuk) ve İstanbul (ılımlı-nemli) olarak belirlenmiştir (Berköz, Küçükdoğu ve diğ, 1995). Bu çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşım İstanbul ve Antalya şehirleri için uygulanmıştır.

Çizelge 5.1 : İncelenen bina ve dersliğe ait mevcut mimari proje ve aydınlatma sistemi bilgileri.

Binaya ilişkin bilgiler 	Bina türü: İlköğretim Okulu Bina kullanım saatleri: 08:00-17:00 (Temmuz-Ağustos-Eylül ayları hariç) Toplam öğrenci kapasitesi: 480 Binada bulunan derslik adedi: 16
Derslik hacmine ilişkin bilgiler 	İncelenen hacim türü: Derslik Hacim boyutları: 7.95 m x 6.65m Hacim yüksekliği: 3.2 m Derslik alanı: 52.86m^2 İç yüzeylerin ışık yansıtma katsayıları: Duvar -%55, tavan -%70, döşeme -%30, çalışma düzlemi-%40 (EN 12464 standardına uygun olacak şekilde)
Hacmin doğal aydınlatma sistemine ilişkin bilgiler 	Hacimde bulunan pencere adedi: 3 Pencere boyutları (en x yükseklik, m): 1.3m x 1.8m Saydamlık oranı: %30 Pencere camının ışık geçirme katsayısı: %80 (berrak cam, 4+4 Isıcam Klasik) Yönlenme: Güney Engel durumu: Engelsiz Güneş kontrol elemanı: Mevcut değil
Hacmin yapma aydınlatma sistemine ilişkin bilgiler 	İstenen aydınlık düzeyi (lx): 300 lx Mevcut lamba türü-gücü (W): 6 adet tüp flüoresan (36Wx2) Lambaların ışık akısı: 3350 lm x2 Lambaların renksel geriverim indisi (Ra): 80 Aygıt türü: Açık aygıt Referans düzlem yüksekliği (m): 0.67 m

Geliştirilen yaklaşım kullanılarak farklı aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinin görsel konfor, enerji performansı, çevresel etkisi ve maliyet etkinlik açılarından değerlendirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada farklı parametre değerlerinin sonuçlara olan etkisini irdelemek hedefiyle belirli tasarım alternatifleri seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Ele alınan tasarım değişkenleri, doğal aydınlatma sistemi, yapma aydınlatma sistemi ve aydınlatma kontrol sistemi senaryolarını içermektedir. Çalışmada beş adet doğal aydınlatma (D1-D5), üç adet yapma aydınlatma (A0-A3) ve üç adet aydınlatma kontrolü senaryosu (K1-K3) ele alınarak geliştirilen yaklaşım uygulanmıştır. Çizelge 5.2'de geliştirilen yaklaşımın uygulandığı senaryolara ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Geliştirilen yaklaşımın uygulamasının gerçekleştirildiği senaryolar.

Senaryo Türü	Kodu	Senaryo Adı
Doğal Aydınlatma	D1	İstanbul, Güney yönü, Engelsiz durum, Güneş kontrol elemanı mevcut değil
	D2	Antalya, Güney yönü, Engelsiz durum, Güneş kontrol elemanı mevcut değil
	D3	İstanbul, Güneybatı yönü, Engelsiz durum, Güneş kontrol elemanı mevcut değil
	D4	İstanbul, Güney yönü, Engelli durum, Güneş kontrol elemanı mevcut değil
	D5	İstanbul, Güney yönü, Engelsiz durum, Güneş kontrol elemanı mevcut
Yapma Aydınlatma	A0	Ele alınan hacmin mevcut yapma aydınlatma sistemi
	A1	Tüp flüoresan (2xT26 36W/840) lambaların kullanımı ve uygun aygıt seçimi
	A2	Enerji etkin LED aydınlatma sisteminin kullanımı
Aydınlatma Kontrolü	K1	Manuel açma- kapama
	K2	Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama
	K3	Günışığına bağlı loşlaştırma

5.1 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Görsel Konfor Koşulları Açısından Değerlendirilmesi

Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşullarını sağlaması süreci, doğal ve yapma aydınlatma sistemleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde doğal ve yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin görsel konfor koşullarının değerlendirilmesi farklı tasarım alternatifleri için gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

5.1.1 Ele alınan derslik hacmi doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi

Ele alınan derslik hacmi için önerilen doğal aydınlatma sistemi senaryolarının görsel konfor performansı belirlenmesi, hacmin yıllık doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi, günışığı kaynaklı kamaşmanın değerlendirilmesi ve dış görüş açısından tasarımın yeterliliğinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Ele alınan doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin bilgiler, Çizelge 5.3'de yer almaktadır.

Çizelge 5.3 : Doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin bilgiler.

Senaryo Kodu	Senaryo Bilgileri			
	Konum	Yönlenme	Engel Durumu	Güneş Kontrol Elemanı
D1	İstanbul	Güney	Engelsiz	Yok
D2	Antalya	Güney	Engelsiz	Yok
D3	İstanbul	Güneybatı	Engelsiz	Yok
D4	İstanbul	Güney	Engelli	Yok
D5	İstanbul	Güney	Engelsiz	Mevcut

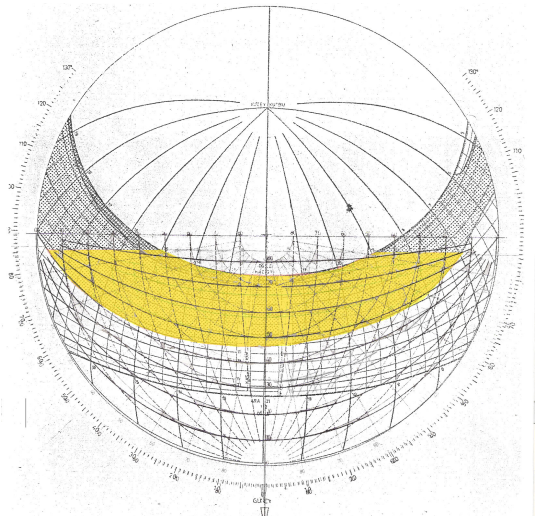
D1 kodlu doğal aydınlatma sistemi senaryosu, ele alınan derslik için mevcut durumu temsil etmektedir. D2 kodlu senaryoda ele alınan dersliğin Antalya'da bulunması

durumu dikkate alınmıştır. D3 kodlu senaryoda derslik yönünün ‘güneybatı’ olması durumu incelenmiştir. D4 kodlu senaryoda ele alınan dersliğin orta yoğunlukta bir kent dokusunda bulunması ve dersliğe ait pencerelerin sürekli bir engel ile engellenmiş olması durumu incelenmiştir. Bu senaryoda engel yüzeyinin %30, zeminin ise %20 ışık yansıtma katsayısına sahip olduğu kabul edilmiştir. Engelin ele alınan dersliğe uzaklığı 15m, engel yüksekliği 10.3 m ve engel açısı 30°’dir. Şekil 5.3’de ele alınan derslik hacmi ve engel ilişkisini gösteren bir kesite yer verilmiştir.



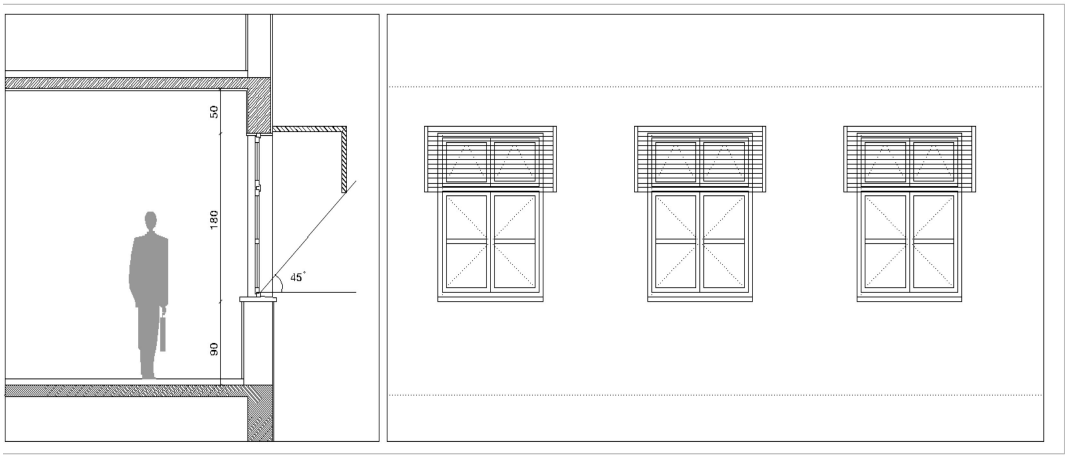
Şekil 5.3 : İncelenen derslik ve engel ilişkisi (D4 kodlu senaryo).

D5 kodlu senaryoda, İstanbul’da güneye yönlenmiş derslikte sabit bir güneş kontrol elemanı bulunması durumu incelenerek kullanımı önerilen eleman, Olgyay & Olgyay grafik yöntemi uyarınca tasarlanmıştır (Olgyay & Olgyay, 1957). Çalışmada İstanbul koşulları için oluşturulan güneş yörüngesi diyagramında gölgeleme istenen süreler dikkate alındığında gölgeleme aracı profil açısı 45° olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4’de güneş kontrol elemanı profil açısının belirlenmesi çalışması bulunmaktadır.

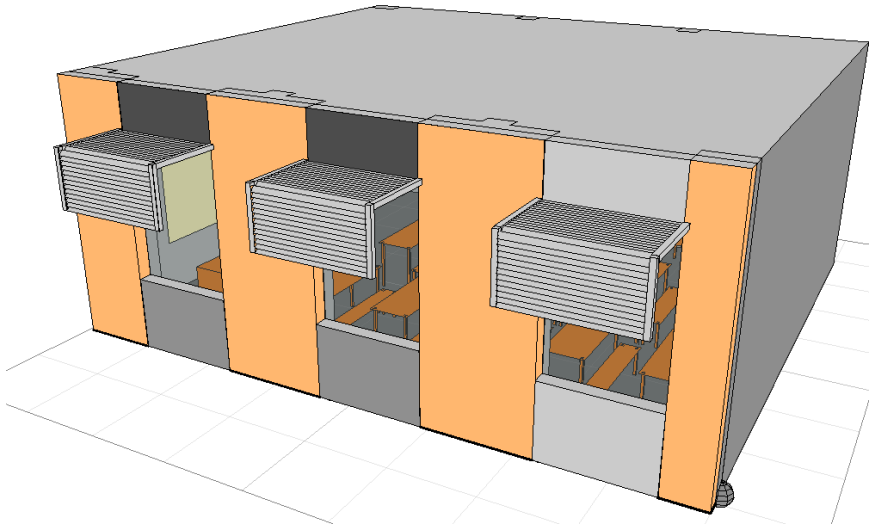


Şekil 5.4 : Güneş kontrol elemanı profil açısının belirlenmesi.

Belirlenen profil açısına bağlı olarak tasarlanan güneş kontrol elemanının binada uygulanmasını ifade eden kesit ve görünüş Şekil 5.5'de verilmiştir. Önerilen güneş kontrol elemanı yatay bölümde 16, düşey bölümde ise 14 adet 45° açı ile yerleştirilmiş sabit güneş kırıcı elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanların %50 ışık yansıtma katsayısına sahip olduğu kabul edilmiştir. Şekil 5.6'da D5 kodlu senaryoda kullanılan güneş kontrol elemanının uygulandığı cephe modeline yer verilmiştir.



Şekil 5.5 : Güneş kontrol elemanının uygulamasını ifade eden kesit ve görünüş.



Şekil 5.6 : Güneş kontrol elemanının uygulamasını ifade eden cephe modeli.

5.1.1.1 Ele alınan dersliğin bulunduğu ildeki dış aydınlık düzeylerinin hesaplanabilmesi için uygun gök modelinin belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin belirli bölgeleri için gök aydınlığı dağılımının hesaplanmasında CIE Standart Genel Gök Yöntemi'nin ilgili gök modelleri kullanılmış olup gök modelinin belirlenmesine ilişkin detaylar, çalışmanın 4.1.1.1

bölümünde açıklanmıştır. İstanbul ve Antalya koşulları için Perez Berraklık İndeksi'ne dayalı olarak hesaplanıp kategorize edilmiş saatlik gök durumu bilgileri, Radiance programında veri olarak kullanılmıştır. Çalışmada seçilen iller için ilgili hesap tarihlerinde elde edilen gök modeli sonuçlarına Çizelge 5.4'de yer verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Ele alınan hesap tarihleri için belirlenen gök modeli sonuçları.

	İstanbul			Antalya		
	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	Kapalı Gök	Kapalı Gök	Ortalama Gök	Kapalı Gök	Ortalama Gök	Açık Gök
12:00	Ortalama Gök	Ortalama Gök	Açık Gök	Ortalama Gök	Ortalama Gök	Açık Gök
16:00	Kapalı Gök	Kapalı Gök	Ortalama Gök	Kapalı Gök	Ortalama Gök	Açık Gök

5.1.1.2 Ele alınan derslik hacmi için doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi

Ele alınan derslik hacminde uygulanan doğal aydınlatma sistemi tasarımı senaryolarına ilişkin elde edilen doğal aydınlatma sistemi performansı sonuçları bu bölümde verilmektedir. Bu hedefle, günışığı hesaplamaları, derslik mekanında 0.67 m yükseklikte bulunduğu kabul edilen çalışma düzlemi üzerindeki 252 nokta için (18x14) gerçekleştirilmiştir. Ele alınan senaryolara ilişkin fiziksel modellemeler, Radiance ve Evalglare programlarında kullanılmak üzere Ecotect yazılımında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.5'de hesaplamalarda kullanılan tarih ve saatlerin yıllık olarak temsil ettiği toplam saat bilgilerine yer verilmektedir.

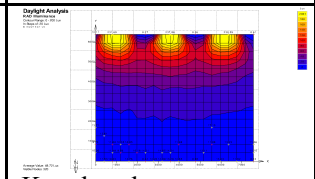
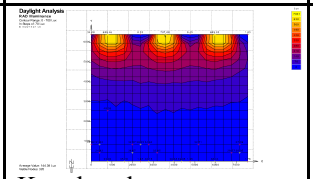
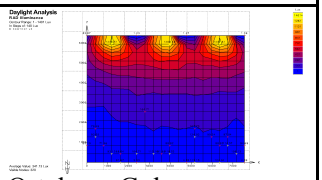
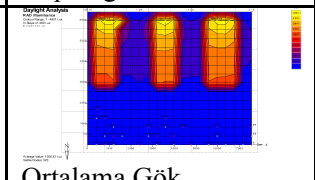
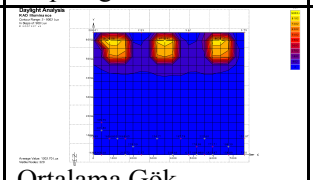
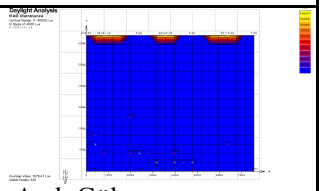
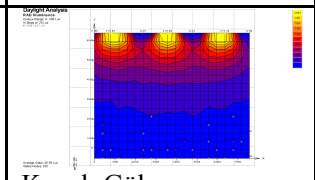
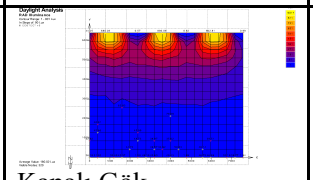
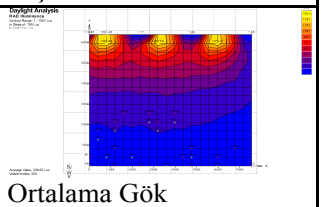
Çizelge 5.5 : Hesaplamalarda kullanılan temsili tarih ve saat bilgileri.

Hesap Tarihi	Temsili ay	Temsili işgünü sayısı	Temsil edilen toplam saat
15 Aralık 08:00	Kasım- Aralık- Ocak	66 gün (22+22+22)	198
15 Aralık 12:00	Kasım- Aralık- Ocak		198
15 Aralık 16:00	Kasım- Aralık- Ocak		198
15 Mart 08:00	Şubat- Mart- Nisan- Ekim	86 gün (20+22+22+22)	258
15 Mart 12:00	Şubat- Mart- Nisan- Ekim		258
15 Mart 16:00	Şubat- Mart- Nisan- Ekim		258
15 Haziran 08:00	Mayıs- Haziran	44 gün (22+22)	132
15 Haziran 12:00	Mayıs- Haziran		132
15 Haziran 16:00	Mayıs- Haziran		132
Toplam Çalışma saati			1764

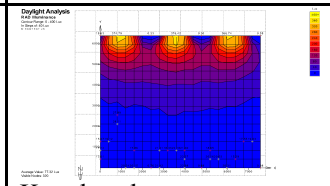
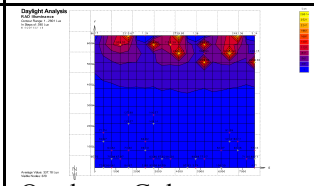
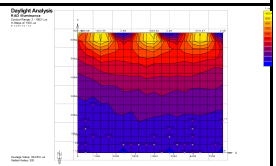
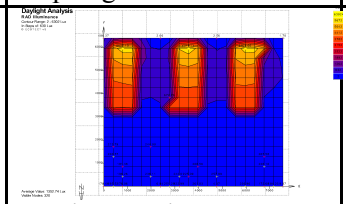
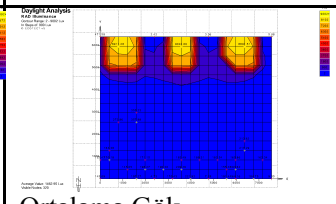
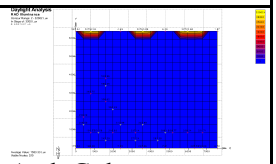
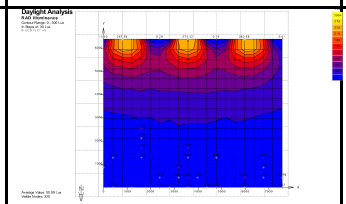
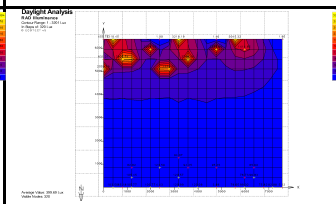
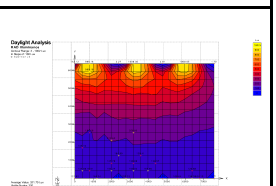
Gerçekleştirilen doğal aydınlatma sistemi simülasyonları aracılığı ile incelenen hacimde yıllık olarak oluşan günışığı koşullarının ifade edilmesi hedeflenmektedir. Ele alınan senaryolara ilişkin olarak hesap tarihlerinde ve saatlerinde çalışma

düzleminde günışığı ile elde edilen aydınlık dağılımı belirlenmiştir. Ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin olarak elde edilen günışığı dağılımı sonuçları Çizelge 5.6. – 5.10'da yer almaktadır.

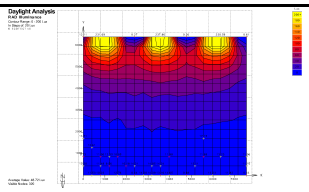
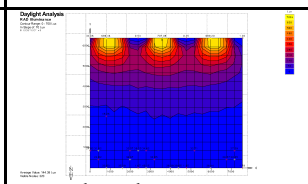
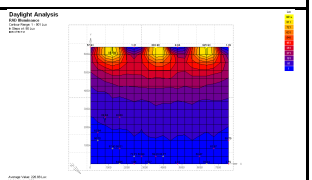
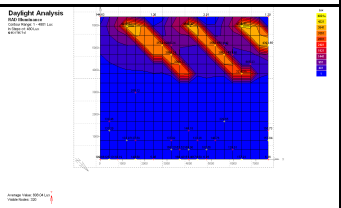
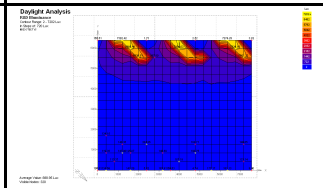
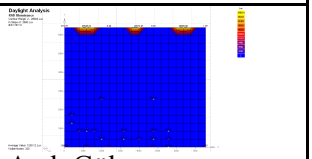
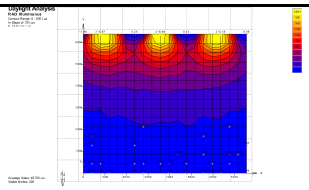
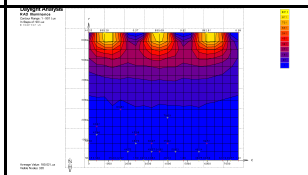
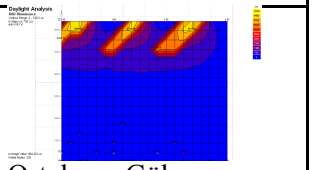
Çizelge 5.6 : D1 senaryosu, hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı.

D1	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	 Kapalı gök	 Kapalı gök	 Ortalama Gök
12:00	 Ortalama Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
16:00	 Kapalı Gök	 Kapalı Gök	 Ortalama Gök

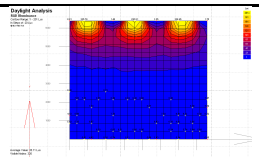
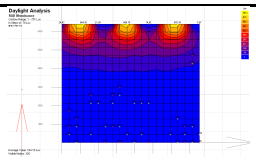
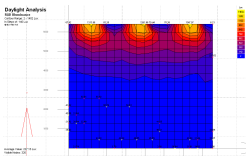
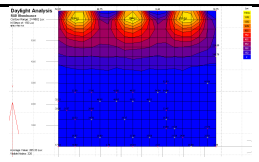
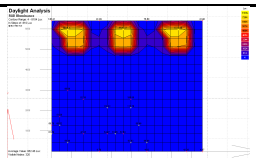
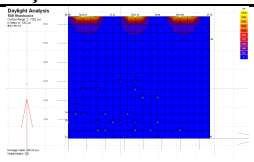
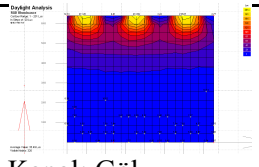
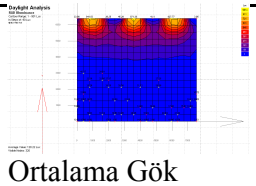
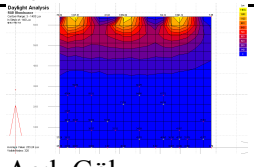
Çizelge 5.7 : D2 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı.

D2	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	 Kapalı gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
12:00	 Ortalama Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
16:00	 Kapalı Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök

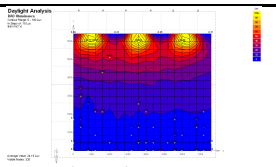
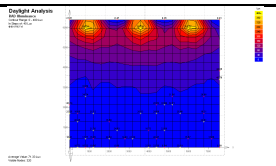
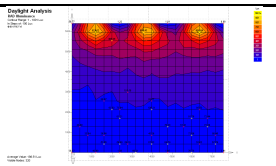
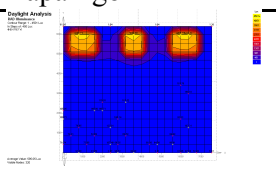
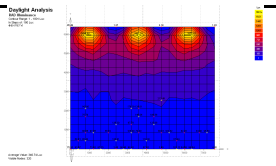
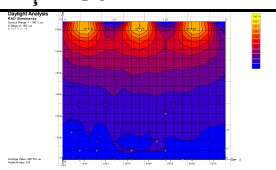
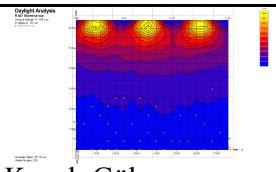
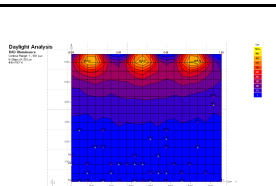
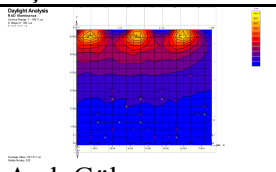
Çizelge 5.8 : D3 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı.

D3			
	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	 Kapalı gök	 Kapalı gök	 Ortalama Gök
12:00	 Ortalama Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
16:00	 Kapalı Gök	 Kapalı Gök	 Ortalama Gök

Çizelge 5.9 : D4 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı.

D4			
	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	 Kapalı gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
12:00	 Ortalama Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
16:00	 Kapalı Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök

Çizelge 5.10 : D5 senaryosu için hesap tarihlerinde çalışma düzleminde elde edilen günışığı dağılımı.

D5			
	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	 Kapalı gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
12:00	 Ortalama Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök
16:00	 Kapalı Gök	 Ortalama Gök	 Açık Gök

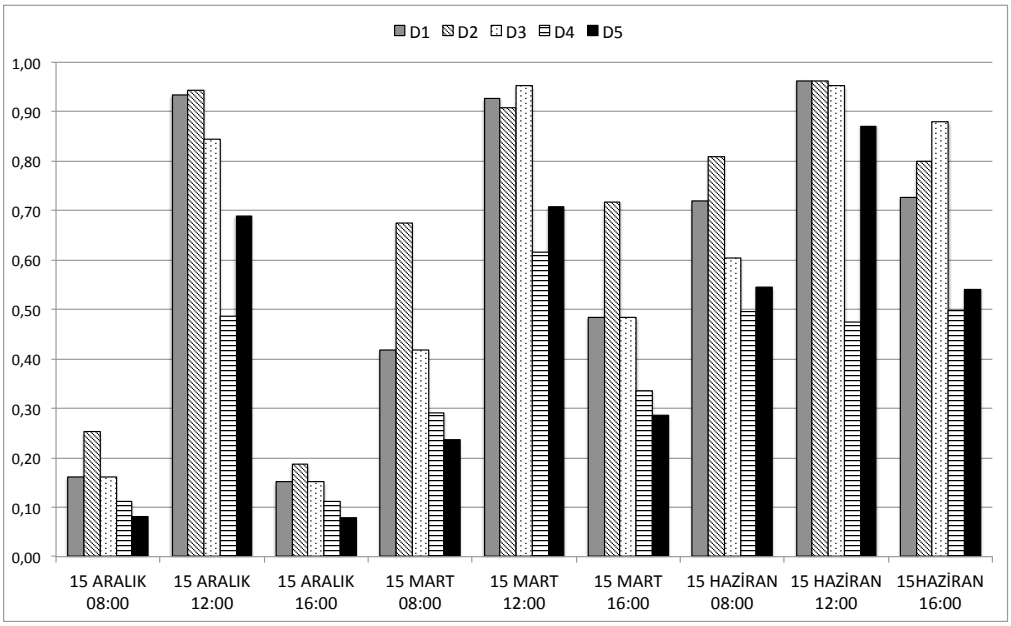
Ek A'da ele alınan derslikte çalışma düzleminde RADIANCE programı ile elde edilen saatlik günışığı aydınlığı sonuçlarına yer verilmiştir. Hesap sonuçlarının verildiği çizelgelerde ilköğretim derslik mekanları için hedef aydınlık düzeyi olan 300lx'ün altındaki bölgeler gri, bu değerin üzerindeki bölgeler ise sarı renk ile ifade edilmektedir. İlgili mekanın doğal aydınlatma performansının değerlendirilmesi, sürekli günışığı otonomisi yöntemi ile hesaplanarak elde edilmiştir. Bu yaklaşım uyarınca hesap noktalarında günışığı ile elde edilen aydınlık düzeylerinin derslikler için gerekli aydınlık düzeyini (300 lx) sağlaması durumunda ilgili noktadaki sürekli günışığı otonomisi değeri '1' (%100) olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerin 300 lx'den az olması durumunda ise, hesap noktasındaki değerin 300 lx'e yaklaşmış olma durumuna göre 'hesaplanan değer / 300 lx' olarak 0-1 arasında değişen değerler elde edilmiştir. Ek B'de incelenen senaryolara ilişkin hesaplama tarihleri için elde edilen Sürekli Günışığı Otonomisi değerlendirme sonuçları bulunmaktadır.

Ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin saatlik günışığı hesap sonuçlarına bağlı olarak belirlenen 'saatlik ortalama doğal aydınlatma performansı değerleri' Çizelge 5.11'de bulunmaktadır. Şekil 5.7'de ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryoları için günışığı simülasyonları sonucu hesaplanarak elde edilmiş saatlik ortalama doğal aydınlatma performansı değerlerinin grafiksel ifadesi yer

almaktadır. Buna göre, kapalı gök koşullarının hakim olduğu Aralık 08:00 ve Aralık 16:00 koşullarında tüm senaryolar için saatlik doğal aydınlatma performans değerinin minimum düzeyde olduğu görülmektedir. Ele alınan mekandaki maksimum saatlik doğal aydınlatma performans değeri, %96 ile İstanbul ve Antalya koşullarında 15 Haziran 12:00'da elde edilmektedir. Elde edilen hesap sonuçlarına göre, saatlik doğal aydınlatma performans değerlerinin seçilen gök modeli, hesaplama tarih ve saati, fiziksel tasarım parametreleri, yönlenme ve coğrafi konuma bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5.11 : Ele alınan doğal aydınlatma senaryoları saatlik ortalama doğal aydınlatma performans değerleri.

	D1	D2	D3	D4	D5
15 Aralık 08:00	0,16	0,25	0,16	0,11	0,08
15 Aralık 12:00	0,93	0,94	0,84	0,49	0,69
15 Aralık 16:00	0,15	0,19	0,15	0,11	0,08
15 Mart 08:00	0,42	0,67	0,42	0,29	0,24
15 Mart 12:00	0,93	0,91	0,95	0,62	0,71
15 Mart 16:00	0,48	0,72	0,48	0,34	0,28
15 Haziran 08:00	0,72	0,81	0,60	0,50	0,54
15 Haziran 12:00	0,96	0,96	0,95	0,47	0,87
15 Haziran 16:00	0,73	0,80	0,88	0,50	0,54



Şekil 5.7 : Ele alınan doğal aydınlatma senaryoları saatlik ortalama doğal aydınlatma performans değerleri grafiksel ifadesi.

Derslik genelinde farklı hesap tarihleri için elde edilen günışığı performans değerleri ile ilgili hacmin yıllık günışığı performansının belirlenmesi ve günışığına bağlı

aydınlatma kontrol sistemleri kullanımında enerji gereksinimlerinin saptanması mümkün olmaktadır. Yıllık günışığı performansının hesaplanması için simülasyonlarda temsili tarih ve saatler kullanılmıştır. Bu amaçla ilgili senaryoda ve hesap tarihinde, 'hedef aydınlık düzeyinin sağlanma olasılığı', hesap tarihi ve saatinin temsil edildiği toplam ile çarpılıp 'toplam çalışma saati' ile oranlanmış ve 'yıllık ortalama günışığı sağlanma oranları' belirlenmiştir. Çizelge 5.12'de ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık günışığı sağlanma oranları yer almaktadır.

Binanın bulunduğu coğrafi bölgenin ve buna bağlı olarak belirlenen gök modelinin günışığı performansına olan etkisi D1 ve D2 senaryolarına ilişkin sonuçlarda incelenebilmektedir. D1 mevcut durum senaryosu, İstanbul'da, D2 ise Antalya'da bulunan bir tip ilköğretim okulu dersliğinin güneye yönlenmiş, engelsiz ve derslik cephesinde herhangi bir güneş kontrol elemanının mevcut olmadığı koşulları temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, D1 senaryosunda yıllık %59, D2 senaryosunda ise yıllık %68 oranında günışığı performans değeri elde edilmiştir. Burada Antalya ve İstanbul koşullarında hakim olan gök modelinin ve bulunulan coğrafi koşulların sonuçlara etkisi görülmektedir. Örneğin 15 Aralık 08:00 tarihli doğal aydınlatma simülasyonlarında, İstanbul ve Antalya koşullarındaki hakim gök modeli, kapalı gök olarak belirlenmiştir. Seçilen bu tarihte kapalı gök koşullarında D1 ve D2 senaryolarında elde edilen saatlik günışığı performansı sırasıyla %16 ve %25'tir. Benzer şekilde 15 Aralık 12:00 tarihinde her iki şehirde 'ortalama gök durumu' hakim olmakta ve bu durumda D1 kodlu senaryoda %93, D2 kodlu senaryoda ise %94 saatlik günışığı performans değeri elde edilmektedir. Bu farklılık, İstanbul ve Antalya şehirlerinin bulundukları coğrafi konumdan kaynaklanmaktadır.

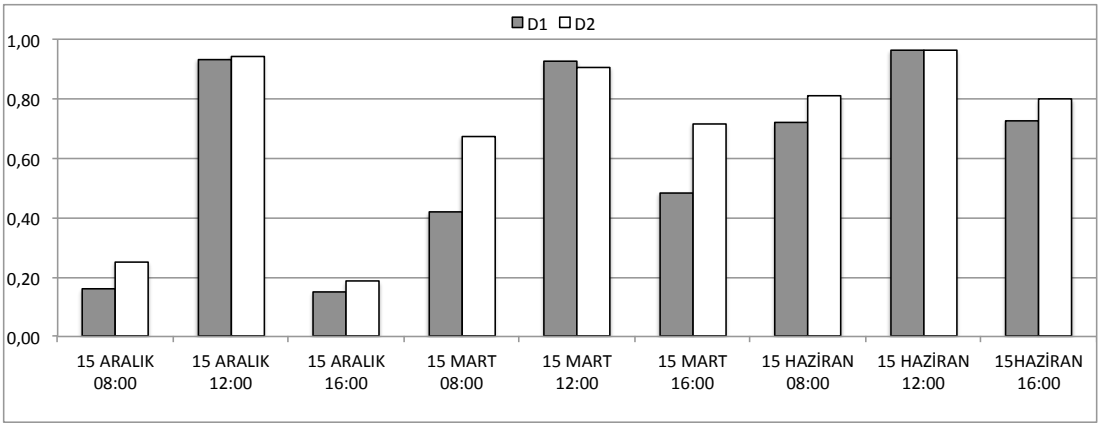
Çizelge 5.12 : D1- D5 senaryolarına ilişkin olarak hesaplanmış yıllık ortalama günışığı sağlanma oranları.

	Tarih	Hedef aydınlık düzeyini sağlama olasılığı (a)	Temsili toplam saat (b)	a x b	Yıllık Günışığı Sağlanma Oranı
D1	15 Aralık 08:00	0,16	198	32,05	0,59
	15 Aralık 12:00	0,93	198	184,66	
	15 Aralık 16:00	0,15	198	30,00	
	15 Mart 08:00	0,42	258	107,78	
	15 Mart 12:00	0,93	258	238,72	
	15 Mart 16:00	0,48	258	124,84	
	15 Haziran 08:00	0,72	132	94,85	
	15 Haziran 12:00	0,96	132	127,06	
	15 Haziran 16:00	0,73	132	95,99	

Çizelge 5.12 (devam) : D1- D5 senaryolarına ilişkin olarak hesaplanmış yıllık ortalama günışığı sağlanma oranları.

	Tarih	Hedef aydınlık düzeyini sağlama olasılığı (a)	Temsili toplam saat (b)	a x b	Yıllık Günışığı Sağlanma Oranı
D2	15 Aralık 08:00	0,25	198	50,04	0,68
	15 Aralık 12:00	0,94	198	186,78	
	15 Aralık 16:00	0,19	198	36,87	
	15 Mart 08:00	0,67	258	174,01	
	15 Mart 12:00	0,91	258	233,86	
	15 Mart 16:00	0,72	258	185,00	
	15 Haziran 08:00	0,81	132	106,72	
	15 Haziran 12:00	0,96	132	126,94	
	15 Haziran 16:00	0,80	132	105,36	
D3	15 Aralık 08:00	0,16	198	32,05	0,58
	15 Aralık 12:00	0,84	198	167,03	
	15 Aralık 16:00	0,15	198	30,00	
	15 Mart 08:00	0,42	258	107,78	
	15 Mart 12:00	0,95	258	245,46	
	15 Mart 16:00	0,48	258	124,84	
	15 Haziran 08:00	0,60	132	79,64	
	15 Haziran 12:00	0,95	132	125,58	
	15 Haziran 16:00	0,88	132	116,00	
D4	15 Aralık 08:00	0,11	198	21,99	
	15 Aralık 12:00	0,49	198	96,45	
	15 Aralık 16:00	0,11	198	22,33	
	15 Mart 08:00	0,29	258	74,88	
	15 Mart 12:00	0,62	258	158,73	0,37
	15 Mart 16:00	0,34	258	86,74	
	15 Haziran 08:00	0,50	132	65,36	
	15 Haziran 12:00	0,47	132	62,49	
	15 Haziran 16:00	0,50	132	65,86	
D5	15 Aralık 08:00	0,11	198	16,24	
	15 Aralık 12:00	0,49	198	136,36	
	15 Aralık 16:00	0,11	198	15,57	
	15 Mart 08:00	0,29	258	61,12	
	15 Mart 12:00	0,62	258	182,29	0,42
	15 Mart 16:00	0,34	258	73,53	
	15 Haziran 08:00	0,50	132	71,83	
	15 Haziran 12:00	0,47	132	114,94	
	15 Haziran 16:00	0,50	132	71,37	

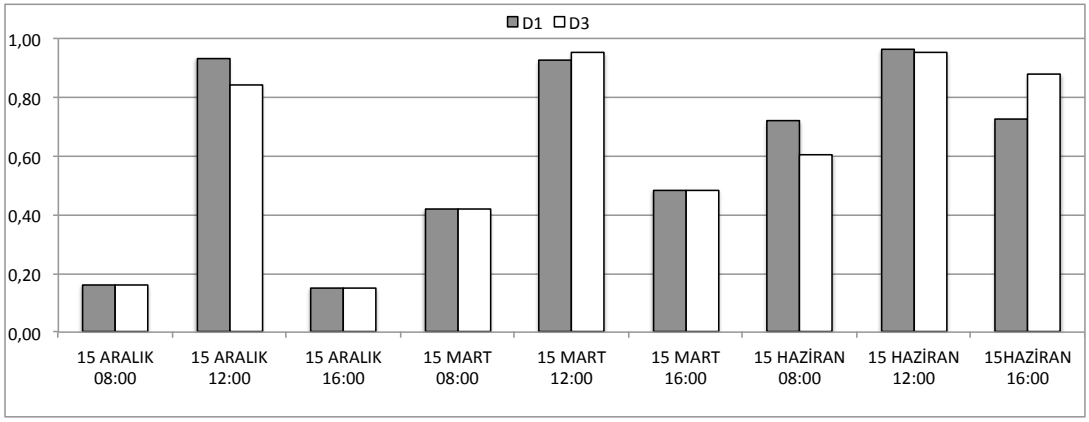
Sonuçlar incelendiğinde ortalama ve açık gök koşullarının İstanbul'a oranla daha sık karşılaşıldığı Antalya koşullarındaki yıllık günışığı performans değerinin, İstanbul'a oranla daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum, seçilen gök modeli ve bulunulan coğrafi koşullardan kaynaklanmaktadır. Şekil 5.8'de D1 ve D2 senaryoları için saatlik günışığı performans değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bir grafik bulunmaktadır.



Şekil 5.8 : D1 ve D2 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri.

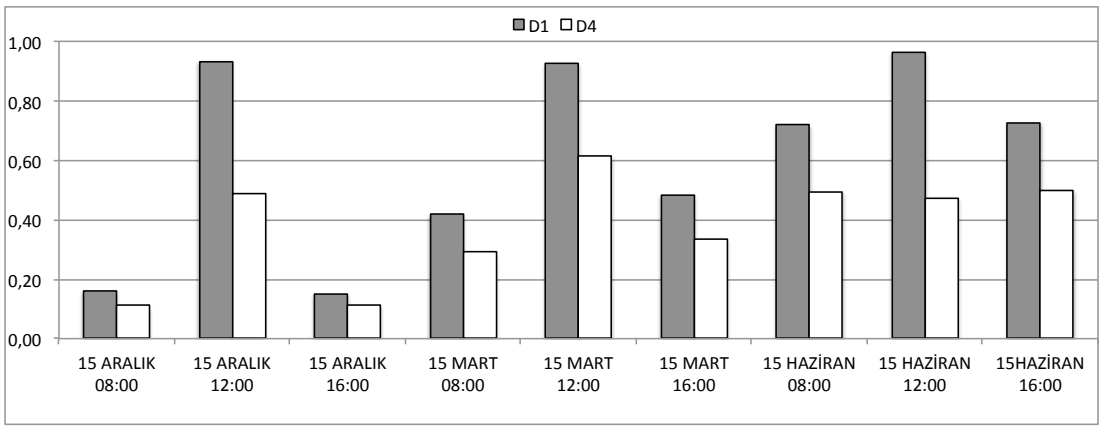
Yön parametresi, güneşin gün boyunca bina cepheleri ile kurmuş olduğu açısal ilişki ile bağlantılıdır. Pencerelerin baktığı yön, güneşin günlük ve saatlik hareketlerine ve dış aydınlık düzeyine bağlı olarak iç mekanda elde edilen doğal aydınlatma miktarına etki etmektedir. Geliştirilen yaklaşımın yön parametresine olan duyarlılığını ele almak hedefiyle D3 kodlu senaryo geliştirilmiş ve yön parametresinin doğal aydınlatma performans sonuçlarına olan etkisini incelemek için mevcut durum senaryosu olan ve güneye yönlenmiş olduğu kabul edilen D1 ile güneybatıya yönlenmiş olan D3 kodlu senaryoya ilişkin doğal aydınlatma performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Ele alınan senaryolarda elde edilen saatlik ve yıllık doğal aydınlatma performans sonuçları, yönlenmeye göre değişkenlik göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, D1 kodlu senaryoda yıllık %59, D3 kodlu senaryoda ise yıllık %58 oranında günışığı performans değeri elde edilmiştir. Saatlik günışığı performans değerleri incelenirken İstanbul koşulları için belirlenen gök modelleri dikkate alınmalıdır. Örneğin kapalı gök koşullarının hakim olduğu tarihlerde (15 Aralık 08:00, 15 Aralık 16:00, 15 Mart 08:00, 15 Mart 16:00) her iki senaryodaki doğal aydınlatma performansı eşittir. Kapalı gök modelinde göğün tamamen bulutlarla kaplı olması kabulü nedeniyle yön parametresi dikkate alınmamakta, bu nedenle kapalı gök koşullarının hakim olduğu hesaplama tarihlerinde D1 ve D3 senaryoları için aynı doğal aydınlatma performans değerleri elde edilmektedir. Ortalama gök koşullarının hakim olduğu 15 Haziran 16:00 tarihi için D1 senaryosunda %73, D3 senaryosunda ise %88 saatlik günışığı performans değeri elde edilmiştir. Hesap tarihleri ve saatlerinin yıllık bazda temsil ettiği toplam saat bilgileri ile oranlanması ve belirlenen gök modellerinin kullanımı sonucu, güneybatıya yönlenmiş olan dersliğin yıllık performans değerinin güneye yönlenmiş olan dersliğe göre %1 oranla

daha düşük olduğu sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.9'da D1 ve D3 senaryoları için saatlik günışığı performans değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bir grafik bulunmaktadır.



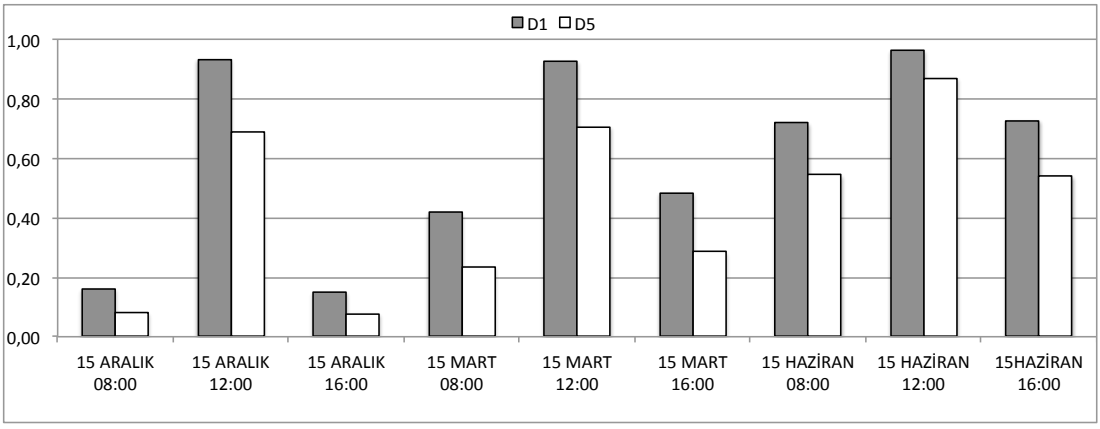
Şekil 5.9 : D1 ve D3 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri.

D1 mevcut durum senaryosu, ele alınan dersliğin tamamen engelsiz olması kabulüne dayanmakta, D4 kodlu senaryo ise engel etkisini incelemek amacıyla ele alınan dersliğin orta yoğunlukta bir kent dokusu içerisinde yer alması ve sürekli bir engel ile engellenmiş olması durumunu dikkate almaktadır. D4 kodlu senaryoda yıllık doğal aydınlatma performans değerinin engel etkisiyle, D1 mevcut durum senaryosuna göre %22 oranında azaldığı belirlenmiştir. D1 ve D4 kodlu senaryolara ilişkin yıllık doğal aydınlatma performans değerleri sırasıyla %59 ve %37 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.10'da D1 ve D4 senaryoları için saatlik günışığı performans değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bir grafik bulunmaktadır. D1 ve D4 senaryolarına ilişkin karşılaştırmalı sonuçlarda tüm hesap tarihleri için engel bulunması durumunda saatlik günışığı performans değerlerinde azalma görülmektedir.



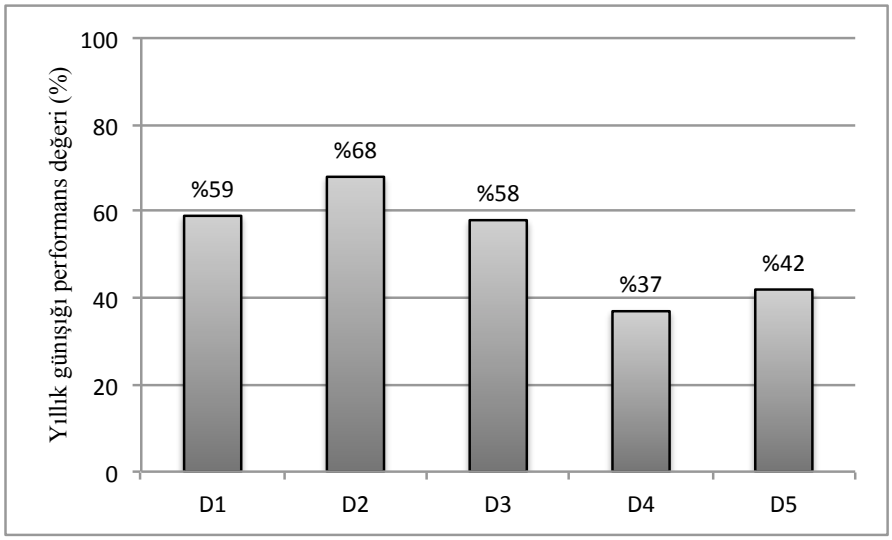
Şekil 5.10 : D1 ve D4 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri.

Gölgeleme elemanları, hacimlerde gölgeleme istenen dönem için direkt güneş ışığı ve ışınımının denetlenmesi ve iklimsel- görsel konfor koşullarının sağlanması amaçlarıyla binalarda kullanılmaktadır. Bu elemanların tasarımı, pencere yönüne bağlı olarak gölgeleme istenen dönemde hesaplanan profil açısı dikkate alınarak gerçekleştirilir. D5 kodlu senaryoda ele alınan derslik cephesinde sabit bir güneş kontrol elemanı bulunması kabulü ile mevcut durumda güneye yönlenmiş olan pencereler için uygun bir güneş kontrol elemanı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, D1 kodlu mevcut durum senaryosunda yıllık %59, sabit bir güneş kontrol elemanının bulunduğu D5 kodlu senaryoda ise yıllık %42 oranında doğal aydınlatma performans değeri elde edilmiştir. Güney yönünde sabit güneş kontrol elemanı uygulanan D5 kodlu senaryoda elde edilen yıllık doğal aydınlatma performans değerinin, D1 mevcut durum senaryosuna göre %17 oranında azaldığı belirlenmiştir. D1 ve D5 senaryolarına ilişkin sonuçlara göre tüm hesap tarihleri için bina cephesine sabit güneş kontrol elemanı uygulanması durumunda saatlik doğal aydınlatma performans değerleri azalmaktadır. Ancak güneş kontrol elemanlarının kullanımı, mekanlarda karşılaşılabilecek kamaşma sorununu önlemek ve iklimsel-görsel konfor koşullarını sağlamak açılarından önemlidir. Şekil 5.11'de D1 ve D5 senaryoları için saatlik günışığı performans değerlerinin karşılaştırılmasına yönelik bir grafik bulunmaktadır.



Şekil 5.11 : D1 ve D5 senaryoları için saatlik günışığı performans değerleri.

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen yıllık günışığı performans değerleri, D1, D2, D3, D4 ve D5 senaryoları için sırasıyla %59, %68, %58, %37 ve %42 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.12'de ele alınan senaryolara ilişkin olarak hesaplanmış yıllık günışığı performans değerleri grafiksel olarak yer almaktadır.



Şekil 5.12 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık günışığı performans değerleri (%).

Özellikle gün saatlerinde etkin olarak kullanılan derslik hacimlerinde doğal aydınlatma sistemlerinin yapma aydınlatma sistemleri ile uyumlu olarak tasarlanabilmesi, görsel konfor ve enerji etkinlik açılarından önem taşımaktadır. Ele alınan hacimlere ilişkin günışığı performansının belirlenmesi ile görsel konfor koşullarının doğal aydınlatma sistemleri açısından değerlendirilmesi ve uygun koşulların sağlanamadığı doğal aydınlatma sistemi tasarımı alternatiflerinin revize edilmesi mümkün olmaktadır.

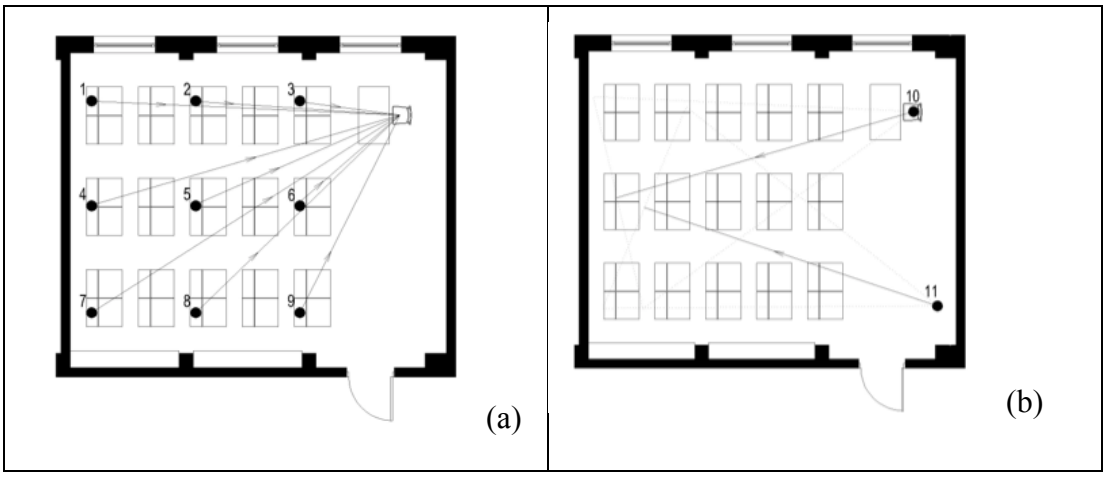
5.1.1.3 Ele alınan derslik hacmi için kamaşma analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı kapsamında ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarımı senaryolarının görsel konfor koşullarını sağlama sürecinde kamaşma analizleri gerçekleştirilmektedir. Çalışmada günışığına bağlı kamaşmanın hesaplanması 4.1.1.3 bölümünde aktarılan DGP Günışığı Kamaşma Olasılığı Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryolarının (D1-D5) günışığı kaynaklı kamaşma koşullarını değerlendirebilmek hedefiyle Radiance programı ile gerçekleştirilen doğal aydınlatma simülasyon sonuçlarına dayalı olarak DGP hesaplamaları Evalglare Programı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

İncelenen senaryolarda günışığına bağlı kamaşma analizlerinin gerçekleştirilebilmesi hedefiyle, öğrenciler ve öğretmen için derslik içerisindeki bakış doğrultuları belirlenmiştir. Günışığına bağlı kamaşma değerlendirmesi, öğretmen ve öğrencilere ait bakış doğrultuları dikkate alınarak saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Günışığı kaynaklı kamaşma analizlerinin gerçeğe en yakın şekilde elde edilebilmesi için ilgili hacim, tefriş elemanları, hacim yüzeylerine ilişkin renk, doku, malzeme özellikleri gözetilerek modellenmiştir.

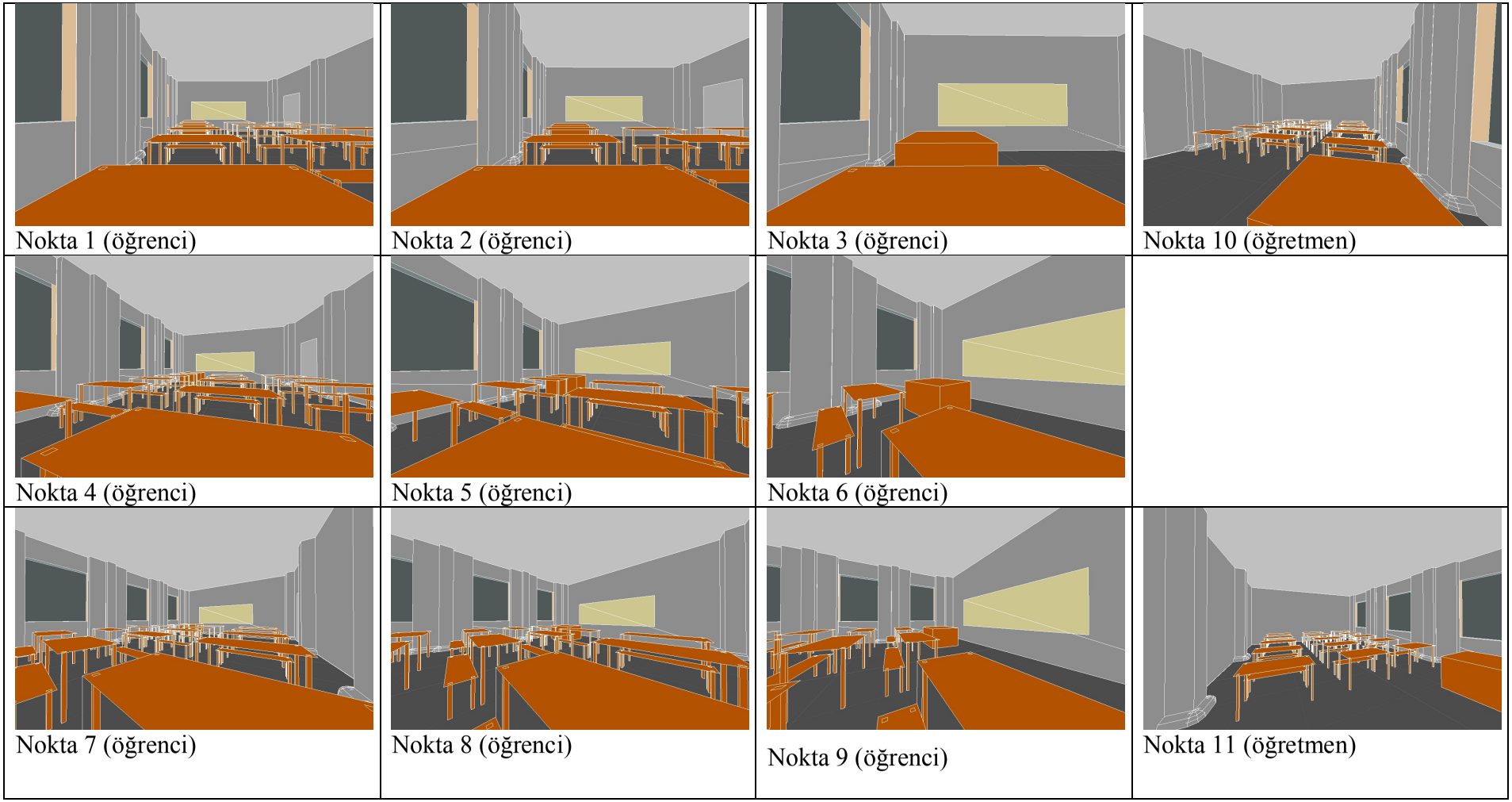
Derslikte bulunan öğrenci sıralarının ön, orta ve arkasında yer alan öğrencilerin, öğretmen masası yönündeki bakış doğrultuları günışığına bağlı kamaşma hesapları için dikkate alınmıştır. Bu bakış doğrultusunda öğretmen masası, ders anlatımlarında kullanılan yazı tahtası ve hacimde bulunan pencereler görünür haldedir. Şekil 5.13 (a)'da öğrencilere ilişkin bakış doğrultularına ait görseller yer almaktadır. İç mekana yerleştirilen öğrenci göz seviyesindeki kameralar ile elde edilen görseller aracılığı ile kamaşma analizleri toplam 9 noktada gerçekleştirilmiştir.

Öğretmenin derslikte maruz kalabileceği günışığı kamaşması analizleri için iki adet bakış doğrultusu dikkate alınmıştır. Bunların ilki öğretmenin masasında otur konumda olup sınıfın genelini görebileceği bakış doğrultusudur. Diğeri ise öğretmenin yazı tahtası önünde ayakta sınıf geneline doğru baktığı durumdur. Bu iki duruma ilişkin bakış doğrultularının plandaki ifadesine Şekil 5.13 (b)'de yer verilmiştir.



Şekil 5.13 : DGP hesaplaması için öğrenci (a) ve öğretmen (b) bakış doğrultuları.

Öğretmen ve öğrenciler için derslik genelinde toplam 11 adet bakış doğrultusu dikkate alınmıştır. İlgili bakış doğrultularını temsil eden görsellere Şekil 5.14'de yer verilmiştir.



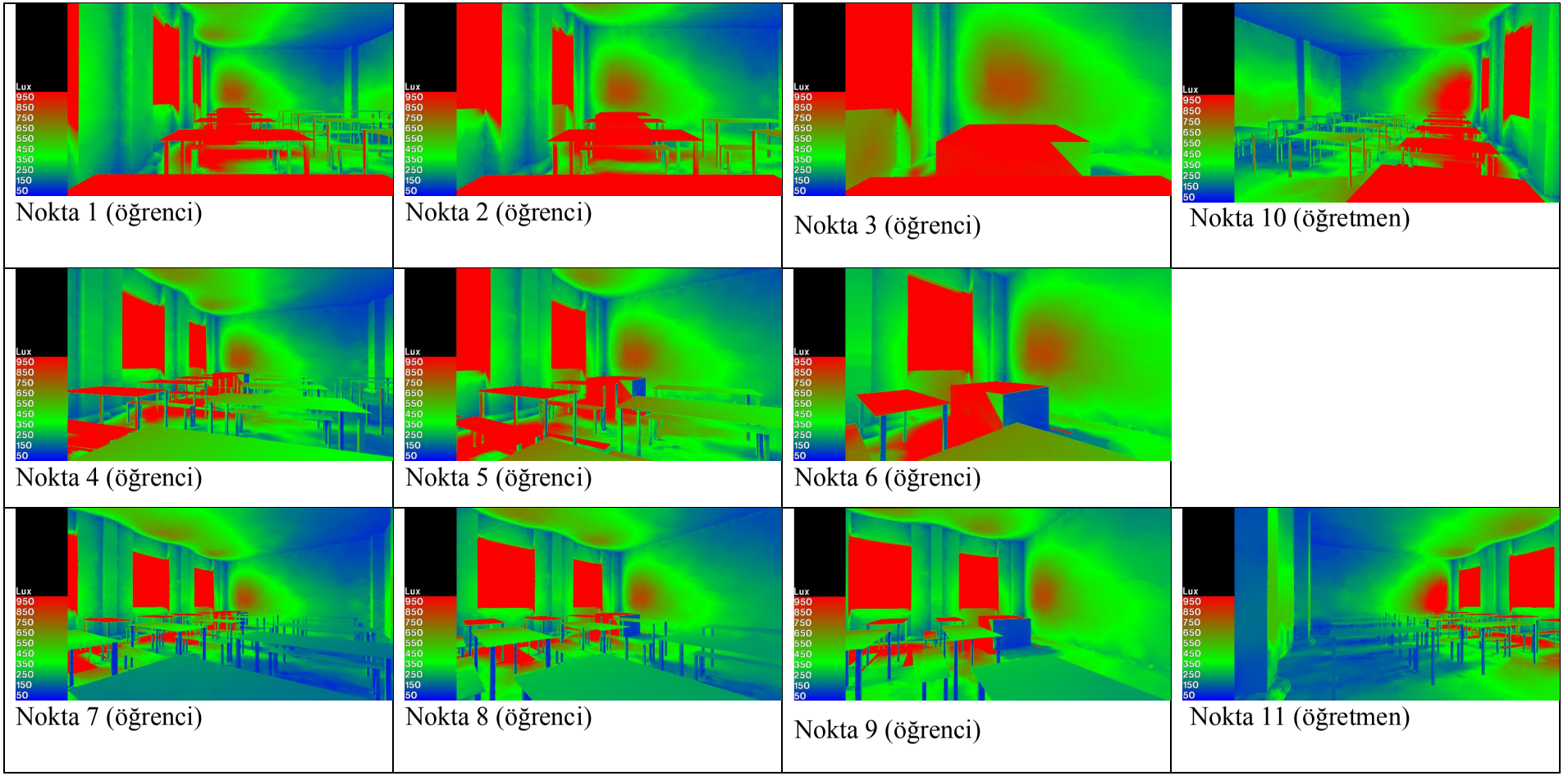
Şekil 5.14 : Oluşturulan bakış doğrultularına ilişkin olarak iç mekana yerleştirilmiş kameralar ile elde edilmiş görselleştirmeler.

İlgili hesap tarihleri ve saatlerinde gerçekleştirilen doğal aydınlatma simülasyonları ile hacimde elde edilmiş aydınlık dağılımını içeren görseller 'Evalglare' programında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Şekil 5.15'de RADIANCE ile elde edilmiş olan bakış doğrultularındaki aydınlık dağılımını ifade eden görseller, 15 Mart 12:00 koşulları için örnek olarak verilmiştir.

Sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı kapsamında geliştirilen doğal aydınlatma sistemi tasarım senaryolarının günışığı kaynaklı kamaşma analizleri, DGP değer aralıklarına göre değerlendirilmiştir. Ele alınan derslik hacmindeki 11 farklı bakış doğrultusu için saatlik kamaşma değerlendirmesi, 15 Aralık, 15 Mart ve 15 Haziran aylarının 08:00, 12:00 ve 16:00 saatleri için gerçekleştirilmiştir. Ele alınan noktalar için elde edilen DGP değerleri çizelgeler ve grafiksel ifadeler olarak Ek C'de verilmiştir.

Ele alınan doğal aydınlatma sistemi tasarımı senaryolarında elde edilen DGP sonuçları, kamaşma analizleri matrisi olarak hazırlanmıştır. Çizelge 5.13'de D1 kodlu senaryo için incelenen bakış doğrultuları genelinde elde edilen DGP değerleri dikkate alınarak hazırlanmış yıllık kamaşma analizi matrisi yer almaktadır. D1 kodlu senaryoya ilişkin yıllık kamaşma analizi matrisi verilerine göre, senaryo kapsamında incelenen 11 bakış doğrultusu için yıllık kamaşma görülme olasılığı % 6,06 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre D1 kodlu senaryo için 15 Aralık koşullarında kamaşma olasılığı bulunmamaktadır. 15 Mart 12:00 koşullarında ise ele alınan 11 adet bakış doğrultusundan ikisinde kamaşma oluşumu görülmektedir. Kamaşma oluşumunun görüldüğü bu iki bakış doğrultusu, pencere kenarında Nokta 1 ve Nokta 2'dir. 15 Haziran koşullarında ise kamaşma görülme oranı %15,15 ile diğer aylara göre en yüksek durumdadır. Bu tarih için gerçekleştirilen kamaşma analizleri doğrultusunda 11 noktadan 5'inde hissedilebilir kamaşma olduğu görülmektedir. Mart ve Haziran koşullarında elde edilen kamaşma sonuçları dikkate alındığında öğle saatlerinde kamaşma olduğu görülmektedir. Sonuç olarak D1 kodlu senaryo için yıllık kamaşma görülme olasılığı % 6,06 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.15 : 15 Mart 12:00 koşulları için bakış doğrultulardaki aydınlık dağılımı.

Çizelge 5.13 : D1 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi.

D1	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,02	0,23	0,01	0,14	**0,32**	0,18	0,25	**0,33**	0,24
Nokta 2	0,02	0,24	0,02	0,17	**0,31**	0,19	0,25	**0,32**	0,24
Nokta 3	0,02	0,25	0,02	0,16	0,29	0,18	0,23	0,28	0,24
Nokta 4	0,01	0,23	0,01	0,10	0,27	0,15	0,24	**0,30**	0,26
Nokta 5	0,02	0,24	0,01	0,13	0,27	0,18	0,23	0,29	0,26
Nokta 6	0,02	0,27	0,02	0,17	0,29	0,20	0,22	**0,31**	0,26
Nokta 7	0,01	0,27	0,01	0,06	0,27	0,10	0,24	0,29	0,26
Nokta 8	0,01	0,26	0,01	0,10	0,27	0,15	0,24	0,28	0,26
Nokta 9	0,02	0,27	0,01	0,13	0,28	0,18	0,24	0,28	0,25
Nokta 10	0,01	0,23	0,01	0,09	0,29	0,13	0,22	**0,32**	0,23
Nokta 11	0,01	0,25	0,01	0,05	0,25	0,07	0,25	0,27	0,22
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%15,15
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%15,15
Yıllık kamaşma olasılığı					%6,06				

D2 kodlu senaryo için incelenen bakış doğrultularına ilişkin elde edilen yıllık kamaşma analizi matrisi Çizelge 5.14'de yer almaktadır. Bu senaryo kapsamında incelenen 11 adet bakış doğrultusu için yıllık kamaşma görülme olasılığı %5,38 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre 15 Aralık koşullarında kamaşma olasılığı görülmezken, 15 Mart 12:00 koşullarında ele alınan 11 adet bakış doğrultusundan 2'sinde kamaşma oluşumu görülmektedir. Kamaşmanın görüldüğü bu iki bakış doğrultusu, D1 kodlu senaryoda da olduğu gibi pencere kenarında yer alan Nokta 1 ve Nokta 2'ye aittir. 15 Haziran koşullarında D1 kodlu senaryoya benzer şekilde kamaşma görülme oranı diğer hesap tarihlerine göre artış göstererek %12,12 oranına ulaşmaktadır. Bu tarih için gerçekleştirilen kamaşma analizleri doğrultusunda 11 noktadan 4'ünde hissedilebilir kamaşma olduğu görülmektedir.

Bahar ve yaz koşullarını temsil eden 15 Mart ve 15 Haziran hesap tarihleri DGP sonuçlarına göre ilgili tarihlerin öğle saatlerinde derslik genelinde güneş kontrol elemanlarının kullanımına gereksinim duyulduğu ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.14 : D2 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi.

D2	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,04	0,25	0,02	0,29	**0,31**	0,24	0,25	**0,31**	0,26
Nokta 2	0,05	0,25	0,02	0,28	**0,31**	0,24	0,25	**0,31**	0,25
Nokta 3	0,04	0,27	0,02	0,27	0,28	0,23	0,24	0,28	0,24
Nokta 4	0,03	0,25	0,02	0,28	0,27	0,26	0,25	0,29	0,26
Nokta 5	0,03	0,25	0,02	0,27	0,27	0,25	0,25	0,29	0,26
Nokta 6	0,05	0,28	0,03	0,27	0,28	0,25	0,25	**0,30**	0,25
Nokta 7	0,02	0,27	0,01	0,26	0,26	0,26	0,25	0,28	0,26
Nokta 8	0,03	0,27	0,02	0,25	0,27	0,25	0,25	0,28	0,26
Nokta 9	0,03	0,28	0,02	0,24	0,28	0,25	0,25	0,28	0,26
Nokta 10	0,02	0,25	0,01	0,22	0,29	0,27	0,24	**0,30**	0,24
Nokta 11	0,02	0,26	0,01	0,24	0,25	0,24	0,25	0,26	0,24
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%12,12
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%6,06				%12,12
Yıllık kamaşma olasılığı					%5,38				

Pencerelerin baktığı yön, günlük ve saatlik günışığı performans değerlerini etkilemekte, dolayısı ile yön parametresi günışığına bağlı kamaşma oluşumunu da doğrudan ilgilendirmektedir. Çizelge 5.15'de güneybatıya yönlenmiş D3 kodlu senaryo için incelenen bakış doğrultularına ilişkin elde edilen yıllık kamaşma analizi matrisi yer almaktadır. Bu senaryo kapsamında incelenen 11 adet bakış doğrultusu için yıllık kamaşma görülme olasılığı %6,74 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre 15 Aralık koşullarında kamaşma olasılığı bulunmamakta ancak 15 Mart 12:00 koşullarında ele alınan 11 adet bakış doğrultusundan 2'sinde (Nokta 1 ve Nokta 2) kamaşma oluşmaktadır. Kamaşma analizlerinin değerlendirilmesinde, ele alınan gün ve saate ilişkin belirlenen gök modelinin özellikleri dikkate alınmalıdır. Kapalı gök modelinde göğün parıltı dağılımı, yöne bağlı değişim göstermemektedir. Bu nedenle kapalı gök koşullarının hakim olduğu hesaplama tarihlerinde farklı yönleri ele alan senaryolar için aynı günışığı dağılımı sonuçları elde edilmektedir. Bu duruma örnek olarak kapalı gök koşullarının hakim olduğu 15 Aralık 08:00, 15 Aralık 16:00, 15 Mart 08:00, 15 Mart 16:00 tarihlerinde D1 ve D3 senaryolarında hesaplanan DGP değerlerinin eşit olması verilebilir. Ele alınan hesaplama saatlerinde, ortalama gök koşullarının hakim olduğu 15 Haziran 16:00 tarihi için güneye yönlenmiş D1 senaryosunda 11 adet bakış doğrultusunda elde edilen DGP

değerlerinin ortalaması %25 iken bu değer güneybatıya yönlenmiş D3 kodlu senaryoda %28 olarak hesaplanmıştır. 15 Haziran 16:00 koşullarında D3 senaryosu kapsamında DGP kamaşma değerlerinin hesaplanan tüm noktalarda D1 kodlu senaryoya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.15 : D3 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi.

D3	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,02	0,29	0,01	0,14	**0,30**	0,18	0,22	**0,33**	0,27
Nokta 2	0,02	0,29	0,02	0,17	**0,30**	0,19	0,23	**0,35**	0,27
Nokta 3	0,02	0,29	0,02	0,16	0,28	0,18	0,21	**0,33**	0,27
Nokta 4	0,01	0,29	0,01	0,10	0,27	0,15	0,22	**0,31**	0,28
Nokta 5	0,02	0,29	0,01	0,13	0,28	0,18	0,22	**0,31**	0,28
Nokta 6	0,02	0,27	0,02	0,17	0,27	0,20	0,21	**0,30**	0,29
Nokta 7	0,01	0,27	0,01	0,06	0,26	0,10	0,20	0,28	0,27
Nokta 8	0,01	0,27	0,01	0,10	0,26	0,15	0,22	0,28	0,28
Nokta 9	0,02	0,27	0,01	0,13	0,27	0,18	0,23	0,28	0,28
Nokta 10	0,01	0,25	0,01	0,09	0,24	0,13	0,20	0,29	0,29
Nokta 11	0,01	0,26	0,01	0,05	0,26	0,07	0,20	0,26	0,26
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%6,06			%18,18	
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%6,06			%18,18	
Yıllık kamaşma olasılığı					%6,74				

Ele alınan dersliğin tamamen engelsiz olması kabulüne dayanan D1 senaryosuna karşılık D4 kodlu senaryoda ele alınan dersliğin orta yoğunlukta bir kent dokusu içerisinde yer alması ve sürekli bir engel ile engellenmiş olması durumu incelenmiştir. Pencerelerin engelli olması durumu, iç mekandaki doğal aydınlık dağılımını etkilediği gibi günışığına bağlı kamaşma olasılığını da %3 oranında azaltmıştır. D4 kodlu senaryoda, 11 adet bakış doğrultusu için yıllık kamaşma görülme olasılığı %3,34 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, kent dokusu içerisinde bulunan ve pencerelerin diğer binalar tarafından engellendiği ilkokul binası örneklerinde yıllık kamaşma olasılığının engelsiz duruma oranla daha az olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak yine de engel yüzeyine ilişkin renk, malzeme, doku, ışık yansıtma katsayısı gibi özellikler, iç mekanda doğal aydınlatma kaynaklı kamaşma problemine neden olabilmektedir. 5.1.1.2 bölümünde elde edilen günışığı performans sonuçlarına göre D1 ve D4 senaryolarına ilişkin karşılaştırmalı değerlendirmelerde tüm hesap tarihleri için engel bulunması durumunda mevcut duruma oranla saatlik

günışığı performans değerlerinde azalma oluşmuştur. Çizelge 5.16'da D4 kodlu senaryo için incelenen bakış doğrultularına ilişkin elde edilen yıllık kamaşma analizi matrisi yer almaktadır. Sonuç olarak D4 kodlu senaryo için gerçekleştirilen kamaşma analizlerinde üç adet bakış doğrultusunda kamaşma açısından olumsuz durum tespit edilmiş ve bu durumda yıllık kamaşma görülme olasılığı %3,34 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.16 : D4 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi.

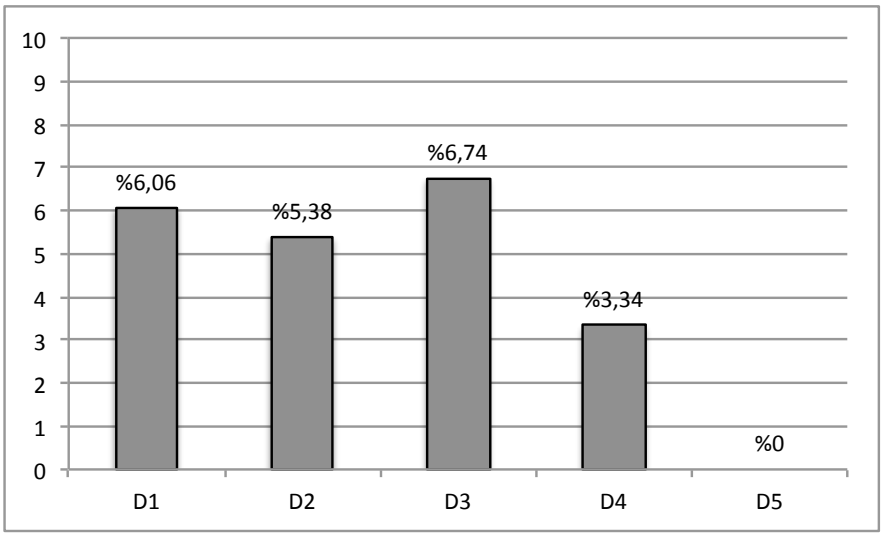
D4	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,01	0,23	0,01	0,09	**0,31**	0,13	0,23	0,24	0,25
Nokta 2	0,02	0,23	0,02	0,14	**0,30**	0,18	0,25	0,24	0,24
Nokta 3	0,02	0,23	0,02	0,19	0,29	0,21	0,26	0,23	0,25
Nokta 4	0,02	0,25	0,02	0,21	0,28	0,24	0,28	0,26	0,28
Nokta 5	0,03	0,25	0,03	0,23	0,28	0,25	0,28	0,25	0,28
Nokta 6	0,06	0,25	0,06	0,25	0,28	0,26	0,29	0,26	0,29
Nokta 7	0,02	0,26	0,02	0,18	0,27	0,24	0,29	0,26	0,29
Nokta 8	0,04	0,26	0,03	0,25	0,27	0,26	0,29	0,26	0,29
Nokta 9	0,06	0,26	0,05	0,26	0,28	0,27	**0,30**	0,27	0,30
Nokta 10	0,01	0,21	0,01	0,05	0,29	0,07	0,22	0,23	0,23
Nokta 11	0,02	0,23	0,02	0,13	0,26	0,19	0,28	0,24	0,28
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%6,06			%3,03	
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%6,06			%3,03	
Yıllık kamaşma olasılığı					%3,34				

D5 kodlu senaryoda ele alınan derslik cephesinde, hacme giren direkt güneş ışığının denetimi amacıyla sabit bir güneş kontrol elemanı önerilmiş ve bu eleman, güney yönü için uygun profil açıları dikkate alınarak tasarlanmıştır. D1 kodlu senaryoda yıllık kamaşma görülme olasılığı % 6,06 iken güneş kontrol elemanına sahip D5 kodlu senaryoda hiçbir noktada kamaşma sorunu görülmemektedir. Bu nedenle D5 kodlu senaryoda yıllık kamaşma görülme olasılığı % 0 olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.17'de D5 kodlu senaryo için incelenen bakış doğrultularına ilişkin elde edilen yıllık kamaşma analizi matrisi yer almaktadır. Çalışmanın bu bölümünde elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi güneş kontrol elemanlarının derslik mekanlarında kullanımı, karşılaşılabilecek kamaşma sorununu önlemek ve görsel konfor koşullarını sağlamak açılarından son derece etkilidir.

Çizelge 5.17 : D5 kodlu senaryo - yıllık kamaşma analizi matrisi.

D5	Aralık 08:00	Aralık 12:00	Aralık 16:00	Mart 08:00	Mart 12:00	Mart 16:00	Haziran 08:00	Haziran 12:00	Haziran 16:00
Nokta 1	0,01	0,27	0,01	0,04	0,24	0,07	0,23	0,26	0,24
Nokta 2	0,01	0,25	0,01	0,06	0,24	0,09	0,23	0,25	0,24
Nokta 3	0,01	0,25	0,01	0,07	0,23	0,11	0,21	0,24	0,24
Nokta 4	0,01	0,26	0,01	0,04	0,25	0,07	0,22	0,27	0,26
Nokta 5	0,01	0,26	0,01	0,06	0,26	0,10	0,23	0,27	0,26
Nokta 6	0,01	0,27	0,01	0,10	0,27	0,15	0,24	0,29	0,25
Nokta 7	0,01	0,26	0,01	0,03	0,26	0,05	0,22	0,28	0,26
Nokta 8	0,01	0,27	0,01	0,05	0,27	0,09	0,24	0,29	0,26
Nokta 9	0,01	0,27	0,01	0,08	0,28	0,12	0,25	0,30	0,25
Nokta 10	0,01	0,26	0,01	0,03	0,22	0,04	0,19	0,24	0,21
Nokta 11	0,01	0,25	0,01	0,02	0,25	0,04	0,23	0,26	0,19
Günlük kamaşma olasılığı		%0			%0			%0	
Aylık kamaşma olasılığı		%0			%0			%0	
Yıllık kamaşma olasılığı					%0				

Özetle, çalışma kapsamında günışığına bağlı kamaşmanın hesaplanması hedefiyle detayları 4.1.1.3 bölümünde açıklanan yaklaşım kullanılmış ve ele alınan senaryolar bu açıdan değerlendirilmiştir. Şekil 5.16'da ele alınan senaryolara ilişkin olarak hesaplanmış yıllık kamaşma olasılığı sonuçları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 5.16 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık kamaşma olasılığı sonuçları.

Ele alınan senaryolar arasında günışığına bağlı kamaşma olasılığının maksimum olarak görüldüğü senaryo %6.74 ile D3 iken, güneş kontrol elemanının uygulanmış olduğu D5 kodlu senaryoda yıllık kamaşma görülme olasılığı % 0'dır. Bu durum,

kamaşma denetiminde güneş kontrol elemanlarının etkisini ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında ilkokul binalarının yaz aylarında kullanılmaması nedeniyle bu dönem için kamaşma analizleri gerçekleştirilmemiş ve çalışmada yaz aylarında oluşması öngörülen kamaşma olasılığı ihmal edilmiştir. Ancak tüm yıl boyunca kullanılan diğer bina tipolojilerinde kamaşma analizlerinin tüm yılı temsil eden koşullar gözetilerek gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu yaklaşım ile mekanların aydınlatma tasarımı aşamasından itibaren görsel konfor koşullarını sağlamada en önemli kriterler arasında olan günışığına bağlı kamaşma olasılıklarının senaryolar bağlamında ele alınması ve uygun sonuçlara sahip olmayan tasarım ön kararlarının optimum koşulları sağlayacak şekilde revize edilmesi gerekmektedir.

5.1.1.4 Ele alınan derslik hacmi için dış görüş analizleri doğrultusunda doğal aydınlatma sistemi tasarımının yeterliliğinin belirlenmesi

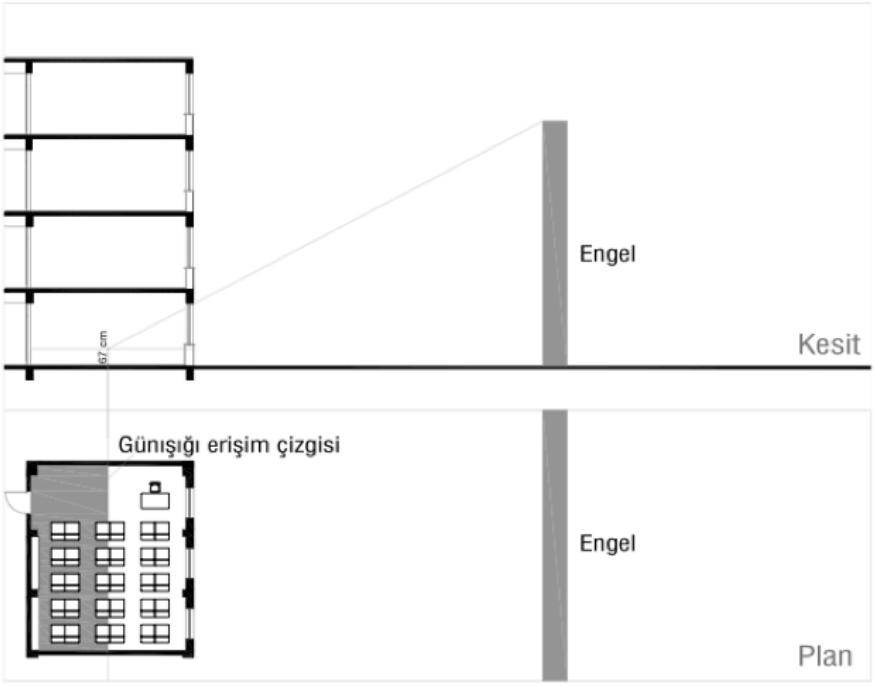
Çalışmanın bu bölümünde ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin dış görüş analizleri doğrultusunda gerçekleştirilen değerlendirmelere yer verilmiştir. İncelenen hacmin dış görüş analizlerinin gerçekleştirilebilmesi hedefiyle çalışmanın 4.1.1.4 bölümünde detayları aktarılan yaklaşım uygulanmıştır. Ele alınan tip ilköğretim okulu derslik hacmine ilişkin saydamlık oranı % 30 olup tüm doğal aydınlatma sistemi senaryolarında bu değer sabittir. İncelenen derslik için belirlenen saydamlık oranı, mekanlarda yeterli dış görüşün sağlanabilmesi için gerekli minimum değer olan %20'den yüksek olduğundan ele alınan tüm doğal aydınlatma sistemi senaryoları için dış görüş açısından gerekli saydamlık oranı kriterinin sağlandığı görülmektedir.

Dış görüşün üst, orta ve alt seviyelerin tümüne sahip olmasının değerlendirilmesi aşamasında, pencerelerin engelsiz olduğu D1, D2 ve D3 senaryolarında bu kriterin sağlandığı belirlenmiştir. Ancak D4 kodlu senaryo engelli durum senaryosu ve D5 kodlu güneş kontrol elemanına sahip olan senaryo için ilgili dış görüş analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Geliştirilen yaklaşım uyarınca mekanlarda istenen gökyüzü görüşünün belirlenmesi için günışığı erişim çizgisinin kullanımı gerekmekte ve bu durum dış engel durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. D4 kodlu senaryoda engelin ele alınan derslikten uzaklığı 15m, engel yüksekliği 10.3 m ve engel açısı 30°'dir. D5

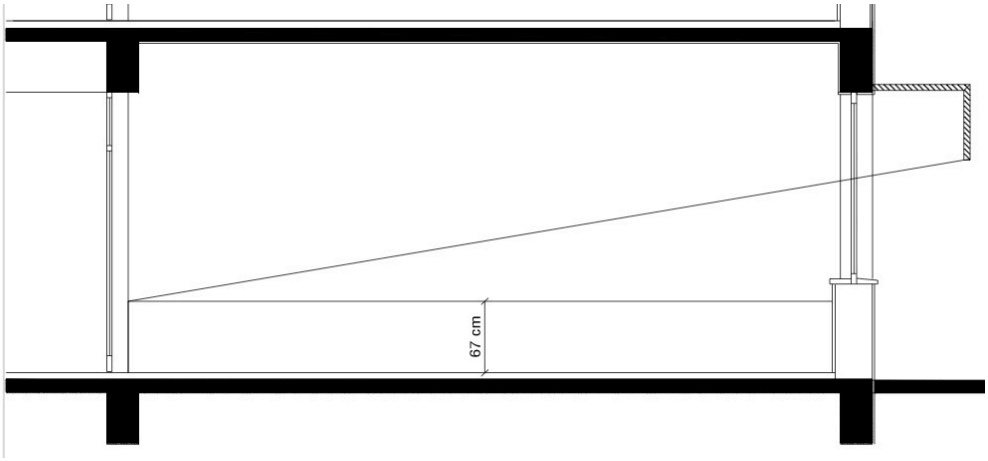
kodlu senaryoda ise pencereler sabit bir güneş kontrol elemanı tarafından engellenmekte, bu nedenle dış görüş mevcut duruma göre belirli bir ölçüde azalmaktadır. D4 ve D5 kodlu senaryolarda engelin dış görüşe etkisini saptamak amacıyla yaklaşımın 4.1.1.4 bölümünde detayları açıklanan dış görüş analizleri gerçekleştirilmiştir.

D4 kodlu engelli durum senaryosu için ele alınan mekanda istenen gökyüzü görüşünün belirlenmesi hedefiyle günışığı erişim çizgisi yaklaşımı kullanılarak mekanın sahip olduğu gökyüzü görüşü plan ve kesit yardımı ile saptanmıştır. Günışığı erişim çizgisinin elde edilebilmesi için kesit üzerinde sürekli olduğu kabul edilen engelin en üst noktası ile pencerenin en üst noktası arasında bir doğru oluşturulmuş, bu doğru çalışma düzlemi ile çakıştırılmış ve bu nokta plan düzlemine taşınarak günışığı erişim çizgisinin mekandaki konumu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre D4 kodlu senaryoda çalışma düzleminin %50'sinde yeterli gökyüzü görüşü sağlanmıştır. Şekil 5.17'de gerçekleştirilen analize ilişkin bir görsele yer verilmiş ve ilgili görselde gökyüzü görüşünün sağlanamadığı bölge gri renkli olarak ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen dış görüş analizlerinde D4 kodlu senaryo için dış görüş oranı %50 olarak belirlenmiş ve engel durumunun dış görüşü olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.



Şekil 5.17 : D4 kodlu senaryo için günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi.

D5 kodlu senaryoda ele alınan mekanda istenen gökyüzü görüşünün belirlenmesine yönelik olarak günışığı erişim çizgisi yaklaşımı kullanılmıştır. Dış görüş analizlerinde, ele alınan mekanın çalışma düzleminde elde edilen gökyüzü görüşü bina kesiti yardımı ile saptanmıştır. Şekil 5.18'de ilgili dış görüş analizine yönelik olarak hazırlanmış bir kesit bulunmakta ve buna göre D5 kodlu senaryoda gökyüzü görüşünün sağlandığı görülmektedir.



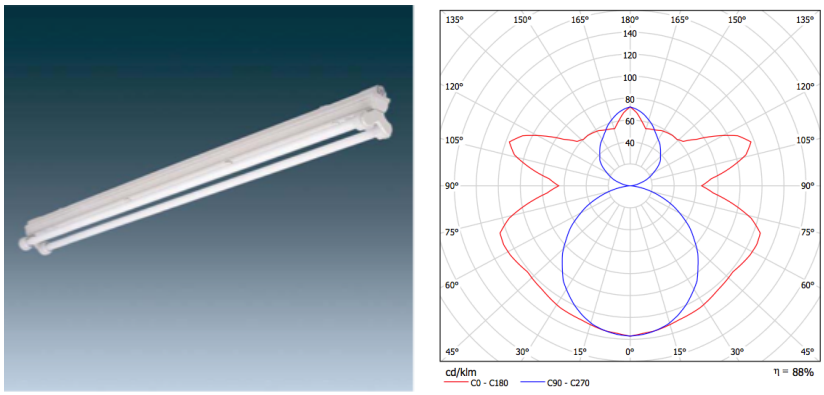
Şekil 5.18 : D5 kodlu senaryo için günışığı erişim çizgisinin belirlenmesi.

D5 kodlu senaryoda pencerenin bir kısmını engelleyen sabit güneş kontrol elemanının en alt noktası, pencerenin üst kotunun alt hizasında kalmaktadır. Ancak pencerenin engelli kısmı göz hizasının üstünde olduğundan bu durum dış görüşe engel teşkil etmemektedir. Bu senaryoda pencerelerin bir kısmının tasarlanan güneş kontrol elemanı nedeniyle kapatılması sebebi ile iç mekana alınan doğal aydınlatma miktarının belirli ölçüde azalması söz konusudur. Ancak gerçekleştirilen dış görüş analizlerinde mekanın ilgili noktalarında gerekli dış görüşün sağlandığı görülmektedir.

5.1.2 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, uygulamada ele alınan derslik hacmi ve geliştirilen yapma aydınlatma sistemi senaryoları için görsel konfor koşullarının sağlanması süreci açıklanmaktadır. Ele alınan yapma aydınlatma senaryolarının ilki, tip ilköğretim okulu projelerinde tarif edilen yapma aydınlatma düzeninden oluşan ve mevcut durumu temsil eden A0 kodlu senaryodur. Bu senaryoda 6 adet 2 x 36W tüp flüoresan lamba kullanılmaktadır. Mevcut durum senaryosundaki lambaların ışık

akısı 3350 lm'dir. Lambalara ait renksel geriverim indisi (Ra) 80'dir. Şekil 5.19'da A0 kodlu senaryoda (mevcut durumda) kullanılan aygıta ilişkin bir görsel ve ışık dağılım eğrisi bulunmaktadır. Şekil 5.20'de A0 kodlu senaryoya ilişkin aydınlatma planı (a) ve modelleme çalışmasına (b) yer verilmiştir.



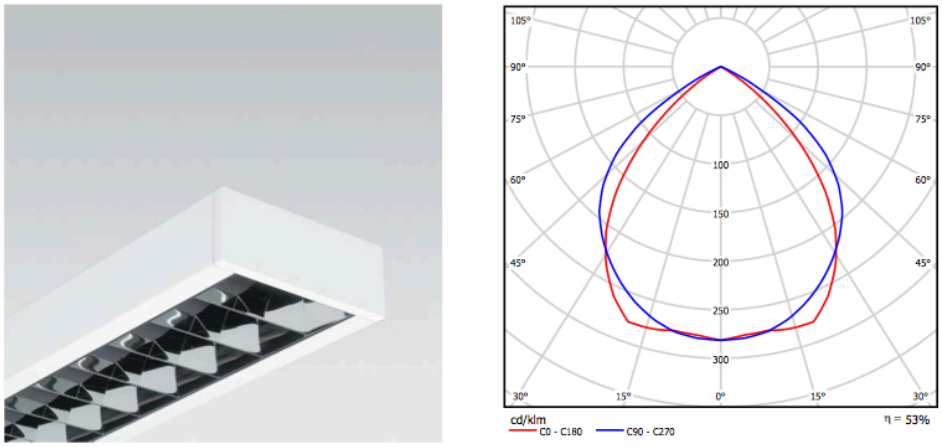
Şekil 5.19 : A0 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi.



(a) (b)

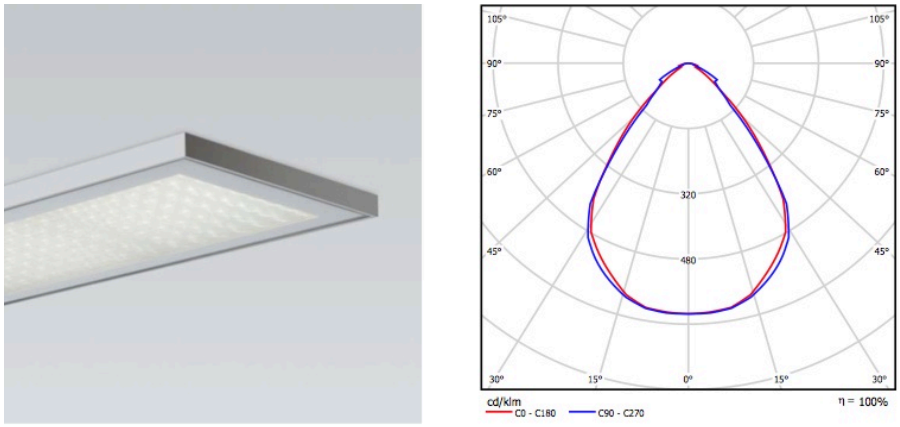
Şekil 5.20 : A0 kodlu senaryo aydınlatma sistemi planı (a) ve modeli (b).

İncelenen dersliğe ilişkin olarak Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan mevcut yapma aydınlatma sistemi projesinde dersliklerde 6 adet 2x36 W'lık T1 flüoresan lambanın kullanılması gerektiği bilgisi verilmekte ancak aygıt seçimine ilişkin bir veri bulunmamaktadır. Mevcut duruma alternatif olarak iki farklı senaryo, uygun aygıt seçimi ve farklı lamba türü kullanımına dayanarak geliştirilmiştir. A1 kodlu senaryoda tüp flüoresan lambaların uygun bir aygıt seçimiyle kamaşma yaratmayacak şekilde kullanımı esas alınmış ve 2xT26 36W/840 tüp flüoresan lambalar kullanılmıştır. A1 senaryosunda kullanılan lambaların ışık akısı 3200 lm ve lambaların renksel geriverim indisi (Ra) ise 80'dir. Şekil 5.21'de kullanılan aygıta ilişkin bir görsel ve ışık dağılım eğrisi bulunmaktadır.



Şekil 5.21 : A1 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi.

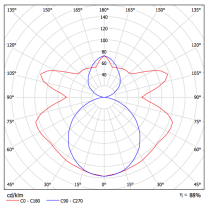
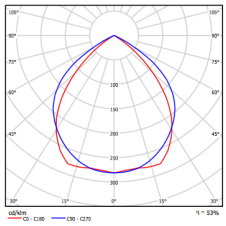
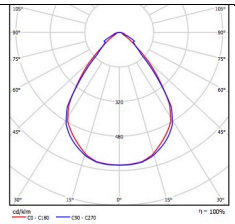
A2 kodlu senaryoda hem görsel konfor açısından uygun bir aygıt seçimi hem de daha düşük güce sahip bir LED aydınlatma elemanının kullanımı esas alınmıştır. Geliştirilen öneride yapma aydınlatma senaryosunda genel aydınlatma için 6 adet LED lamba kullanılmıştır. Kullanılan lambanın Ra değeri 80 üzerinde, renk sıcaklığı 4000 K ve gücü 47W'tır. Şekil 5.22'de kullanılan LED aydınlatma elemanına ilişkin bir görsele ve ışık dağılım eğrisine yer verilmiştir.



Şekil 5.22 : A2 kodlu senaryoda kullanılan aygıt görseli ve ışık dağılım eğrisi.

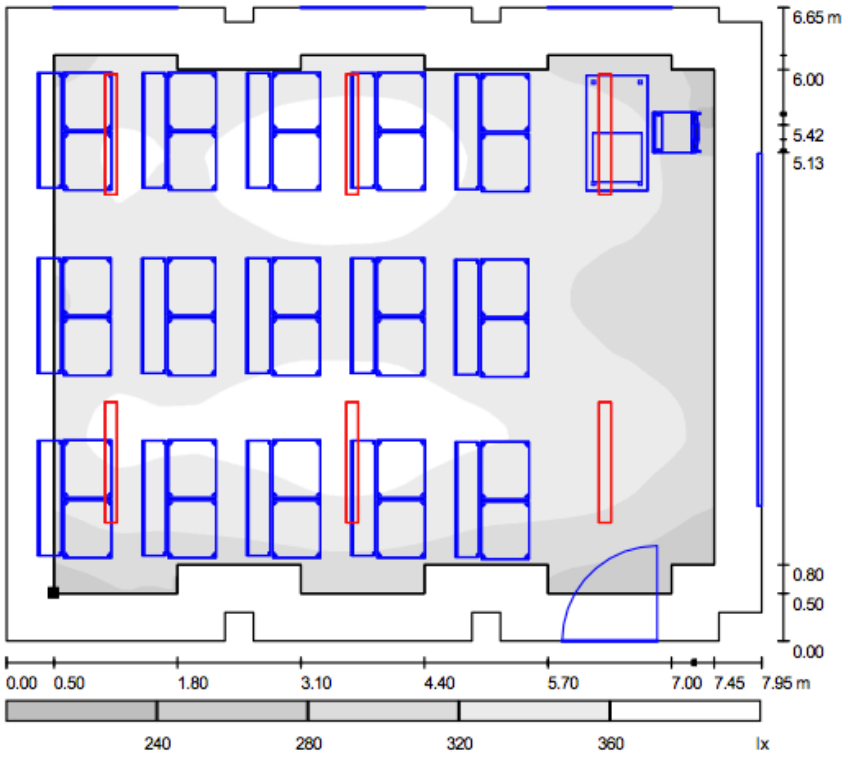
Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor performansının belirlenmesi hedefiyle yukarıda tanımlanan üç adet yapma aydınlatma sistemi senaryosu ele alınmış ve ilgili hacim bu senaryolar dikkate alınarak modellenmiştir. Çizelge 5.18'de ele alınan senaryolarda kullanılan yapma aydınlatma elemanlarına ilişkin bilgilere ve seçilen ürünlere ilişkin görsellere yer verilmiştir. İlgili yapma aydınlatma senaryolarında kullanılması önerilen yapma aydınlatma ürünleri, ele alınan ilköğretim derslik hacimleri için uygun olacak şekildedir.

Çizelge 5.18 : Ele alınan senaryolarda kullanılan yapma aydınlatma sistemi elemanlarına ilişkin bilgiler.

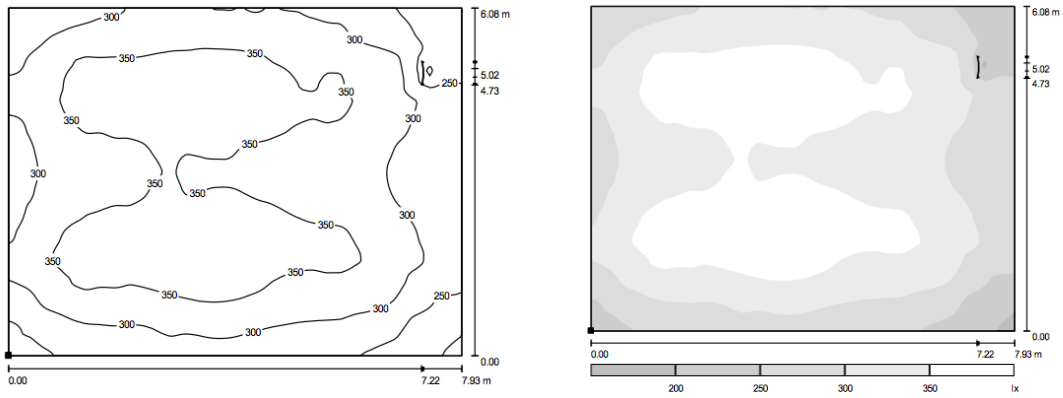
Yapma aydınlatma sistemi senaryoları			Aygıt resmi ve ışık dagılımı
A0	Lamba Türü:	Tüp Flüoresan (2xT26 36W/840)	 
	Aygıt Türü:	Direkt, çıplak	
	Işık Akısı:	3350 lm x 2	
	Ra:	80	
	UGR:	>19	
	Aygıt Gücü	72.0 W	
A1	Lamba Türü:	Tüp Flüoresan (2xT26 36W/840)	 
	Aygıt Türü:	Direkt, yüzeye monte	
	Işık Akısı:	6200 lm	
	Ra:	80	
	UGR:	<19	
	Aygıt Gücü	71.0 W	
A2	Lamba Türü:	LED	 
	Aygıt Türü:	Direkt, yüzeye monte	
	Işık Akısı:	3350 lm	
	Ra:	>80	
	UGR:	<19	
	Aygıt Gücü	47 W	

5.1.2.1 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemi simülasyonlarının gerçekleştirilmesi ve aydınlık düzeyinin belirlenmesi

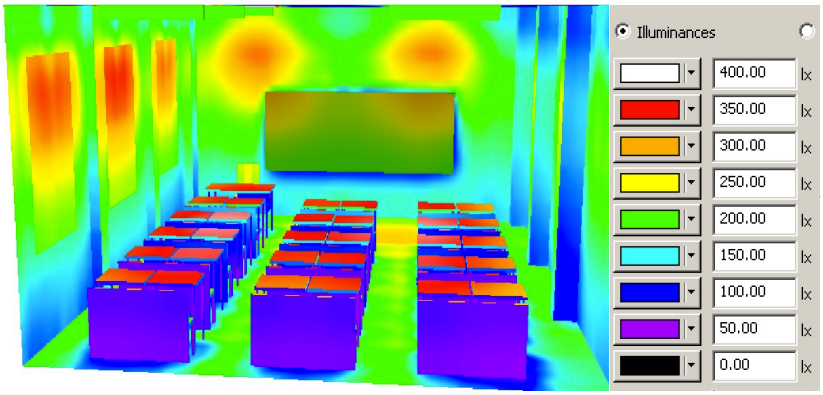
Ele alınan hacmin mevcut durumuna ilişkin yapma aydınlatma sistemi senaryosu (A0), yapma aydınlatma sistemi verileri ve mekanın fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak DIALUX programı ile modellenmiş ve hacimde çalışma düzleminde oluşan aydınlık düzeyi belirlenmiştir. İlgili modelde, çalışma düzlemi yüksekliği 0.67 m olarak tanımlanmış ve derslikteki tefriş bilgileri dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu, A0 mevcut yapma aydınlatma sistemi senaryosu ile ortalama 323 lx aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Şekil 5.23'de çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını ifade eden bir görsele yer verilmiştir. Şekil 5.24'de ise mevcut aydınlatma sistemi ile çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını gösteren eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi bulunmaktadır. Şekil 5.25'de dersliğe ilişkin mevcut aydınlatma sistemi ile hacim iç yüzeylerinde elde edilen aydınlık dağılımını renkli olarak ifade eden bir modele yer verilmiştir.



Şekil 5.23 : A0 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı.

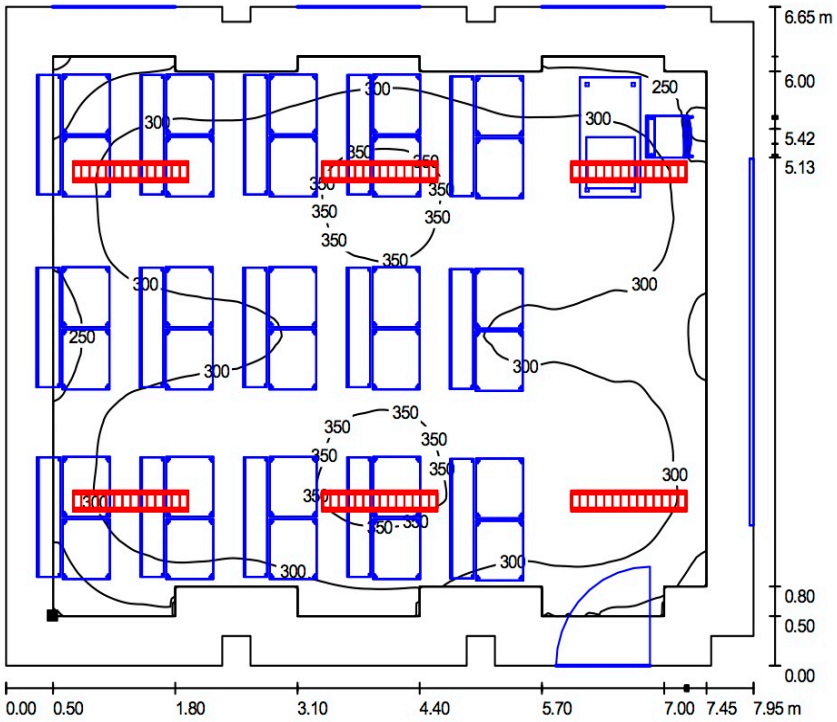


Şekil 5.24 : A0 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi.

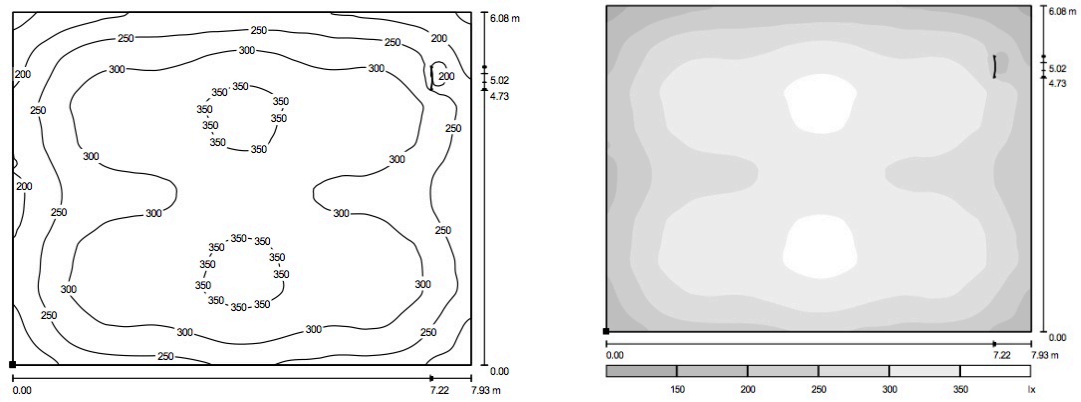


Şekil 5.25 : A0 senaryosu için aydınlık dağılımını ifade eden model.

A1 kodlu senaryo kapsamında önerilen yapma aydınlatma sistemi ile hacimde ortalama 308 lx aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Şekil 5.26'da çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını ifade eden bir görsele yer verilmiştir. Şekil 5.27'de önerilen aydınlatma sistemi ile çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını gösteren eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi bulunmaktadır.



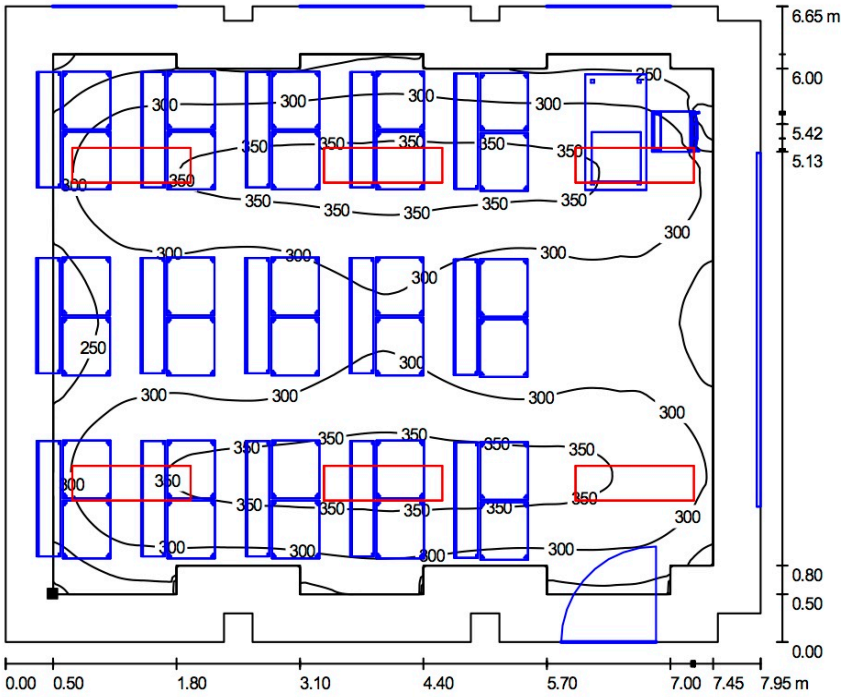
Şekil 5.26 : A1 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı.



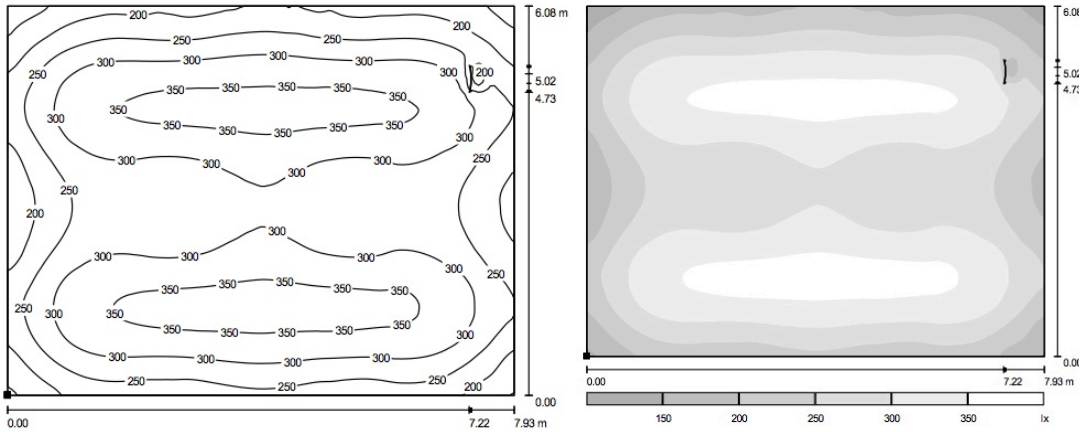
Şekil 5.27 : A1 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi.

A2 kodlu senaryoda önerilen yapma aydınlatma sistemi ile hacimde ortalama 307 lx aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Şekil 5.28'de çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını ifade eden bir görsele yer verilmiştir. Şekil 5.29'da A2 senaryosu

ile çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımını gösteren eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi bulunmaktadır.



Şekil 5.28 : A2 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen aydınlık dağılımı.



Şekil 5.29 : A2 senaryosu için çalışma düzleminde elde edilen eşaydınlık düzeyi eğrileri ve gri tonlu ifadesi.

5.1.2.2 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemi ile mekanda sağlanan düzgünlüğün değerlendirilmesi

Aydınlatmanın düzgünlüğü (U), çalışma düzleminde gerçekleşen minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine olan oranıdır. Geliştirilen yaklaşımda, ele alınan hacim için düzgün bir aydınlık dağılımı elde edebilmek hedefiyle EN 12464

Standardı'nda yer alan kriterler esas alınmaktadır. Bu standartta ilköğretim dersliklerinde istenen düzgünlük minimum 0,6 olarak belirtilmektedir.

A0 kodlu senaryoda çalışma düzleminde elde edilen minimum aydınlık düzeyi 178 lx iken maksimum aydınlık düzeyi ise 388 lx olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda elde edilen ortalama aydınlık düzeyi ise 328 lx olarak belirlenmiştir. Buna göre mevcut durum senaryosunda düzgünlük değeri 0.5426 olarak belirlenmiş, mevcut durumda elde edilen düzgünlük sonucunun EN 12464 Standardı'nda belirtilen kriteri sağlamadığı görülmüştür.

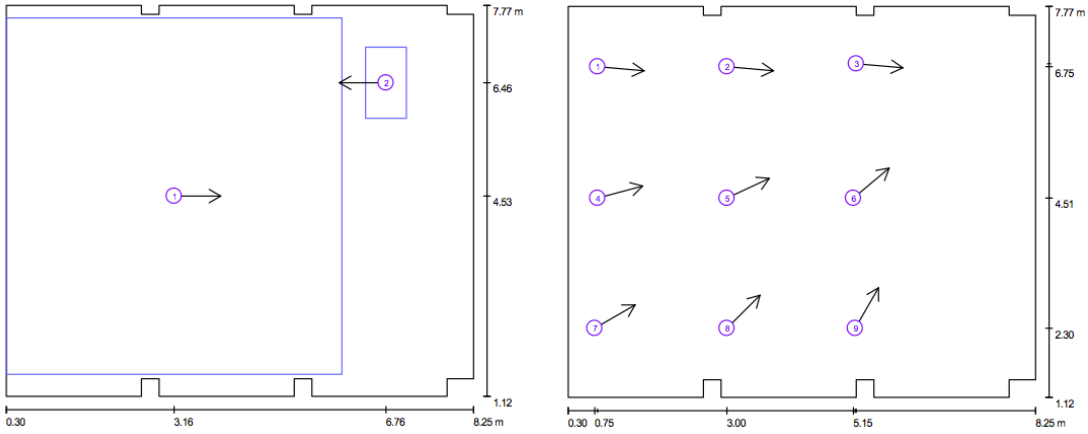
A1 kodlu senaryoda düzgünlük açısından gerekli değerlendirme çalışma alanı olan sıra yüzeylerinde gerçekleştirilmiş ve A1 senaryosu için düzgünlük değeri 0.701 olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer, EN 12464 Standardı'nda belirtilen düzgünlük kriterlerini sağlamaktadır.

A2 kodlu senaryoda düzgünlük açısından gerekli değerlendirme, A2 senaryosu için de çalışma alanı olan sıra yüzeylerinde gerçekleştirilerek düzgünlük değeri bu senaryo için 0.712 olarak belirlenmiştir. Belirlenen değerin EN 12464 Standardı'nda belirtilen düzgünlük kriterlerini sağladığı görülmüştür.

5.1.2.3 Ele alınan derslik hacmi için yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşma değerlendirmesi

Ele alınan hacim için yapma aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan UGR kamaşmasının hesaplanmasında Dialux simülasyon programı kullanılmıştır. Derslik genelinde yapma aydınlatmaya ilişkin kamaşmanın UGR yöntemi ile hesaplanabilmesi için oluşturulan Dialux modelinde hem bölgesel hem de noktasal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, öğrencilerin oturdukları sıralarından yazı tahtasına doğru olan bakış doğrultusu ve öğretmenin öğrencilere doğru olan bakış doğrultuları inceleme için seçilerek UGR hesapları için iki adet bölge oluşturulmuştur. UGR hesapları için oturur konumdaki öğrencilerin göz seviyesi yüksekliği 0.97m, öğretmenin göz seviyesi yüksekliği ise 1.2m olarak tanımlanmış ve bu değerler modellemelerde dikkate alınmıştır. Sekil 5.30-a'da UGR hesapları için tanımlanan öğrenci ve öğretmen bakış doğrultuları ifade edilmektedir. Noktasal UGR analizleri için öğrencilerin oturdukları sıralardan öğretmen masasına doğru olan bakış doğrultuları, yapma aydınlatma sistemine bağlı oluşan kamaşma incelemesi için seçilmiştir. Derslikteki sıraların konumlarına göre oluşturulan

toplam dokuz adet bakış doğrultusu için UGR hesapları gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.30.b'de öğrenciler için UGR hesaplarının gerçekleştirileceği bakış doğrultularına yer verilmiştir.

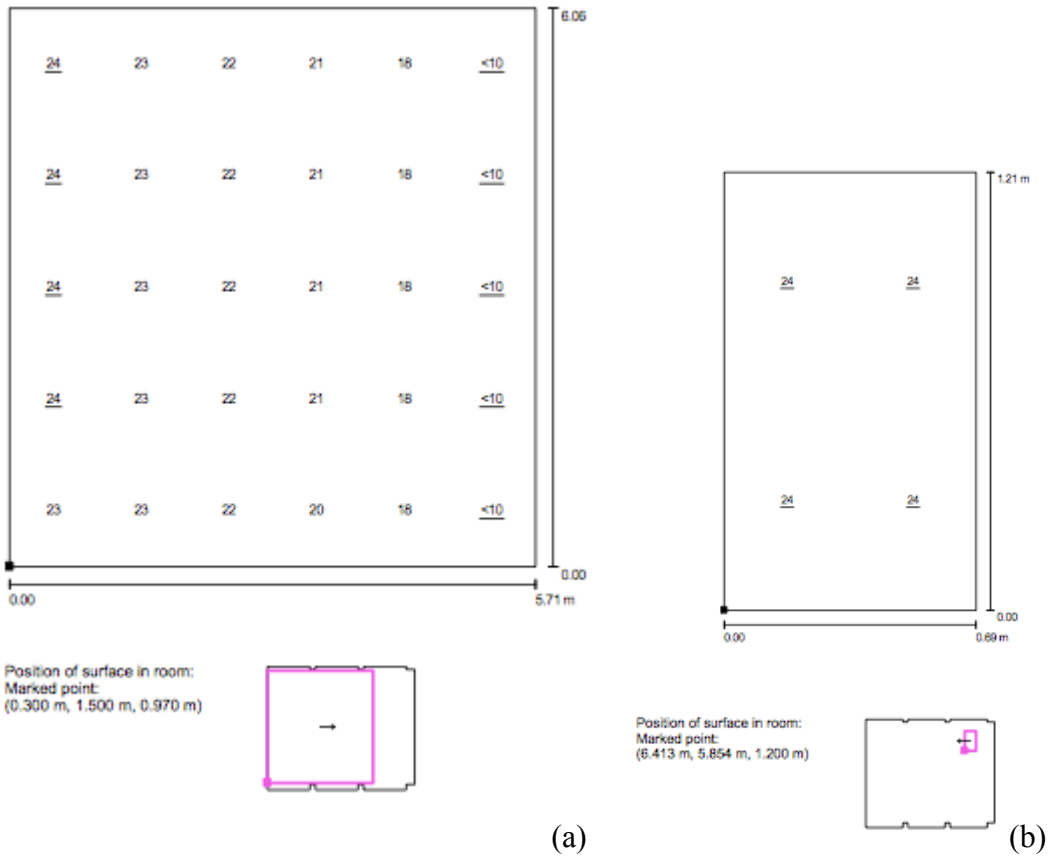


(a) (b)

Şekil 5.30 : UGR hesabı için analiz bölgeleri (a) ve öğrenci bakış doğrultuları (b).

A0 kodlu senaryoda UGR bölgelerinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.31.a ve 5.31.b'de bulunmaktadır. Buna göre öğrencilere ait bölgede karşılaşılan UGR sonuçları 24-10 arasında değişmektedir. EN 12464 Standardı'nda derslikler için izin verilen maksimum UGR değeri '19' olarak belirtilmiştir. Gerçekleştirilen hesaplamalarda öğrenciler için belirlenen UGR analiz bölgesinde bu oran %33.3 oranında sağlanmakta ve %66.7 oranında 19 sınırının üzerinde UGR değerleri elde edilmektedir. Öğretmen için oluşturulan UGR bölgesinde ise UGR değeri 24 olarak belirlenmiş ve EN 12464 Standardı'nda istenen kriter değer sağlanamamıştır.

A0 kodlu senaryoya ilişkin noktasal UGR hesaplamaları, öğrenciler için belirlenen 9 bakış doğrultusu için gerçekleştirilerek elde edilen UGR sonuçları Çizelge 5.19'da verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde Nokta 3 ve Nokta 6 haricinde istenen UGR değerinin sağlanamadığı belirlenmiş, sonuç olarak bu senaryo genelinde ele alınan hesap noktaları için istenen UGR değerlerinin %22.22 oranında sağlandığı tespit edilmiştir. Şekil 5.32'de A0 mevcut durum senaryosunda dokuz adet noktada hesaplanan UGR sonuçlarının grafiksel ifadesine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu dersliğe ilişkin yapma aydınlatma sistemi tasarımının tekrar ele alınması ve uygun bir aygıt seçiminin gerekliliği ortaya konmuştur.

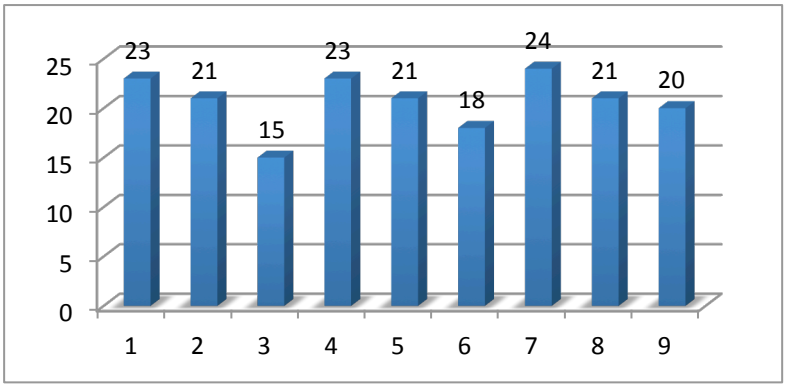


(a) (b)

Şekil 5.31 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A0.

Çizelge 5.19 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A0.

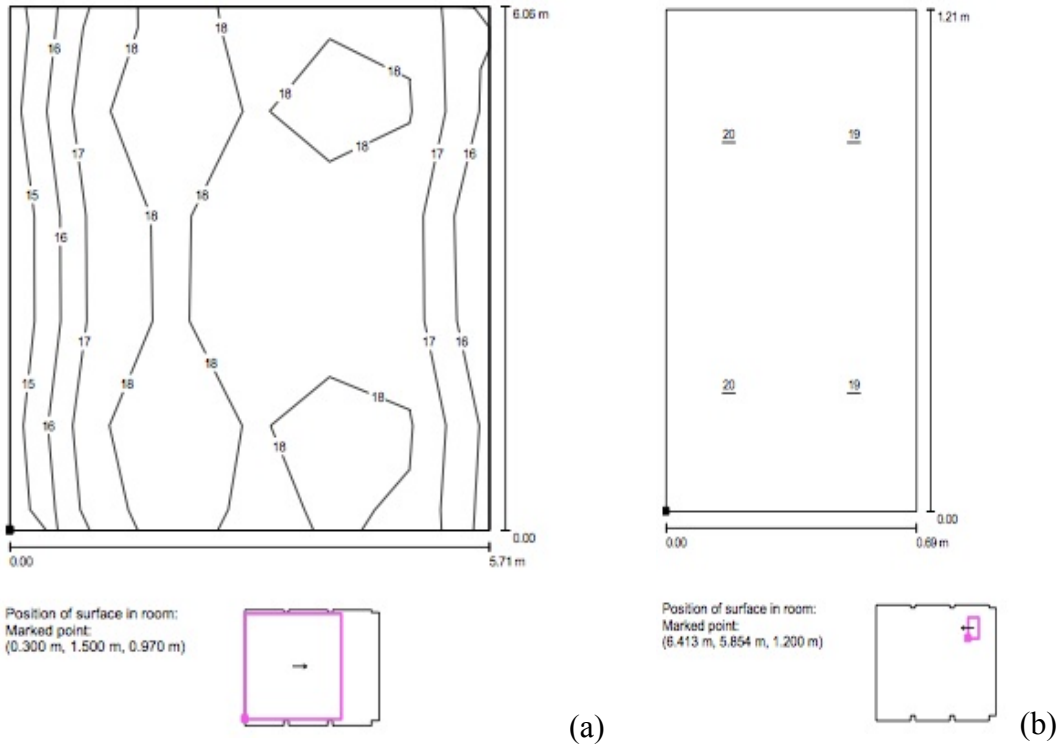
$Nokta_1$ UGR: 23	$Nokta_2$ UGR: 21	$Nokta_3$ UGR:15
$Nokta_4$ UGR: 23	$Nokta_5$ UGR: 21	$Nokta_6$ UGR: 18
$Nokta_7$ UGR: 24	$Nokta_8$ UGR: 21	$Nokta_9$ UGR: 20



Şekil 5.32 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A0.

A1 kodlu senaryoda UGR bölgelerinde elde edilen sonuçlara Şekil 5.33'de yer verilmiştir. Buna göre öğrencilere ait UGR analiz bölgesinde karşılaşılan UGR değerleri 15-18 arasında değişmektedir. Bu senaryoda önerilen yapma aydınlatma

sistemi ile öğrencilerin bakış doğrultusundaki tüm bölgelerde EN 12464 Standardı'nda izin verilen kamaşma indisi değeri olan 19'un sağlandığı görülmektedir. Öğretmen için gerçekleştirilen UGR analizleri sonuçlarına göre mevcut durum senaryosunda (A0 senaryosu) 24 olan UGR değerinin A1 Senaryosu'nda 19-20 arasında olduğu belirlenmiştir. Öğretmenin masasında oturduğu konumuna en yakın bölgelerde UGR indisi 19 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak A1 kodlu senaryo, yapma aydınlatma sistemine ilişkin kamaşma değerlendirmesi açısından uygun bulunmuştur.

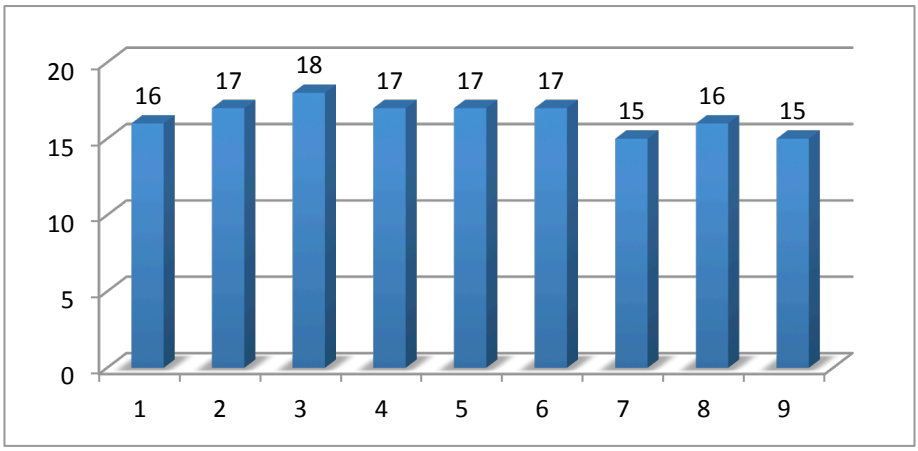


Şekil 5.33 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A1.

A1 senaryosu için öğrenci bakış doğrultularını yansıtan 9 adet noktada hesaplanmış UGR değerlerine Çizelge 5.20'de yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu senaryoda önerilen durum ile ele alınan bakış doğrultularının tümünde istenen UGR değerlerinin sağlandığı görülmektedir. A1 senaryosunda, elde edilen UGR değerlerinin 15-18 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, istenen UGR sınır değeri olan 19'un tüm bakış doğrultularında sağlandığını ortaya koymaktadır. Şekil 5.34'de elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesine yer verilmiştir.

Çizelge 5.20 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A1.

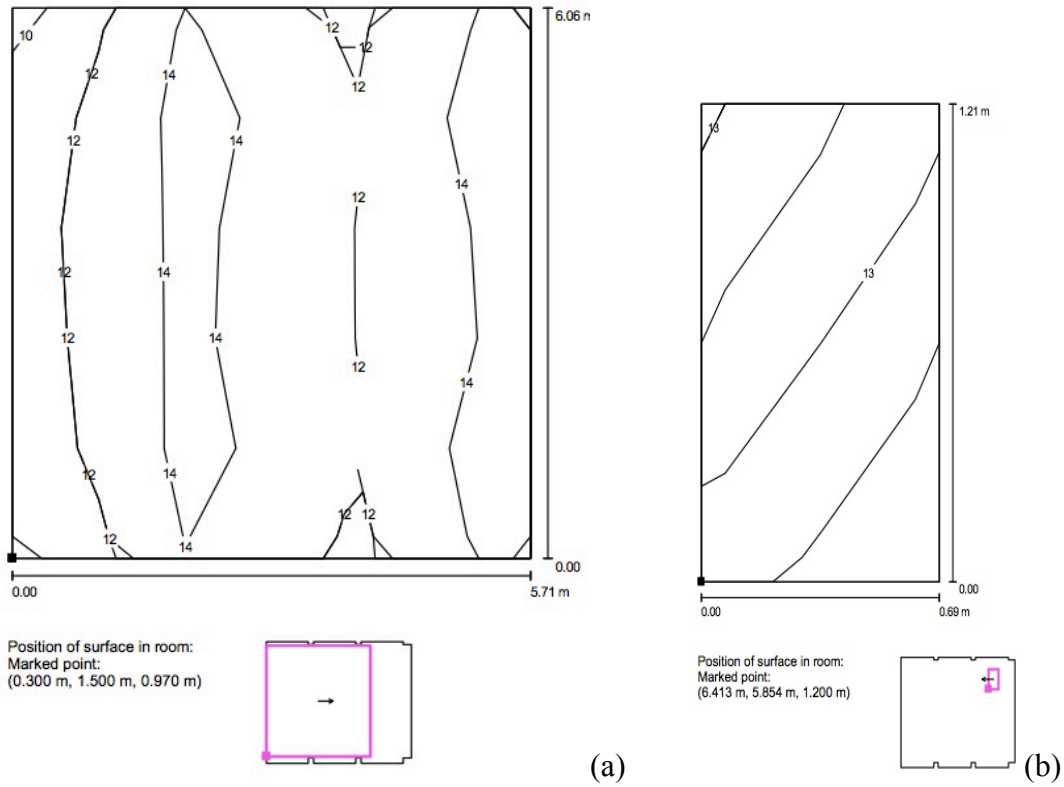
$Nokta_1$ UGR: 16	$Nokta_2$ UGR: 17	$Nokta_3$ UGR:18
$Nokta_4$ UGR: 17	$Nokta_5$ UGR: 17	$Nokta_6$ UGR: 17
$Nokta_7$ UGR: 15	$Nokta_8$ UGR: 16	$Nokta_9$ UGR: 15



Şekil 5.34 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A1.

A2 kodlu senaryoda UGR bölgelerinde elde edilen sonuçlara Şekil 5.35'de yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öğrencilere ait UGR analiz bölgesinde karşılaşılan UGR değerleri 10-17 arasındadır. A2 kodlu senaryoda önerilen aydınlatma sistemi ile öğrencilerin bakış doğrultusundaki tüm bölgelerde EN 12464 Standardı'nda izin verilen kamaşma kriterinin sağlandığı görülmektedir. Öğretmen için gerçekleştirilen UGR analizleri sonuçlarına göre hesaplanan UGR değerlerinin 12-14 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu senaryoda, önerilen yapma aydınlatma sisteminin UGR açısından uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

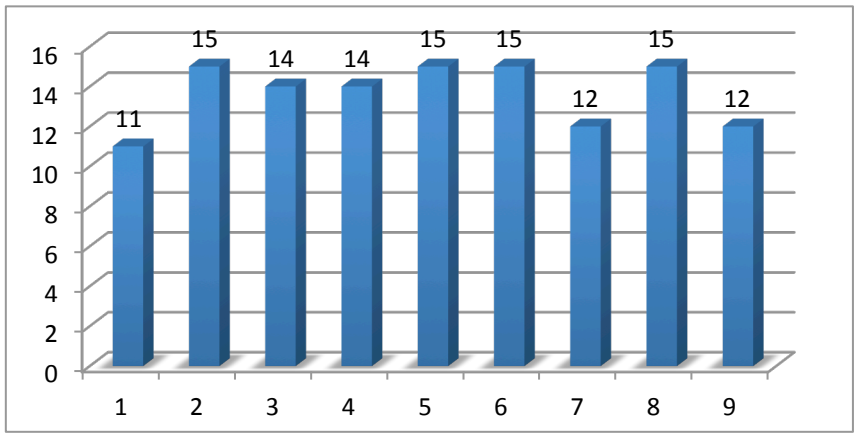
Çizelge 5.21'de A2 koşulları için öğrenci bakış doğrultularını yansıtan 9 adet nokta için hesaplanmış UGR değerlerine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre A2 kodlu senaryoda tüm bakış doğrultularında istenen UGR değerlerinin sağlandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre öğrencilere ait UGR analiz bölgesinde karşılaşılan UGR değerleri 11-15 arasındadır. Şekil 5.36 'da ele alınan UGR hesap noktalarında belirlenen UGR değerlerinin grafiksel ifadesine yer verilmiştir.



Şekil 5.35 : Öğrenciler (a) ve öğretmen (b) için oluşturulan UGR analiz bölgeleri hesap sonuçları_A2.

Çizelge 5.21 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerleri_A2.

Nokta$_1$ UGR: 11	Nokta$_2$ UGR: 15	Nokta$_3$ UGR:14
Nokta$_4$ UGR: 14	Nokta$_5$ UGR: 15	Nokta$_6$ UGR: 15
Nokta$_7$ UGR: 12	Nokta$_8$ UGR: 15	Nokta$_9$ UGR: 12

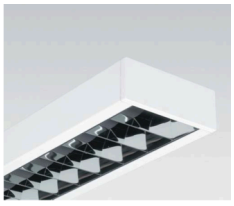


Şekil 5.36 : Hesap noktalarında elde edilen UGR değerlerinin grafiksel ifadesi_A2.

Mevcut duruma alternatif olarak önerilen A1 ve A2 kodlu senaryolar için gerçekleştirilen görsel konfor analizlerinin sonuçlarına göre gerek öğrenci gerekse öğretmenin derslik genelinde maruz kalabileceği yapma aydınlatma sistemlerinden

kaynaklanacak kamaşmanın kontrol altında olduğu ve istenen sınırları aşmadığı belirlenmiştir. Mevcut durum ile aynı kurulu güce sahip olarak önerilen A1 senaryosu ile görsel konfor koşullarının iyileştirilebildiği ortaya konmaktadır. Senaryo A2 ile hem yapma aydınlatmadan kaynaklanan kamaşma açısından en uygun seçenek elde edilmiş hem de görsel konfor koşullarından taviz verilmeyerek kurulu gücü daha az olan bir yapma aydınlatma sistem seçimi önerilmiştir. Çizelge 5.22'de ele alınan yapma aydınlatma senaryolarında elde edilen sonuçlara ilişkin bilgilere yer verilmiştir.

Çizelge 5.22 : A0, A1 ve A2 senaryoları görsel konfor değerlendirmesi sonuçları.

	A0 (Mevcut Durum)	A1	A2
			
Lamba çeşidi:	Tüp flüoresan	Tüp flüoresan	LED
Ra:	80	80	80 üzeri
Kurulu güç:	6 x 2 x 36 W	6 x 71 W	6 x 47 W
Ortalama aydınlık düzeyi:	323 lx	308 lx	307 lx
Düzgünlük:	0.5426	0,701	0,712
UGR (öğretmen) aralığı:	24	20-19	14-12
UGR (öğrenci) aralığı:	24-10	18-15	17-10
UGR 9 nokta ortalaması:	20,666	16,444	13,666
Aydınlık düzeyi denetimi:	Olumlu	Olumlu	Olumlu
UGR kamaşması denetimi:	Olumsuz	Olumlu	Olumlu
Düzgünlük denetimi	Olumsuz	Olumlu	Olumlu
Renksel geriverim indisi denetimi	Olumlu	Olumlu	Olumlu

5.1.3 Ele alınan derslik hacmi için doğal ve yapma aydınlatma sisteminin optimum bütünleştirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, ele alınan derslik hacmi için doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Yaklaşımın uygulamasının gerçekleştirildiği derslik, çoğunlukla gün saatleri içerisinde kullanılan ve doğal aydınlatma kullanımının görsel, psikolojik, fizyolojik ve enerji etkinlik açılarından gerekli olduğu bir hacim türüdür. Ele alınan mevcut tip ilköğretim okulu dersliğinde mevcut pencereler aracılığı ile günışığından yararlanılabilmektedir. Ancak incelenen derslikte günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı öngörülmemekte ve mevcut yapma aydınlatma sistemi manuel açma- kapama anahtarı ile kontrol edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan ilköğretim okulu dersliği aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi hedefiyle doğal aydınlatmaya bağlı 2 farklı kontrol stratejisi önerilmektedir. Bu senaryolar K2 günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneği ile K3 günışığına bağlı loşlaştırma sistemleridir. K2 senaryosunda manuel bir şekilde aydınlatma kontrolü sağlanmakta ve bu seçenekte günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış aydınlatma elemanlarının kullanıcılar tarafından günışığına duyarlı olacak şekilde denetlenmesi öngörülmektedir. K3 senaryosunda ise ele alınan derslikteki günışığı aydınlığına bağlı olarak otomatik loşlaştırma sağlanmakta böylelikle mekanda yapma aydınlatma kullanımı optimize edilmektedir. Ele alınan derslik hacmi için aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi hedefiyle önerilen K2 ve K3 senaryoları, görsel konfor koşulları açısından gerekli aydınlık düzeyinin doğal veya yapma aydınlatma sistemleriyle, veya her ikisinin birlikte kullanılmasıyla sağlanmasına yönelik geliştirilen alternatiflerdir. Bu alternatiflerin enerji performansı yönünden değerlendirilmesi Bölüm 5.2.1'de ele alınmaktadır.

5.2 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan derslik için geliştirilen senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmış ve enerji performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen 5 adet doğal aydınlatma senaryosu (D1-D5), 2 adet yapma aydınlatma senaryosu (A1-A2) ve 3 adet aydınlatma kontrolü senaryosunun (K1-K3) aydınlatma enerjisi performansına olan etkisi incelenmiştir. Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi performansı geliştirilen yaklaşım uyarınca belirlenmiş ve elde edilen veriler BEP-TR yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

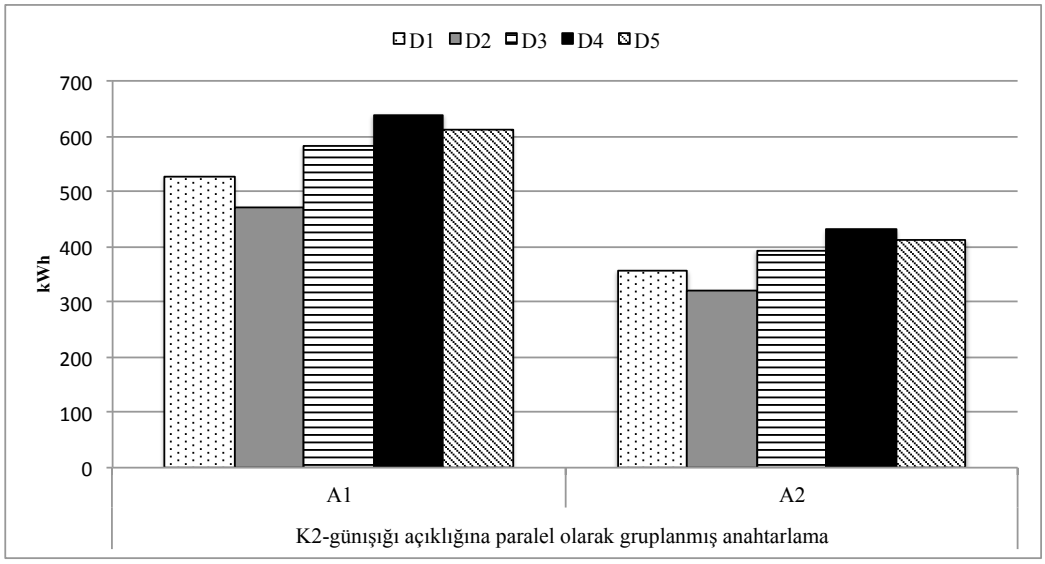
5.2.1 Ele alınan derslik hacmine ilişkin aydınlatma enerjisi performansının geliştirilen yaklaşım ile belirlenmesi

Geliştirilen yaklaşım uyarınca aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesi için ele alınan senaryolara ilişkin doğal ve yapma çevre tasarım parametreleri, bina kullanıcılarına ilişkin parametreler, binanın kullanım saatleri ve binanın yapma aydınlatma sistemine ilişkin özellikler dikkate alınmıştır. Doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin aydınlatma enerjisi gereksinmelerine olan etkisi dikkate alınarak bu sistemlerin kullanılma potansiyeli hesaplanmış ve yapma aydınlatmanın

kullanım durumu her senaryo için ayrıca belirlenmiştir. Bu hedefle mekanın doğal aydınlatma performansının belirlendiği 5.1.1 bölümünde elde edilen sonuçlardan yararlanılmış ve ele alınan senaryoların yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi belirlenmiştir. Geliştirilen doğal aydınlatma senaryoları (D1-D5), yapma aydınlatma senaryoları (A1, A2) ve aydınlatma kontrol sistemi senaryolarına (K1, K2, K3) ilişkin olarak aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve yaklaşım uyarınca elde edilen sonuçlar Ek D'de çizelgeler olarak sunulmuştur.

K1 manuel açma- kapatma senaryosu, aydınlatma enerjisi gereksinimi açısından en olumsuz koşulları temsil etmektedir. Ek D.1'de çalışma saatleri boyunca tüm lambaların açık olması kabulüne göre gerçekleştirilen ve en olumsuz koşulları temsil eden manuel açma- kapatma kullanımına dayalı enerji gereksinimi hesap sonuçları yer almaktadır. Buna göre A1 ve A2 yapma aydınlatma senaryolarının manuel açma kapama ile kontrol edilmesi durumunda A1 senaryosu için 751,464 kWh, A2 senaryosu için ise 497,448 kWh aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplanmıştır. EN 15193 Standardı uyarınca hesaplanan yıllık parazit güçler dikkate alındığında yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi A1 için 764,054 kWh, A2 için ise 514,238 kWh olarak belirlenmiştir. K1 senaryosunda elde edilen değerler tüm doğal aydınlatma sistemi tasarım alternatiflerinde (D1-D5) aynıdır.

K2 günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama kontrol senaryosu için gerçekleştirilen aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamaları, hacmin yıllık günışığı performansı dikkate alınarak A1 ve A2 senaryoları için gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımda K2 günışığına paralel anahtarlama kontrol senaryosu, kullanıcıların doğal aydınlatma etkisine bağlı olacak şekilde yapma aydınlatmayı kontrol ettiği kabulüne dayalı olarak geliştirilmiştir. İlgili senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimi hesap sonuçları, Ek D2-D6'de yer almaktadır. Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamaları, doğal aydınlatma sistemi senaryoları (D1-D5) ve yapma aydınlatma sistemi senaryoları A1- A2 için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların grafiksel ifadesine Şekil 5.37'de yer verilmiştir.



Şekil 5.37 : K2 senaryosu - yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları.

K3 günışığına bağlı loşlaştırma senaryosuna ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamalarında, çalışmanın 5.1.1 bölümünde ele alınan hacim için belirlenen saatlik günışığı performans sonuçları dikkate alınmış ve buna bağlı olarak saatlik loşlaştırma oranları belirlenmiştir. Günışığına bağlı loşlaştırma (K3) senaryosunda kullanılan aydınlatma kontrol sistemi ekipmanları şu şekildedir:

- 1 adet merkezi eleman,
- 2 adet doğal aydınlatma sensörü,
- 6 adet DALI elektronik balast (A1 senaryosu için, 1-100% loşlaştırma),
- 6 adet DALI sürücü (A2 senaryosu için, 1-100% loşlaştırma).

Seçilen DALI elektronik balastların stand-by durumdaki güçleri 0.3W ve devre güçleri ise 70.5 W'tır. LED sürücülerin ise stand-by durumdaki güçleri 0.4W ve devre güçleri 77 W'tır. Merkezi eleman, 128 adet DALI uyumlu aygıt ile birlikte çalışma özelliğine sahip olan bir ürün olup toplam 14 adet dersliği kontrol edebilecek şekilde öngörülmüştür. Dört katlı olan ilköğretim okulu binasının ilk iki katı tek merkezi ekipman, diğer iki katı ise 2. merkezi ekipman ile donatılmıştır. Seçilen merkezi ekipmanın stand-by durumdaki gücü 2.5 W ve devre gücü ise tam yükleme koşullarında 7.5 W'tır.

İlgili senaryoda incelenen derslik hacmi pencereye paralel olarak iki bölgeye ayrılmış olup mekana iki adet doğal aydınlatma sensörü yerleştirilmiştir. Doğal aydınlatma sensörlerinin çalışması için gerekli güç, merkezi ekipman tarafından

sağlanmaktadır. İlk sensör pencereye paralel olarak gruplandırılmış olan ilk bölgede (bölge$_1$ _duvar) bulunan üç adet aydınlatma elemanını, ikinci sensör ise ikinci bölgede (bölge$_2$ _pencere) bulunan aydınlatma elemanlarını kontrol etmektedir. Bu iki bölgede ele alınan gün ve saatlerde günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyine göre, yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin loşlaştırma oranları elde edilmiştir. Çizelge 5.23'da ele alınan senaryolara ilişkin hesaplama için seçilen tarih ve saatlerde günışığı ile elde edilen ortalama aydınlık düzeyi (lux) bilgileri verilmiştir. Loşlaştırma oranları, çalışmanın 5.1.1 bölümünde Radiance programı ile hesaplanan günışığı dağılımı verileri ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.23 : Bölge$_1$- Bölge$_2$ günışığı ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi (lx).

Senaryo Adı	Bölge Adı	15 Aralık 08:00	15 Aralık 12:00	15 Aralık 16:00	15 Mart 08:00	15 Mart 12:00	15 Mart 16:00	15 Haziran 08:00	15 Haziran 12:00	15Haziran 16:00
	Bölge$_1$ (duvar)	17	519	16	50	289	62	138	328	144
D1	Bölge$_2$ (pencere)	80	2560	75	238	2430	297	560	984	566
	Bölge$_1$ (duvar)	27	308	20	120	268	138	187	323	181
D2	Bölge$_2$ (pencere)	127	2856	92	540	2615	643	497	960	481
	Bölge$_1$ (duvar)	17	211	16	50	223	62	97	306	241
D3	Bölge$_2$ (pencere)	80	1558	75	238	1405	297	364	894	1566
	Bölge$_1$ (duvar)	7	38	9	20	86	24	53	52	56
D4	Bölge$_2$ (pencere)	59	496	59	177	2071	218	392	385	396
	Bölge$_1$ (duvar)	9	126	9	26	133	32	78	227	79
D5	Bölge$_2$ (pencere)	40	1265	38	119	598	147	332	700	332

İlgili bölgelerde hesaplanan ortalama aydınlık düzeyi bilgilerine göre, ele alınan derslik hacmi için hedef aydınlık düzeyi olan 300 lx'ün günışığı ile sağlanma oranı belirlenmiştir. Bu veriler yardımı ile yapma aydınlatma sistemine duyulan ihtiyacın belirlenmesi, böylelikle aydınlatma kontrol sisteminin mevcut yapma aydınlatma sistemini ne oranda aktif hale getireceği bilgisinin elde edilmiştir. Örneğin Senaryo D1-Bölge$_1$15 Aralık 08:00 koşullarında günışığı ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi 17 lux olarak belirlendiğinden istenen aydınlık düzeyinin sağlanması için yalnızca günışığı yeterli olmamakta, gereken hedef aydınlık düzeyi olan 300 lux değerinin elde edilebilmesi için yapma aydınlatma sistemi ile 0,94 oranında ilaveye gereksinim duyulmaktadır. Çizelge 5.24'de hesaplama için seçilen gün ve saatlerde, hedef aydınlık düzeyinin (300 lux) sağlanması için yapma aydınlatma sistemi ile ilave edilmesi gereken oran bilgileri yer almaktadır.

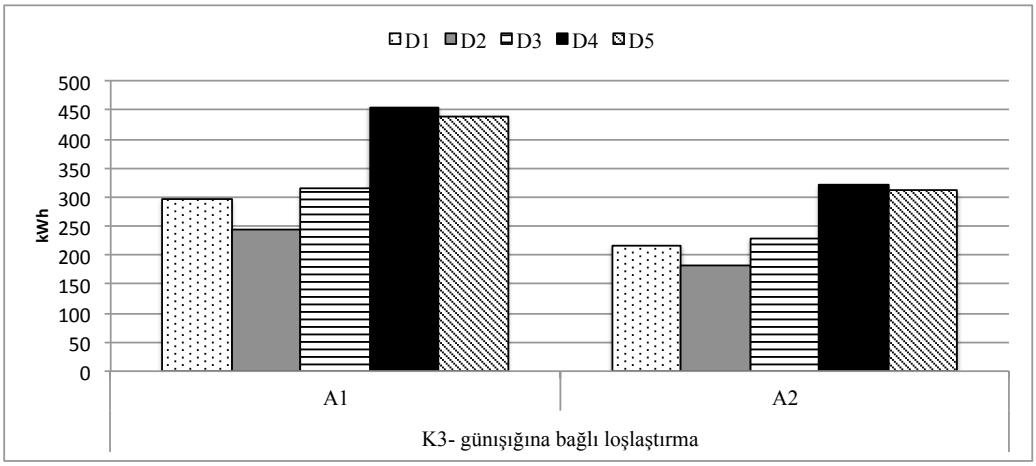
Çizelge 5.24 : Hesaplama için seçilen gün ve saatlerde hedef aydınlık düzeyinin sağlanması için gerekli ilave oranı (0-1, 0: ilave %0, 1: ilave %10).

Senaryo Adı	Bölge Adı	15 Aralık 08:00	15 Aralık 12:00	15 Aralık 16:00	15 Mart 08:00	15 Mart 12:00	15 Mart 16:00	15 Haziran 08:00	15 Haziran 12:00	15 Haziran 16:00
	Bölge1 (duvar)	0,94	0,00	0,95	0,83	0,04	0,79	0,54	0,00	0,52
D1	Bölge2 (pencere)	0,73	0,00	0,75	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Bölge1 (duvar)	0,91	0,00	0,93	0,60	0,11	0,54	0,38	0,00	0,40
D2	Bölge2 (pencere)	0,58	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Bölge1 (duvar)	0,94	0,30	0,95	0,83	0,26	0,79	0,68	0,00	0,20
D3	Bölge2 (pencere)	0,73	0,00	0,75	0,21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Bölge1 (duvar)	0,98	0,87	0,97	0,93	0,71	0,92	0,82	0,83	0,81
D4	Bölge2 (pencere)	0,80	0,00	0,80	0,41	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
	Bölge1 (duvar)	0,97	0,58	0,97	0,91	0,56	0,89	0,74	0,24	0,74
D5	Bölge2 (pencere)	0,87	0,00	0,87	0,60	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00

Günışığına bağlı loşlaştırma sistemi kullanımına ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamaları, kontrol sisteminin mevcut yapma aydınlatma sistemini hangi gün ve saatte ne oranda aktif hale getireceği bilgisine dayalı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Ek D'de verilmiştir. Hesaplama için seçilen gün ve saatlerde ilgili bölgede hedef aydınlık düzeyinin sağlanması için gerekli ilave oranı, bu bölgelerde yer alan aydınlatma elemanlarının toplam kurulu gücü ile çarpılarak (A1 için 3 x 71W, A2 için 3 x 47W) ele alınan tarih ve saatler için gerçekleştirilen hesaplamalar, ele alınan hesaplama tarihinin yıl bazında temsil ettiği saat bilgisi ile oranlanmıştır. Böylelikle günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği kullanımında oluşan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri elde edilmiştir.

Hesaplamalarda A1 yapma aydınlatma sistemi senaryosunda kullanılan balast ve A2 yapma aydınlatma sistemi senaryosunda kullanılan LED sürücülerin gücünün loşlaştırma oranına bağlı olarak doğrusal şekilde değiştiği kabul edilmiştir. Çizelge D.7-Çizelge D.11'de A1, Çizelge D.12-Çizelge D.16'da ise A2 yapma aydınlatma sistemi senaryosu için K3 günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği ile elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi hesap sonuçları verilmektedir. Şekil 5.38'de K3 günışığına bağlı loşlaştırma senaryosu ile elde edilen aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının grafiksel ifadesine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre maksimum yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi, 455,35 kWh ile A1-D4'de meydana gelmektedir. Bu durum, dersliğin İstanbul koşullarında ve pencerelerin engelli olması durumunu temsil etmektedir. Ele alınan senaryolar arasında minimum

yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi ise 180,98 kWh ile A2-D2 ‘de oluşmaktadır. Bu senaryoda derslik Antalya’da bulunmaktadır.

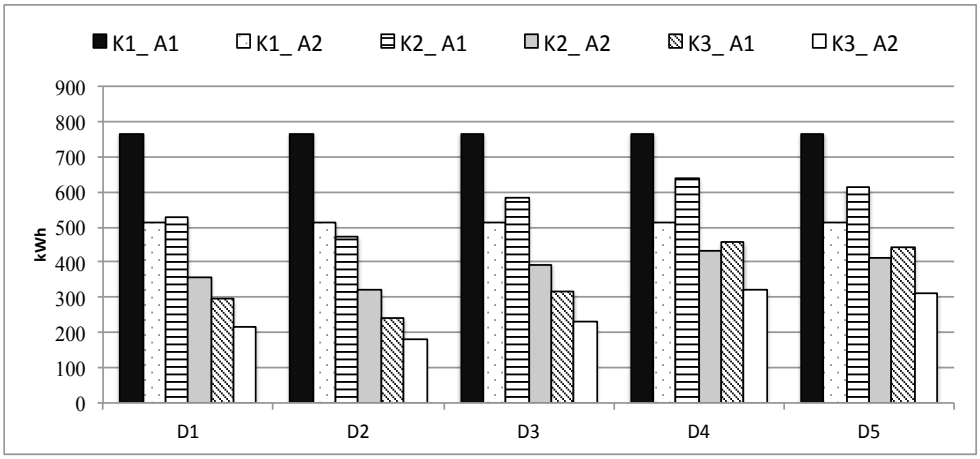


Şekil 5.38 : K3 senaryosu yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları.

Ele alınan senaryolarda farklı yapma aydınlatma kontrol stratejileri dikkate alınarak gerçekleştirilen enerji gereksinimi hesapları, manuel açma-kapatma, günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama ve günışığına bağlı loşlaştırma sistemlerini içermektedir. Çizelge 5.25’de ele alınan senaryolar için yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarına, Şekil 5.39’da ise elde edilen sonuçların grafiksel ifadesine yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre maksimum aydınlatma enerjisi gereksinimi A1 için 764,054 kWh, A2 için ise 514,238 kWh olmak üzere manuel açma-kapatma kontrol sistemi seçiminde elde edilmiştir. İncelenen senaryolarda günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama sistemi seçiminde ise manuel açma- kapama kontrol sistemine oranla daha düşük aydınlatma enerjisi miktarlarının elde edildiği görülmektedir. Günışığına bağlı loşlaştırma sisteminin seçilmesi durumunda ele alınan senaryolar için minimum aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 5.25 : Ele alınan senaryolar için farklı aydınlatma kontrol seçeneklerinde oluşan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları.

Kontrol Seçenekleri	D1	D2	D3	D4	D5
A1_K1	764,05	764,05	764,05	764,05	764,05
A2_K1	514,24	514,24	514,24	514,24	514,24
A1_K2	527,62	472,67	582,58	638,81	610,69
A2_K2	357,73	321,35	394,11	431,33	412,72
A1_K3	296,41	242,60	315,82	455,35	440,08
A2_K3	216,60	180,98	229,45	321,81	311,70



Şekil 5.39 : Ele alınan senaryolar için yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri.

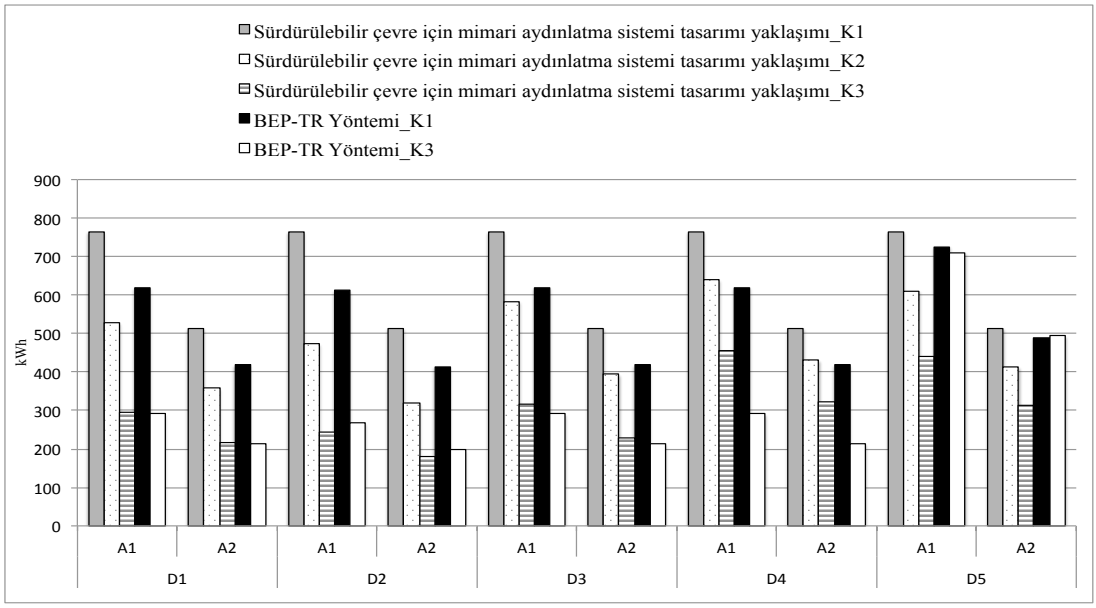
Elde edilen sonuçlar, aydınlatma sistemi tasarımında kontrol sistemi seçiminin ve günışığı etkisinin aydınlatma enerjisi performansı açısından önemini vurgulamaktadır. Uygun aydınlatma kontrol sistemlerinin seçimi ve binalarda günışığının etkin olarak kullanımının aydınlatma enerjisine olan etkisi çalışmanın bu bölümünde ortaya konmuştur.

5.2.2 Geliştirilen yaklaşım ve BEP-TR hesap yönteminin karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen yaklaşım ve BEP-TR yöntemi uyarınca hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi sonuçları ele alınan senaryolar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. BEP-TR hesap yöntemi uyarınca ele alınan senaryoların yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri, 2014 yılında gerçekleştirilen bir çalışmadan elde edilmiştir (Yılmaz & Yener, 2014). Bu makale çalışmasında, ele alınan derslik hacminin farklı aydınlatma tasarımı alternatiflerine ve aydınlatma kontrol sistemlerine sahip olması durumlarında oluşan aydınlatma enerjisi gereksinimleri BEP-TR yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşım uyarınca belirlenen yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları K1, K2 ve K3 olmak üzere üç farklı kontrol stratejisine bağlı olarak belirlenmiş, karşılaştırmalı sonuçlara Çizelge 5.26'da yer verilmiştir. BEP-TR hesap yönteminde yalnızca K1 ve K3 kontrol sistemleri dikkate alındığından ilgili karşılaştırma bu senaryolar için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.40'da ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin karşılaştırmalı sonuçları grafiksel olarak yer almaktadır.

Çizelge 5.26 : Ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları.

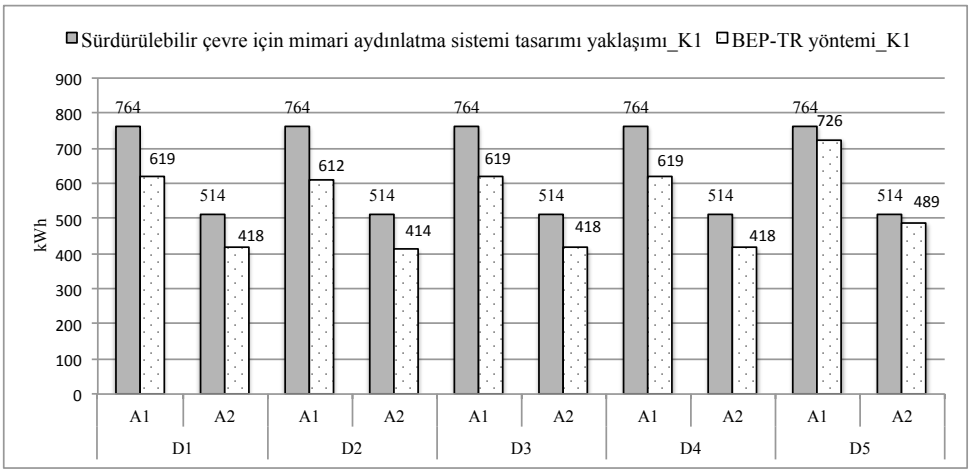
Doğal aydınlatma senaryosu	Yapma aydınlatma senaryosu	Sürdürülebilir mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplaması			BEP-TR yöntemi aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplaması	
		K1	K2	K3	K1	K3
D1	A1	764	528	296	619	291
	A2	514	358	217	418	214
D2	A1	764	473	243	612	268
	A2	514	321	181	414	199
D3	A1	764	583	316	619	291
	A2	514	394	229	418	214
D4	A1	764	639	455	619	291
	A2	514	431	322	418	214
D5	A1	764	611	440	726	710
	A2	514	413	312	489	494



Şekil 5.40 : Ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının grafiksel ifadesi.

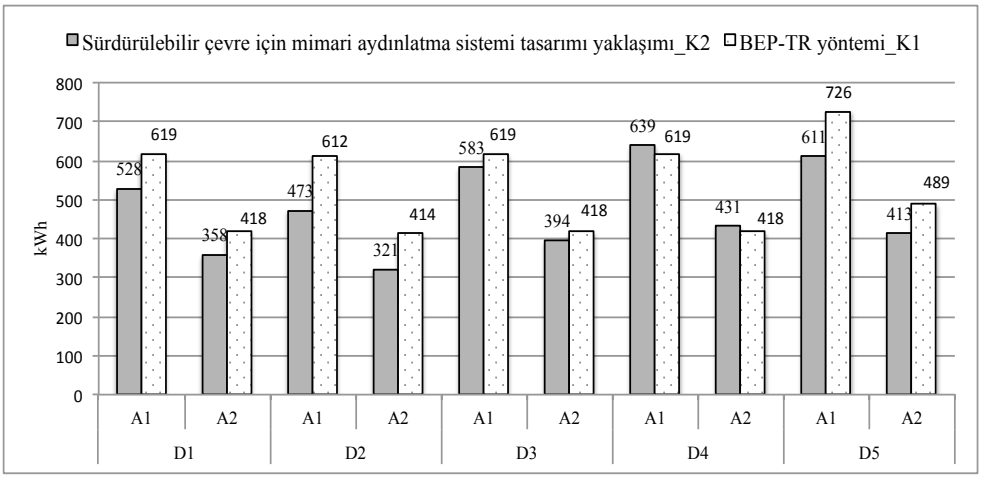
Elde edilen sonuçlara göre her iki yaklaşımda en yüksek aydınlatma enerjisi gereksinimi, manuel açma kapama (K1) kontrol sistemi kullanımında gerçekleşmektedir. Bu senaryo, doğal aydınlatma etkisinin dikkate alınmadığı bir seçenek olup bu sistemin kullanıldığı seçeneklerde gerçekleştirilen aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamalarında yalnızca aydınlatma sistemlerin kurulu gücü ve aktif kullanım saatleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle yaklaşımda ele alınan tüm doğal aydınlatma sistemi senaryoları için bu değerin aynı olduğu belirlenmiştir. Ancak BEP-TR hesap yöntemi, manuel açma kapama senaryosu seçilmesi durumunda da doğal aydınlatma etkisini hesaplamaya bir azaltım katsayısı olarak

dahil etmekte, bu nedenle farklı sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 5.41'de ele alınan senaryolar için manuel aydınlatma kontrolü kullanımında (K1) oluşan yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları yer almaktadır.



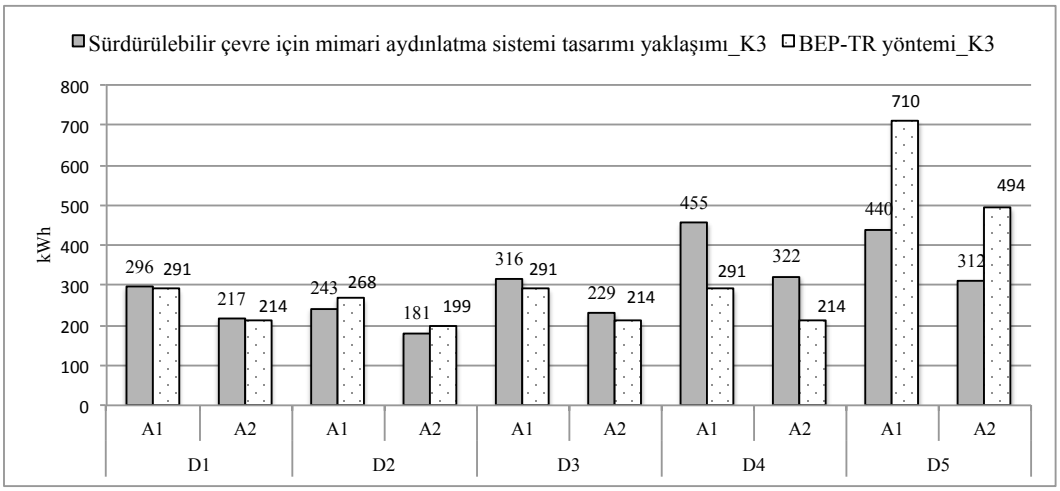
Şekil 5.41 : Ele alınan senaryolar için manuel aydınlatma kontrolü (K1) kullanımında elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin karşılaştırmalı sonuçları.

K2 kontrol sistemi kullanılması durumunda yaklaşım ile belirlenen aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin BEP-TR hesap modeline oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Şekil 5.42'de bu karşılaştırmanın grafiksel ifadesine yer verilmiştir. Ancak engelli durumu temsil eden D4 senaryosunda yaklaşım uyarınca elde edilen aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin BEP-TR hesap modeli ile elde edilen sonuçlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, BEP-TR hesap modelinde engel etkisi bulunmasına rağmen D4 senaryosu günışığı etkisi sınıfının mevcut durum ile aynı kategoride değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.42 : Ele alınan K2 senaryosu ve BEP-TR manuel aydınlatma kontrolü seçimi yıllık aydınlatma enerjisi gereksiniminin karşılaştırmalı sonuçları.

K3 günışığına bağlı loşlaştırma sisteminin kullanımı durumunda oluşan aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları, BEP-TR hesap yönteminde yer alan günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın grafiksel ifadesine Şekil 5.43'de yer verilmektedir.



Şekil 5.43 : Ele alınan senaryolar için günışığına bağlı loşlaştırma aydınlatma kontrolü seçiminde (K3) oluşan yıllık aydınlatma enerjisinin karşılaştırmalı sonuçları.

Geliştirilen yaklaşımda K3 günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği aydınlatma enerjisi gereksinimi hesaplamaları, günışığının aydınlatma enerjisine olan etkisi dikkate alınarak ve detaylı günışığı simülasyon araçları yardımı ile hesaplanmıştır. BEP-TR hesap yönteminde yer alan aydınlatma kontrol tiplerinden günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği kullanımında gerçekleştirilen hesaplamalar ise kontrol sistemi seçimine ve günışığı etkisi sınıfına bağlı standart katsayıların kullanımına dayanmaktadır. BEP-TR hesap yönteminde günışığı etkisi yüksek, orta, zayıf ve etkisiz olmak üzere sınıflandırılmaktadır. İlgili günışığı etkisi grubunun belirlenmesi, standart katsayılar olarak bu hesap yöntemine etki etmektedir. Bu nedenle, ele alınan senaryolar farklı doğal aydınlatma sistemi özelliklerine sahip olsalar da hesaplamalar sonucunda aynı aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları elde edilebilmektedir. D1 ve D4 senaryolarının aynı günışığı etkisi sınıfında yer alması ve buna bağlı olarak aynı aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının (619 kWh) belirlenmesi bu duruma bir örnektir. Geliştirilen yaklaşımda ise D1_A1 senaryosu aydınlatma enerjisi gereksinimi 528 kWh iken engelli durum senaryosunda (D4_A1) bu değer 639 kWh olarak belirlenmiştir.

D5 senaryosu aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarının D1 ve diğer doğal aydınlatma sistemi senaryolarına oranla son derece yüksek olarak belirlenmesi, BEP-TR yönteminde bu senaryonun 'etkisiz' günışığı sınıfında yer almasından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, geliştirilen yaklaşım uyarınca bu senaryoda doğal aydınlatma etkisinin mevcut olduğu belirlenmiş ve bu durumun aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçlarına olan etkisi çalışmada detaylı olarak ele alınmıştır.

Bu bölüme ilişkin elde edilen aydınlatma enerjisi performans sonuçları, çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşımın yön, yöre, engel durumu, güneş kontrol elemanı seçimi gibi farklı tasarım parametrelerini dinamik olarak dikkate aldığını ortaya koymaktadır. Ele alınan tasarım parametrelerine ilişkin elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf oranları çalışmanın bu bölümünde hesaplanmıştır. Bu değer, ele alınan senaryoların aydınlatma enerjisi gereksiniminin mevcut durum (D1, A0 ve K1 senaryoları) ile olan farkının % olarak ifadesidir. Çizelge 5.27'de ele alınan derslik hacmi için belirlenen aydınlatma enerjisi tasarruf oranları verilmiştir.

Çizelge 5.27 : Ele alınan derslik hacmine ilişkin senaryoların yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf oranları.

Doğal aydınlatma senaryosu	Yapma aydınlatma senaryosu	Yıllık aydınlatma enerjisi tasarruf oranı (%)		
		K1	K2	K3
D1	A1	0	31	61
	A2	33	53	72
D2	A1	0	38	68
	A2	33	58	76
D3	A1	0	24	59
	A2	33	48	70
D4	A1	0	16	40
	A2	33	44	58
D5	A1	0	20	42
	A2	33	46	59

Aydınlatma enerjisi tasarruf oranlarının hesaplanması, manuel açma kapama sistemi-K1 ve A1 yapma aydınlatma sistemi seçimlerinin birlikte kullanımlarına göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uygun aydınlatma sistemi tasarımları ile görsel konfor koşullarından ödün verilmeksizin yaklaşık %76 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlanabilmektedir.

5.3 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Çevresel Etkisinin Değerlendirilmesi

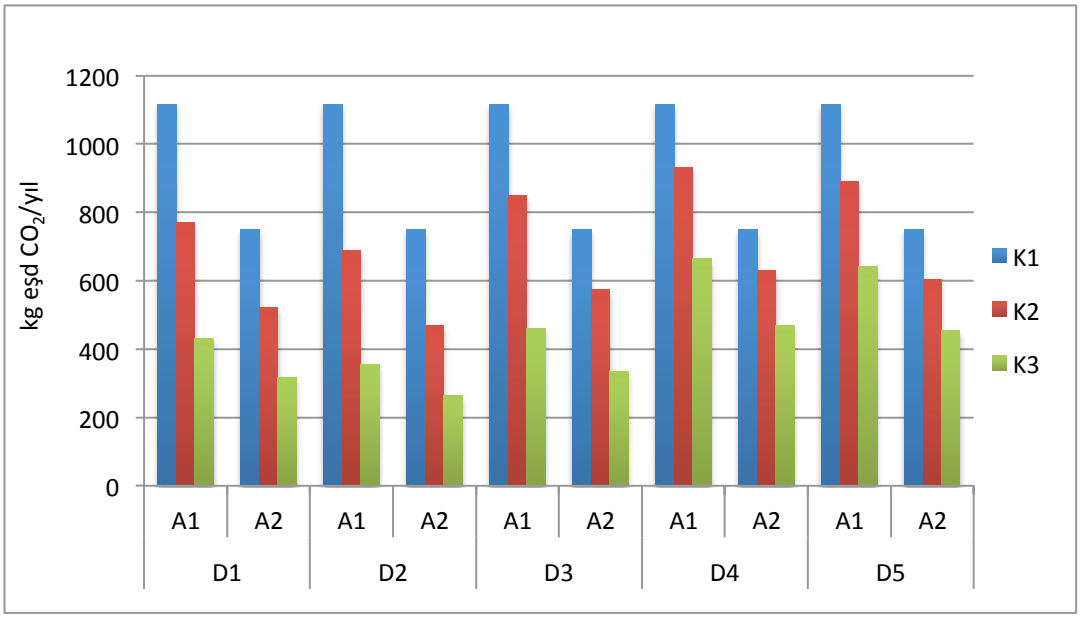
Çalışmanın bu bölümünde, incelenen derslik hacmi için geliştirilen tasarım alternatiflerine ilişkin çevresel etki değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımda aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi için iki farklı yöntem önerilmektedir. Bunların ilki, aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin EPD yöntemi uyarınca değerlendirilmesi, diğeri ise bu değerlendirmenin kullanım aşamasında doğaya salınan CO_2 gazının belirlenmesine dayalı olarak gerçekleştirilmesidir. Aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etki açısından detaylı olarak analiz edebilmek hedefiyle, seçilen ürünlerin 2012 yılında yayınlanan EN 15804 standardı uyarınca belgelendirilmiş EPD dokümanlarına sahip olması beklenmektedir. Ancak aydınlatma sistemi elemanlarına ilişkin bu tür detaylı çevresel etki analizi çalışmalarının yaygın olmaması ve tasarım aşamasında kullanımı öngörülen aydınlatma ürünlerinin EPD dokümanlarının bulunmaması nedenleriyle çalışmada aydınlatma tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi için önerilen 'kullanıma dayalı yöntem' uygulanmıştır. Bu yöntemle çalışmanın 2.3 bölümünde gerçekleştirilen literatür analizi uyarınca aydınlatma elemanlarına ilişkin çevresel etkinin yaklaşık %90 oranında gerçekleştiği 'kullanım aşaması' değerlendirilerek aydınlatma enerjisi gereksinimlerine dayalı olarak yıllık sera gazı salımı miktarları hesaplanmıştır. Bu hedefle ele alınan senaryolar için çalışmanın 5.2. bölümünde hesaplanan aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları veri olarak kullanılmıştır. Hesaplanan değerler, doğal ve yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin özellikleri ve aydınlatma kontrol sistemi seçiminin enerji gereksinimlerine olan etkisini dikkate almaktadır. Çalışmada elde edilen aydınlatma enerjisi miktarlarının birincil enerjiye dönüşümünde birincil enerji dönüşüm katsayısı elektrik enerjisi için 2,36 olarak kabul edilmiştir. Birincil enerji miktarının CO_2 salımı miktarına dönüşümünde gerekli katsayı ise karışık elektrik kullanımı için 0,617 olarak kabul edilmiştir (Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, 2008, ÇEDBİK Yeşil Konut Sertifika Kılavuzu, 2013). CO_2 salımı, ilgili dönüşüm katsayıları kullanılarak EN 15203 / 15315 Avrupa standardı uyarınca belirlenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan senaryolar için aydınlatma sistemlerinin kullanım aşamasında sebep olduğu sera gazları salımının yıllık olarak tespiti gerçekleştirilerek aydınlatma sistemi tasarımlarının çevreye olan etkisi belirlenmiştir.

Çizelge 5.28'de ele alınan senaryolar için hesaplanan yıllık kg eşdeğer CO_2 salımı miktarlarına yer verilmiştir. Şekil 5.45'de ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık kg eşdeğer CO_2 salımı miktarlarının grafiksel ifadesine yer verilmiştir.

Çizelge 5.28 : Ele alınan derslik hacmine ilişkin senaryoları için hesaplanan yıllık CO_2 salımı sonuçları.

Doğal aydınlatma senaryosu	Yapma aydınlatma senaryosu	CO_2 salımı miktarı (kg eşd CO_2/yıl)		
		K1	K2	K3
D1	A1	1114	770	432
	A2	750	522	316
D2	A1	1114	690	354
	A2	750	468	264
D3	A1	1114	850	461
	A2	750	575	334
D4	A1	1114	932	664
	A2	750	629	470
D5	A1	1114	891	642
	A2	750	602	455



Şekil 5.44 : Ele alınan senaryolar için belirlenen yıllık kg eşdeğer CO_2 salımı miktarları.

Elde edilen sonuçlara göre maksimum çevresel etki, manuel açma kapama senaryosu olan K1 kontrol sistemi senaryosu seçiminde gerçekleşmiştir. Bu senaryonun tercih edilmesi durumunda yıllık doğaya salınan CO_2 miktarının 1114 kg eşd CO^2/yıl olduğu belirlenmiştir. Yıllık doğaya salınan minimum CO_2 miktarı ise 264 kg eşd

CO^2/yıl ile D2 Antalya senaryosunda ve K3 günışığına bağlı loşlaştırma sistemi kullanımında ortaya çıkmaktadır.

Doğal aydınlatma sistemi özellikleri, yapma aydınlatma sistemi özellikleri ve kontrol sistemi türünün enerji gereksinimlerine olduğu gibi doğaya salınan sera gazı miktarlarına da etki ettiği görülmektedir. Daha düşük kurulu güce sahip yapma aydınlatma sistemlerinin seçiminde doğaya salınan sera gazlarının önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Örneğin D1_K2_A1 senaryosunda yıllık kg eşdeğer CO_2 salımı miktarı 770 iken bu değerin D1_K2_A2 senaryosu için 522 kg eşd CO^2/yıl'a düştüğü görülmektedir.

5.4 Ele Alınan Derslik Hacmi Aydınlatma Sistemi Tasarımının Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirmesi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan senaryolara ilişkin maliyet değerlendirmesi, yaklaşımın 4.4 bölümünde detayları aktarılan "net bugünkü değer yöntemi" kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Maliyet hesaplamaları, ele alınan tüm senaryolar için gerçekleştirilerek aydınlatma sistemi tasarımlarına ilişkin maliyet sonuçları elde edilip değerlendirilmiştir. Maliyet hesaplamalarında kullanılan aydınlatma ürünlerinin birim fiyat verileri ile seçilen sistemlerin ömürlerine ilişkin veriler, lamba, aygıt ve kontrol sistemi üreticilerinden temin edilmiştir. A1 senaryosu kapsamında seçilen flüoresan lambaların ömürleri 18000 saat olup aygıt ömrü ise 20 yıl'dır. A2 senaryosunda kullanılan LED sistemler için ise sistem ömrü 50000 saat olarak belirtilmiştir. K3 günışığına bağlı loşlaştırma senaryosunda kullanılan kontrol sistemlerinin ömrü de ilgili üretici firmadan alınan bilgiler uyarınca 20 yıl olarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu senaryo kapsamında seçilen kontrol sistemi ekipmanları, bir adet merkezi eleman, iki adet doğal aydınlatma sensörü, altı adet DALI elektronik balast (flüoresan lambalara sahip sistem için, 1-100% loşlaştırma seçeneğine sahip olacak şekilde) ve altı adet DALI sürücü (LED aydınlatma sistemi için, 1-100% loşlaştırma seçeneğine sahip olacak şekilde)'den oluşmaktadır. K3 kontrol senaryosunda kullanılan merkezi eleman, 128 adet DALI uyumlu aygıt ile birlikte çalışma özelliğine sahip olduğundan ve bu ünite 14 adet dersliği birden kontrol etme kapasitesi ile donatıldığından maliyet hesaplamalarında merkezi eleman birim fiyatı ve kontrol sistemlerinin kurulumu için gerekli mühendislik hizmeti bedelleri 14'e bölünerek maliyet hesaplamalarına dahil edilmiş ve aydınlatma

maliyetleri derslik bazında incelenmiştir. Ele alınan derslik örneğinde kullanılan aydınlatma sistemi elemanlarının birim fiyatları Çizelge 5. 29'de yer almaktadır.

Çizelge 5.29 : Kullanılan aydınlatma sistemi elemanlarının birim fiyatları.

Seçilen aydınlatma sistemi elemanı	Birim fiyat (TL)
A1 Senaryosu-armatür fiyatı	183,95 TL
A1 Senaryosu-Tüp Flüoresan lamba fiyatı	11,8 TL
A1 DALI Elektronik Balast fiyatı	84,2 TL
A2 LED aydınlatma elemanı fiyatı	410 TL
A2 DALI LED sürücü fiyatı	78,7 TL
A1 ve A2 Merkezi Kontrol Ekipmanı	2604,98 TL
Doğal Aydınlatma Sensörü	208,40 TL

Net bugünkü değer yöntemi ile maliyet hesaplamalarının gerçekleştirilmesi için gereksinim duyulan finansal veriler, hesaplama süresi, enflasyon oranı ve piyasa faiz oranıdır. Hesaplama süresi, maliyet analizlerinin kaç yıllık bir süre için gerçekleştirileceği ile ilgilidir. 2012 yılında yayınlanan 244/2012 yönetmeliğinin 4. Bölümü'nde maliyet analizlerinde kamu binaları için 30 yıllık bir hesaplama süresinin kullanılacağı bilgisi yer almaktadır. Enflasyon oranı bilgisi T.C. Merkez Bankası'ndan 2013 yılı için edinilen bilgi uyarınca %7.5 olarak hesaplamalarda kabul edilmiştir. Piyasa faiz oranı ise T.C. Merkez Bankası'ndan 2013 yılı için edinilen bilgi uyarınca %11,75 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Aydınlatma sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri, üretici firmalardan edinilen ve personel giderlerini de içeren fiyat teklifleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elektrik birim fiyatı, 2014 yılı için 0,28659 TL olacak şekilde TEDAŞ'dan elde edilmiştir. Ele alınan senaryoların aydınlatma enerjisi gereksinimleri lambaların ve kontrol sistemlerinin parazitik güçleri ilave edilerek hesaplanmış ve elde edilen yıllık aydınlatma enerjisi tüketim değerlerinin maliyet olarak karşılığı belirlenmiştir.

Ele alınan senaryolara ilişkin ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, işletme maliyeti ve enerji maliyeti, net bugünkü değer yöntemi uyarınca belirlenmiş ve Eşitlik 4.1 uyarınca hesaplanmıştır. İlk yatırım maliyetlerine katma değer vergisi dahil edilmiştir. Yenileme maliyetleri, kurulan sistemlerin ömürleri dikkate alınarak hesaplanmış ve yenilemenin gerçekleşeceği yıl için indirim oranı, reel faiz oranı (piyasa faiz oranı ve enflasyon oranını dikkate alacak şekilde) verilerine bağlı olarak belirlenmiştir. İndirim oranının belirlenebilmesi için öncelikle reel faiz oranının hesaplanması gerekmektedir. Reel faiz oranı, Eşitlik 4.2 yardımı ile belirlenmiştir.

İndirim oranı, reel faiz oranı ve hesap başlangıç tarihinden itibaren geçen yıl sayısına bağlı olarak Eşitlik 4.3 yardımı ile belirlenmiştir. Buna göre, hesabın başlangıç yılından 10 yıl sonra oluşan indirim oranı 0.68, 20 yıl sonra oluşan indirim oranı ise 0.46 olarak hesaplanmıştır. EN 15459 Avrupa Standardı'nda işletme, bakım- onarım maliyeti, enerji maliyeti gibi her yıl sürekli olarak oluşan maliyetlerin hesaplanması için bugünkü değer faktörünün kullanılması önerilmektedir. Bugünkü değer faktörü, Reel faiz oranı (R_R) ve hesap periyodu dikkate alınarak Eşitlik 4.4 yardımı ile belirlenmiştir. Buna göre, 30 yıllık hesap periyodu için gerçekleştirilen maliyet analizlerinde bugünkü değer faktörü 17.39 olarak belirlenmiştir.

Ele alınan tüm senaryolar için gerçekleştirilen aydınlatma sistemi tasarımlarına ilişkin maliyet sonuçları Ek E'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, hesap periyodu, enflasyon oranı, piyasa faiz oranı ve geri ödeme süresi bilgilerine dayalı olarak aşağıdaki başlıklarda gruplandırılarak EN 15459 Avrupa Standardı'nda kullanımı önerilen çizelgeler şeklinde ifade edilmiştir:

- Aydınlatma sistemlerinin ilk yatırım maliyeti,
- Aydınlatma sistemlerinin yenileme maliyeti,
- Aydınlatma sistemlerinin işletme maliyeti,
- Aydınlatma sistemlerinin enerji maliyeti,
- Aydınlatma sistemlerinin net maliyeti.

Çizelge 5.30'da ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma sistemi toplam maliyeti sonuçları bulunmaktadır. Çizelge 5.31'de ilgili senaryolarda edilen aydınlatma enerjisi toplam maliyet sonuçları 30 yıllık hesap periyodu için verilmiştir.

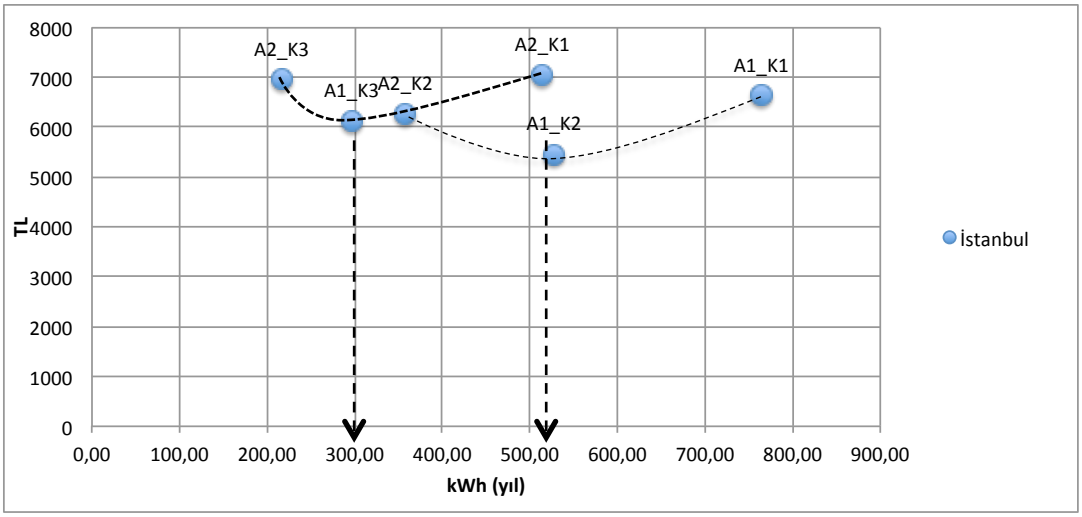
Çizelge 5.30 : Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma sistemi toplam maliyet sonuçları (TL).

Doğal aydınlatma senaryosu	Yapma aydınlatma senaryosu	Aydınlatma Sistemi Toplam Maliyeti (30 Yıl) (TL)		
		K1	K2	K3
D1	A1	6640,08	5461,75	6122,67
	A2	7042,83	6262,81	6959,49
D2	A1	6640,08	5187,87	5854,49
	A2	7042,83	6081,51	6781,97
D3	A1	6640,08	5737,73	6220,31
	A2	7042,83	6443,59	7021,31
D4	A1	6640,08	6016,83	6913,06
	A2	7042,83	6627,99	7484,81
D5	A1	6640,08	5877,28	6838,30
	A2	7042,83	6538,28	7434,97

Çizelge 5.31 : Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi maliyeti (TL).

Doğal aydınlatma senaryosu	Yapma aydınlatma senaryosu	Aydınlatma Enerjisi Maliyeti (30 Yıl) (TL)		
		K1	K2	K3
D1	A1	3807,92	2629,59	1477,26
	A2	2562,88	1782,86	1079,47
D2	A1	3807,92	2355,71	1209,08
	A2	2562,88	1601,55	901,95
D3	A1	3807,92	2905,57	1574,89
	A2	2562,88	1963,63	1141,30
D4	A1	3807,92	3184,67	2267,64
	A2	2562,88	2148,03	1604,79
D5	A1	3807,92	3045,12	2192,89
	A2	2562,88	2058,32	1554,96

Maliyet sonuçlarının seçilen doğal ve yapma aydınlatma senaryosu ile kontrol sistemlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. İstanbul ve Antalya koşullarında farklı doğal aydınlatma, yapma aydınlatma ve kontrol sistemi senaryolarına ilişkin elde edilen aydınlatma enerjisi tüketim değerlerinin maliyet sonuçlarına olan etkisi farklıdır. İstanbul koşulları için maksimum maliyet 7042,83 TL ile A2 yapma aydınlatma sistemi, K1 manuel açma-kapatma sistemi kullanımında elde edilmiştir. İstanbul koşullarında A2 senaryosu için günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama kontrol sistemi-K2 seçilmesi durumunda ise toplam maliyet 6262,81 TL olarak hesaplanmıştır. Günışığının mekanda etkin olarak kullanılması, toplam maliyet sonuçlarını etkilemektedir. A2 yapma aydınlatma sisteminde K3 günışığına bağlı loşlaştırma sistemi kullanılması durumunda ise toplam maliyet 6959,49 TL olarak belirlenmiştir. Günışığına bağlı loşlaştırma sistemi seçimi durumunda 30 yıl için hesaplanan aydınlatma enerjisi maliyetlerinde önemli ölçüde azalma söz konusudur. Bu durum, günışığına bağlı loşlaştırma sistemi seçiminin manuel açma-kapatma sistemine oranla daha az maliyet ve daha az aydınlatma enerjisi tüketimi sağladığı sonucunu ortaya koymaktadır. Şekil 5.45, İstanbul koşulları için 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçlarını grafiksel olarak ifade etmektedir.



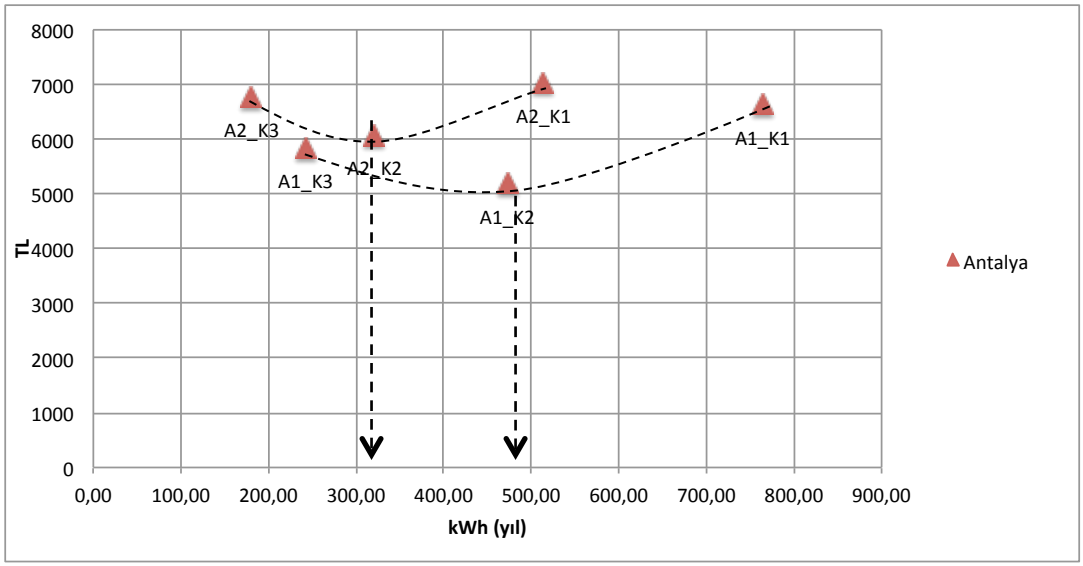
Şekil 5.45 : İstanbul ili 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçları.

A2 LED yapma aydınlatma sistemi, Manuel açma-kapatma, İstanbul seçeneğinde elde edilen toplam maliyet 7042,83 TL'dir. Flüoresan sisteme sahip olan A1 senaryosu ile karşılaştırıldığında daha yüksek maliyet değerinin elde edilmesi, önerilen LED aydınlatma sisteminin daha yüksek ilk yatırım maliyetine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. İstanbul koşulları için günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama kontrol sistemi seçimi (K2) ve Günışığına bağlı loşlaştırma ilavesi (K3) durumlarında elde edilen toplam maliyet değeri ise sırasıyla 6262,81 TL ve 6959,49 TL'dir.

Antalya koşulları için maksimum maliyet değeri, İstanbul koşulları ile aynı olacak şekilde 7042,83 TL ile A2 yapma aydınlatma sistemi, manuel açma-kapatma K1 senaryosu için elde edilmiştir. Bu değerin Antalya ve İstanbul için aynı olmasının sebebi, manuel açma kapama senaryosunda coğrafi koşullara göre farklılık gösteren günışığı etkisinin göz ardı edilerek tüm çalışma saatleri boyunca mekandaki tüm lambaların açık olması kabulüne dayanmasıdır. Antalya koşulları için manuel açma-kapatma sistemine öneri olarak geliştirilen K2 günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama kontrol sistemi seçilmesi durumunda ise toplam maliyet A1 senaryosu için 5187,87 TL, A2 senaryosu için ise 6262,61 TL olarak belirlenmiştir. A1 yapma aydınlatma sisteminde günışığına bağlı loşlaştırma sistemi ilave edilmesi durumunda Antalya koşullarında toplam maliyet 5854,49 TL olarak belirlenmiştir.

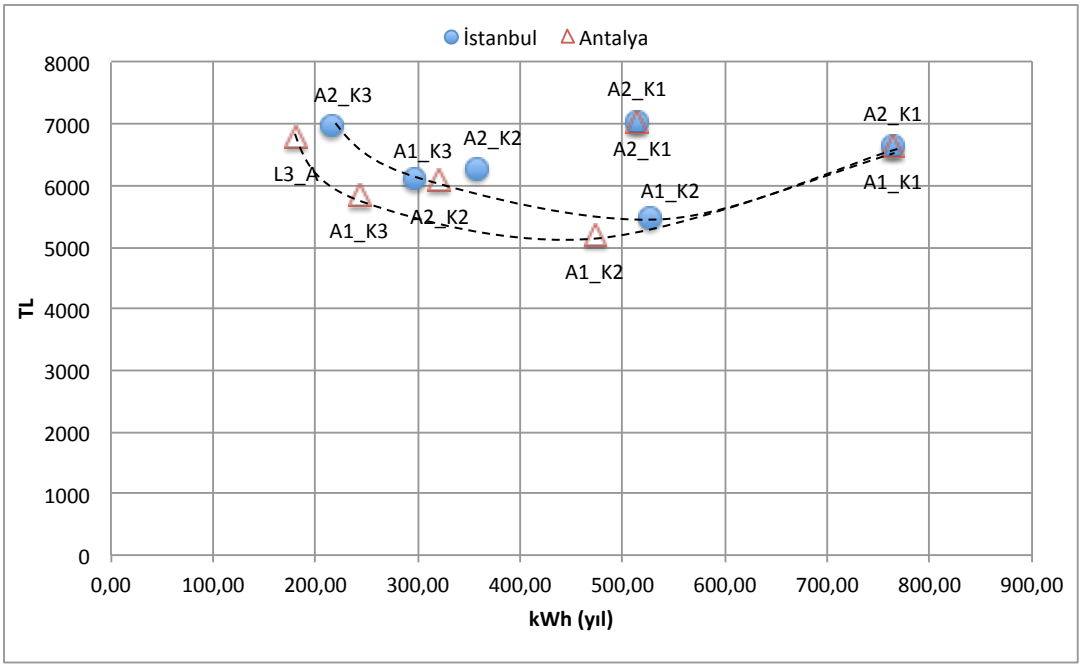
Antalya'da A2 LED yapma aydınlatma sisteminin manuel açma-kapatma (K1) kontrol sistemi ile kullanımı durumunda hesaplanan toplam maliyet İstanbul

koşullarında olduğu gibi 7042,83 TL'dir. Antalya koşulları için günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama kontrol sistemi seçimi (K2) ve günışığına bağlı loşlaştırma ilavesi (K3) senaryolarında elde edilen toplam maliyet değeri ise sırasıyla 6081,51 TL ve 6781,97 TL olacak şekildedir. Şekil 5.46'da Antalya koşullarında 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçlarının grafiksel olarak ifadesi yer almaktadır.



Şekil 5.46 : Antalya ili 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı sonuçları.

Ele alınan senaryolara ilişkin elde edilen maliyet sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde aydınlatma enerjisi gereksinimlerini minimize edecek kontrol sistemi seçiminin gerek aydınlatma enerjisi maliyetlerini, gerekse toplam maliyetleri önemli ölçüde azalttığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Günışığına bağlı kontrol stratejilerinin seçilmesi durumlarında 30 yıl için hesaplanan toplam maliyet değerleri manuel açma kapatma stratejisine oranla önemli ölçüde azalmıştır. Bu durum, günışığı performansının daha fazla olduğu Antalya koşullarında daha etkin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Örneğin İstanbul koşullarında flüoresan yapma aydınlatma sistemi (A1), günışığına bağlı loşlaştırma ilavesi (K3) senaryosunda elde edilen toplam maliyet 6122,67 TL iken aynı senaryonun uygulandığı Antalya koşullarında elde edilen toplam maliyet 5854,49 TL olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, günışığı etkisinin ve buna bağlı olarak elde edilen maliyet değerlerinin coğrafi koşullara göre değişkenliğini ortaya koymaktadır. Şekil 5.47'de İstanbul ve Antalya için 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı karşılaştırmalı sonuçları grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.47 : İstanbul ve Antalya için 30 yıllık hesap periyodu için ele alınan senaryoların maliyet hesabı karşılaştırmalı sonuçları.

Elde edilen sonuçlara göre seçilen aydınlatma sistemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetlerinin, toplam maliyetleri önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Örneğin A2 senaryosunda seçilen LED aydınlatma sistemi ile A1 senaryosu flüoresan sisteme oranla daha düşük toplam yıllık aydınlatma enerjisini sonuçları elde edilmiştir. Ancak A2 yapma aydınlatma sisteminin A1 senaryosuna oranla daha yüksek ilk yatırım maliyetine sahip olması nedeniyle 30 yıl için elde edilen toplam maliyet değerleri daha yüksektir. Bu nedenle aydınlatma tasarımcılarının maliyet etkin seçenekler geliştirebilmeleri adına seçmiş oldukları ürünlerin ilk yatırım maliyetlerini titizlikle ele almaları, piyasa araştırması ile hem iç mekanlarda istenen görsel konfor koşullarını sağlayan hem de maliyet etkinliğe duyarlı aydınlatma sistemi seçenekleri geliştirebilmeleri son derece önemlidir.

Uygulamada incelenen hacimde günışığına bağlı loşlaştırmaya dayalı aydınlatma kontrol sistemi kullanımı (K3) ile elde edilen toplam maliyet değeri, en kötü durum senaryosu olarak belirlenen manuel açma kapama senaryosuna (K1) oranla daha düşüktür. Öte yandan, günışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemlerinin bulunduğu senaryolara ilişkin aydınlatma enerjisi maliyetlerinin, manuel kontrole sahip sistemlere oranla daha düşük enerji maliyetlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

5.5 Geliştirilen Yaklaşım Uyarınca Ele Alınan Derslik Hacmi İçin Elde Edilen Sonuçların Derlenmesi ve Aydınlatma Tasarımı Göstergelerinin Oluşturulması

Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı' kapsamında ele alınan derslik hacminin aydınlatma sistemi tasarım sonuçları derlenerek aydınlatma tasarımı göstergeleri oluşturulmuştur. Yaklaşım uyarınca elde edilen değerlendirme sonuçları ilgili bölümlerde aktarılmıştır.

Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar: Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar, doğal ve yapma aydınlatma sistemleri için gruplandırılmıştır.

Doğal aydınlatma sisteminin görsel konfor koşulları açısından değerlendirmesi ile elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- doğal aydınlatma sisteminin Sürekli Günışığı Otonomisi Yöntemi yıllık performansı sonuçları doğal aydınlatma sistemi senaryoları için elde edilmiş ve D1, D2, D3, D4 ve D5 senaryoları için sırasıyla %59, %68, %58, %37 ve % 42 olarak belirlenmiştir.
- doğal aydınlatmaya bağlı yıllık kamaşma değerlendirmesi sonuçları DGP yöntemi uyarınca D1, D2, D3, D4 ve D5 senaryoları için sırasıyla %6.06, %5.38, %6.7, %3.34 ve %0 olarak belirlenmiştir.
- dış görüşün sağlanması açısından gerçekleştirilen değerlendirme sonucu bu değer D1, D2, D3, D5 için %100, D4 için ise %50 olarak belirlenmiştir (CIBSE LG10 ve BS 8206-2 standartları uyarınca) .

Yapma aydınlatma sisteminin görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir:

- Lamba ve aygıt seçiminin uygunluğu sonuçları ele alındığında A1 ve A2 senaryoları için seçilen ürünler EN 12464 standardı açısından uygundur.
- Hacimde yapma aydınlatma ile sağlanan ortalama aydınlık düzeyi sonucu A1 için 308 lux, A2 için ise 307 lux olarak belirlenmiştir.

- Hacimde yapma aydınlatma ile sağlanan düzgünlüğün sonucu A1 ve A2 için EN 12464 Standardı'na uygundur (U>0,6).
- Yapma aydınlatma sisteminin kamaşma değerlendirmesi sonucu A1 ve A2 senaryoları için EN 12464 Standardı'na uygundur (UGR<19).
- Yapma aydınlatma sisteminin doğal aydınlatma ile optimum bütünleştirilmesi sonucu K1 kontrol sistemlerinin kullanımında 'uygun değil', K2 ve K3 kontrol sistemlerinin kullanımı için ise 'uygun' olarak belirlenmiştir.

Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımlarının enerji performansı açısından değerlendirilmesi sonuçları: Bu değer ele alınan hacmin aydınlatma sistemi tasarımının özelliklerine bağlı olarak belirlenmiş ve ele alınan tüm senaryolar için yıllık enerji performansı sonuçları (kWh) Ek D'de verilmiştir.

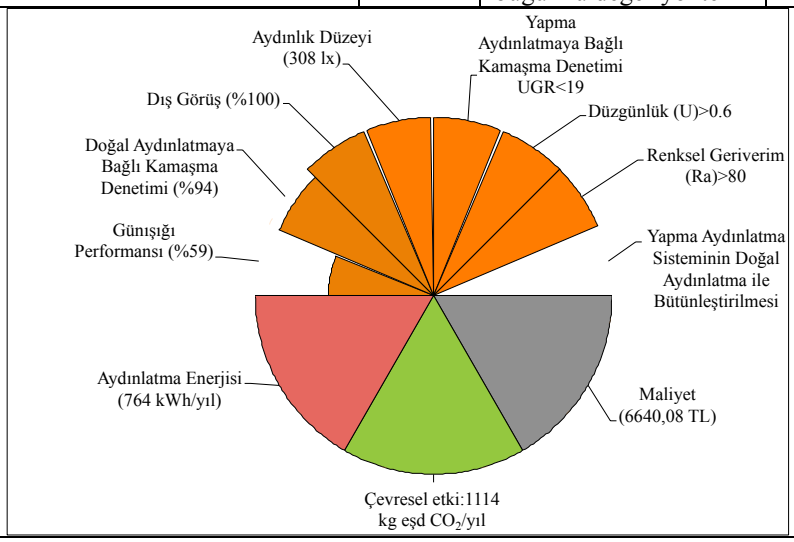
Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar: Aydınlatma tasarımının çevresel etkisinin kullanım aşamasına dayalı olarak değerlendirilmesi yıllık sonuçları (kg eşd CO_2 /yıl) ele alınan tüm senaryolar için belirlenerek elde edilen sonuçlar bölüm 5.3'de verilmiştir.

Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet etkinlik açısından değerlendirmesine ilişkin sonuçlar: Bu bölüme ilişkin sonuçlar, ele alınan hacmin aydınlatma tasarımının özelliklerine bağlı olarak elde edilmiş ve EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi ile belirlenerek aydınlatma tasarımının ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, işletme maliyeti, enerji maliyeti ve net maliyete ilişkin sonuçları kapsayacak şekilde Ek E'de verilmiştir.

Ele alınan derslik hacmi aydınlatma sistemlerine ilişkin göstergeler: Çalışmanın bu bölümünde, geliştirilen sürdürülebilir çevre için mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara ilişkin hazırlanan aydınlatma tasarımı göstergeleri yer almaktadır. Çizelge 5.54'de yaklaşımın uygulanması kapsamında hazırlanan bir aydınlatma tasarımı göstergesi örneğine yer verilmiştir.

Çizelge 5.32 : D1_A1_K1 Senaryosu aydınlatma tasarımı göstergesi örneği.

Senaryo Adı: D1_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



Geliştirilen aydınlatma tasarımı göstergeleri, aydınlatma sistemi tasarımına ilişkin çıktıların uygun bir şekilde sunulmasını sağlamak hedefiyle hazırlanmış olup Ek F'de aktarılmıştır. Geliştirilen aydınlatma tasarımı göstergelerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucu elde edilen sonuçlar grafiksel bir yöntem ile ifade

edilmiştir. İlgili göstergeler, senaryo isimlerine ve gerçekleştirilen değerlendirmelere ilişkin elde edilen sonuçlara sahip olacak şekilde hazırlanmış olup görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet bileşenlerine ilişkin değerlendirme sonuçlarını içermektedir. Geliştirilen aydınlatma tasarımı göstergeleri ile optimum aydınlatma sistemi tasarım kararlarının elde edilebilmesi için gerekli karşılaştırılmanın sistematik olarak gerçekleştirilmesi mümkündür.

6. SONUÇLAR

Aydınlatma sistemi tasarımlarında ele alınan tipoloji ve eylem türü için gerekli görsel konfor koşullarının sağlanması ve bu doğrultuda uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir. Mekanlarda istenen görsel konfor koşullarının sağlanması, fizyolojik ve psikolojik gereksinimlere karşılık veren doğru bir aydınlatma sistemi tasarımı ile mümkündür. Bu çalışmada aydınlatma sistemi tasarımında sağlanması hedeflenen görsel konfor gereksinimleri tanıtılmış ve ilgili uluslararası kuruluşların standart ve tavsiyelerine yer verilmiştir.

Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyetleri nedenleriyle, mimari aydınlatma sistemi tasarımında enerji etkinliğin gözetilmesi konusu son derece önemlidir. Binalarda harcanan aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi hedefiyle doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin bu amaca yönelik tasarlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, aydınlatma kontrol stratejilerinin aydınlatma enerjisi tüketiminin azaltımında etkili olduğu bilinmektedir. Çalışmada binalarda aydınlatma enerjisinin minimize edilmesi yönünde gerçekleştirilen çeşitli bilimsel araştırmalar incelenmiş ve dünyada binalarda aydınlatma enerjisinin belirlenmesine yönelik olarak geliştirilen yöntemler tanıtılmıştır.

Günümüzde binalarda kullanılan ürünlerin ya da bina alt sistemlerinin çevresel etkisinin minimum olacak şekilde seçilmesi beklenmektedir. Aydınlatma tasarımcılarının ürün seçimi aşamasında çevresel etki açısından uygun seçimleri gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi, günümüzde çeşitli standartlar ve değerlendirme yöntemleri ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, çevresel etki değerlendirmesi konusunda dünyada gerçekleştirilen çeşitli güncel çalışmalar, doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin çevresel etkisinin değerlendirilmesi açısından kategorize edilmiş ve bu konu ile ilgili olarak yayınlanan standartlar tanıtılmıştır.

Günümüzde binalarda günışığı performansının belirlenmesine yönelik olarak çeşitli hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında bu yöntemler tanıtılarak

ilgili yöntemleri esas alan araştırmalar incelenmiştir. Binalarda günışığı performansına ilişkin değerlendirmelerinin yıl boyunca farklı gün ve saatler için gerçekleştirilmesinde aydınlatma simülasyon programları kullanılmaktadır. Çalışmada, doğal aydınlatma sistemi tasarımı için kullanılabilecek simülasyon programları tanıtılarak ilgili programların özellikleri, kullanım amaçları ve programların kullanımı ile elde edilebilecek çıktılara ilişkin bilgiler aktarılmıştır. Bu tür programlar yardımı ile, aydınlatma sistemi tasarımlarının görsel konfor koşullarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmeleri ve enerji performansı açısından değerlendirilmeleri olanaklıdır.

Aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet açısından değerlendirilmesi ve net maliyet değerlerinin Avrupa Birliği Standartları uyarınca hesaplanması, maliyet optimum aydınlatma sistemi tasarımlarının geliştirilmesi açısından son derece önemlidir. Bu hedefle, günümüzde EN 15459 Standardı'nda yer alan net bugünkü değer yönteminin kullanılması, ilgili direktiflerce önerilmektedir. Çalışma kapsamında Avrupa'da gündeme gelen binalarda minimum enerji kullanımı ile optimum maliyet düzeylerinin hesaplanması konusunda geliştirilmiş yasa ve yönetmelikler irdelenmiştir.

Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesi; istenen görsel konfor koşullarının sağlanması, psikolojik ve fizyolojik açılardan uygun çözümlerin dikkate alınması, aydınlatma sistemlerinin minimum enerji gereksinimine sahip olması, aydınlatmada minimum çevresel etki ve optimum maliyet kavramlarının bir arada ele alınması ile mümkündür. Bu çalışmada, tüm bu parametreleri bütüncül bir anlayış ile dikkate alan 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı'nın sağlanması hedefine yönelik olarak yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, aydınlatma sistemi tasarımı aşamasında görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet etkinlik açılarından değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi ile optimum aydınlatma tasarımı kararlarının elde edilmesini hedeflemektedir. Bu yaklaşımın adımları, çalışmada bir hesap yöntemi şeklinde ifade edilmiş ve çeşitli akış diyagramları halinde izlenmesi gereken sürece ilişkin bilgiler verilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile aydınlatma sistemi ön tasarımlarının tüm bu açılardan değerlendirilmesi ve uygun şekilde yönlendirilmesi sağlanarak sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarım kararlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşımın kullanımı ile farklı aydınlatma sistemi tasarım

alternatiflerinin birbirleri ile kıyaslanması ve sürdürülebilir aydınlatma tasarımı açısından en uygun seçeneğin belirlenmesi olanaklıdır. Öte yandan geliştirilen yaklaşım, mevcut binalarda aydınlatma enerjisi tasarrufunun arttırılması hedefiyle kullanılabilmektedir. Mevcut aydınlatma sistemlerinin geliştirilen yaklaşım ile görsel konfor, enerji etkinlik, minimum çevresel etki ve maliyet etkinlik kavramları açılarından iyileştirilebilmeleri de söz konusudur.

Çalışma kapsamında geliştirilen Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı'nın, Türkiye koşulları için uygulanması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada öncelikli olarak Türkiye'nin coğrafi ve iklimsel özellikleri dikkate alınmış ve ele alınan bölgelere ilişkin dış aydınlık düzeyinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla CIE Standart Genel Gök Modeli Türkiye koşullarına uyarlanarak yaklaşımın uygulanmasında ele alınan şehirlere ilişkin meteorolojik veriler yardımı ile ilgili bölgede karşılaşılan saatlik gök koşulları, açık gök, kapalı gök ve ortalama gök olacak şekilde yıllık olarak sınıflandırılmıştır.

Uygulama, tip ilköğretim binalarında en sık tekrarlanan hacim türü olan derslik örneği için gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımının Türkiye için uygulanması, farklı tasarım parametre değerlerine sahip doğal aydınlatma sistemi (D1-D5), yapma aydınlatma sistemi (A0-A3) ve aydınlatma kontrol sistemi senaryoları (K1-K3) için gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Doğal aydınlatma sistemlerinin görsel konfor performansının belirlenmesi sürecinde ele alınan derslik hacmi için önerilen doğal aydınlatma sistemi senaryoları uygulanmıştır. Doğal aydınlatma sistemlerine ilişkin görsel konfor performansının değerlendirilmesi aşağıdaki başlıklardan oluşmaktadır:

- doğal aydınlatma sistemi performansının belirlenmesi,
- doğal aydınlatmaya bağlı kamaşma değerlendirmesi,
- dış görüş analizleri doğrultusunda tasarımın yeterliliğinin belirlenmesi.

Bu hedefle çalışma kapsamında ele alınan senaryolara ilişkin fiziksel modellemelerde Radiance ve Evalglare programları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre doğal aydınlatma performansının ele alınan tüm tasarım alternatifleri için farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ek A'da ele alınan derslikte çalışma düzleminde RADIANCE programı ile elde edilen saatlik günışığı aydınlığı sonuçları

verilmiştir. Ek B'de ise saatlik sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi sonuçları yer almaktadır.

Yıllık doğal aydınlatma performansının en yüksek olduğu alternatif %68 ile Antalya koşullarında yer aldığı kabul edilen D2 senaryosu iken minimum günışığı performansına sahip olan seçenek ise %37 ile D4 engelli durum senaryosudur. Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen yaklaşımın coğrafi bölge, yön, engel durumu ve güneş kontrol elemanı kullanımına duyarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ele alınan senaryolar için gerçekleştirilen günışığı kaynaklı kamaşma değerlendirmesi sonuçları incelendiğinde, yıllık kamaşma olasılığı sonuçlarının en fazla olduğu seçeneğin %6.74 ile güneybatıya yönlenmiş D3 senaryosu olduğu belirlenmiştir. Güneş kontrol elemanının uygulanmış olduğu D5 kodlu senaryoda ise yıllık kamaşma olasılığı %0 olup günışığı kaynaklı kamaşma sorununa rastlanmamıştır. Bu sonuca göre doğal aydınlatma sistemlerinden kaynaklanan kamaşma sorununun çözümünde, güneş kontrol elemanlarının son derece etkili olduğu görülmektedir. Ek C'de ele alınan doğal aydınlatma senaryoları için ilgili bakış doğrultularında hesaplanan saatlik DGP değerleri yer almaktadır.

Ele alınan doğal aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin dış görüş analizi sonuçları incelendiğinde, engelli durum haricindeki tüm doğal aydınlatma senaryolarının (D1, D2, D3 ve D5) dış görüş açısından uygun koşullara sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak D4 kodlu engelli durum senaryosunda gerçekleştirilen değerlendirme sonucu dış görüş miktarının %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen yaklaşım uyarınca aydınlatma sistemi tasarımlarının psikolojik ve fizyolojik açılardan uygun dış görüş koşullarına sahip olabilmelerinin önemi ortaya konmuştur.

Yapma aydınlatma sistemlerinin görsel konfor performansının belirlenmesi amacıyla gerekli değerlendirmeler gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda mevcut durumu ifade eden A0 kodlu senaryoya öneri olacak şekilde A1 (mevcut durum ile aynı güce sahip ancak uygun bir aygıt seçiminin sağlandığı yapma aydınlatma sistemi senaryosu) ile A2 (enerji etkin LED aydınlatma elemanlarının kullanımı ile oluşturulan yapma aydınlatma sistemi senaryosu) senaryoları geliştirilerek yaklaşım uyarınca değerlendirilmiştir. İlgili değerlendirmelerde Dialux aydınlatma simülasyon

programı kullanılmıştır. Yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin görsel konfor performansının değerlendirilmesi aşağıdaki başlıklardan oluşmaktadır:

- Lamba ve aygıt seçiminin uygunluğu,
- Hacimde yapma aydınlatma ile sağlanan aydınlık düzeyinin uygunluğu,
- Hacimde yapma aydınlatma ile sağlanan düzgünlüğün uygunluğu,
- Yapma aydınlatma sisteminin kamaşma denetimi açısından uygunluğu,
- Yapma aydınlatma sisteminin doğal aydınlatma ile optimum bütünleştirilmesi.

Yapma aydınlatma sistemlerine ilişkin görsel konfor performansının değerlendirilmesinde, uluslararası standartlarda önerilen aydınlık düzeyinin ve düzgünlüğün sağlanması, yapma aydınlatmaya bağlı kamaşma denetimi (UGR), seçilen lambaların uygun renksel geriverim değerine sahip olması durumları ayrı ayrı ele alınmış ve gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucu her iki senaryonun da görsel konfor koşullarını sağladığı belirlenmiştir.

Aydınlatma sistemi tasarımlarının enerji performansı açısından değerlendirilmesi, uygun aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve farklı kontrol sistemlerinin tercih edilmesi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Ele alınan yapma aydınlatma sistemi senaryoları (A1, A2) ve aydınlatma kontrol sistemi senaryolarının (K1, K2, K3) hacimde uygulanması, farklı aydınlatma enerjisi gereksinimi değerleri ile sonuçlanmıştır. Yapma aydınlatma sistemi seçiminin aydınlatma enerjisi performansına olan etkisi dikkate alındığında, kurulu gücü daha düşük olan LED aydınlatma elemanlarının kullanıldığı A2 kodlu senaryonun A1'e oranla daha düşük enerji gereksinim değerleri ile sonuçlandığı görülmüştür. Aydınlatma sistemi elemanlarının enerji etkin olarak seçilmesine bağlı olarak elde edilebilecek tasarruf oranları, çalışmada açıkça ortaya konmuştur. Aydınlatma kontrol sistemleri alternatifleri arasında maksimum aydınlatma enerjisi gereksinimi, manuel açma-kapama sistemine sahip K1 kodlu senaryoda oluşurken minimum değerler ise günışığına bağlı loşlaştırmaya dayalı K3 kodlu senaryoda elde edilmiştir. Ek D'de ele alınan yapma aydınlatma senaryoları için gerçekleştirilen enerji performans sonuçlarını içeren çizelgelere yer verilmektedir.

Aydınlatma sistemi tasarımlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesi, sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının elde edilmesi hedefiyle çevresel etki açısından uygun aydınlatma sistemi ve bileşeni seçimine bağlıdır. Bu doğrultuda ele alınan tüm tasarım alternatiflerinin çevresel etkisi irdelenmiş ve kullanım aşamasına dayalı olarak doğaya salınan yıllık CO_2 gazı miktarı hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen hesaplamalarda ele alınan senaryoların yıllık enerji gereksinimi miktarları veri olarak kullanılmıştır. Buna göre, ele alınan senaryolar genelinde maksimum çevresel etki, tüm doğal aydınlatma senaryoları için A1 yapma aydınlatma sistemi ve K1 manuel açma kapama senaryosunda gerçekleşmiştir. Bu durumda, yıllık doğaya salınan CO_2 miktarı 1114 kg eşd CO^2/yıl olarak belirlenmiştir. Yıllık doğaya salınan minimum CO_2 miktarı ise 264 kg eşd CO^2/yıl ile D2 Antalya doğal aydınlatma sistemi senaryosu, A2 yapma aydınlatma sistemi senaryosu ve K3 günışığına bağlı loşlaştırma sistemi senaryosunda ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak doğal aydınlatma sistemi özellikleri, yapma aydınlatma sistemi özellikleri ve aydınlatma kontrol sistemi özelliklerinin çevresel etki konusu ile ilişkisi incelenerek ele alınan aydınlatma sistemi tasarımı alternatiflerinin minimum çevresel etkiye sahip olacak şekilde ele alınması gerekliliği çalışmada ortaya konmuştur.

Aydınlatma sistemi tasarımlarının maliyet etkinlik açısından değerlendirilmesi, uygulamada ele alınan aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin olarak gerçekleştirilmiş ve bu amaçla EN 15459 Standardı'nı temel alan net bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. Bu hedefle ele alınan senaryolarda, farklı doğal aydınlatma sistemi, yapma aydınlatma sistemi ve kontrol sistemlerinin kullanımı sonucu 30 yıllık hesap periyodu için ilk yatırım maliyeti, yenileme maliyeti, işletme maliyeti ve enerji maliyeti değerleri belirlenmiştir. Elde edilen maliyet değerlendirmesi sonuçlarına göre seçilen aydınlatma sistemlerine ilişkin ilk yatırım maliyetlerinin, toplam maliyetleri önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Örneğin A2 yapma aydınlatma sistemi senaryosunda A1 senaryosuna oranla daha düşük toplam yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi sonuçları elde edilmesine rağmen, ilk yatırım maliyetinin A1'e oranla daha yüksek olması nedeniyle 30 yıl için elde edilen toplam maliyet değerleri daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu nedenle öngörülen aydınlatma tasarımlarının geri ödeme sürelerinin hesaplanması ve tasarımların buna bağlı olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ek E'de ele alınan aydınlatma senaryolarına ilişkin olarak hesaplanan maliyet değerlerine yer verilmiştir.

Bina aydınlatma enerjisi performansına olan olumlu etkileri ve kullanıcıların görsel ihtiyaçlarına olan katkıları nedenleriyle günümüzde aydınlatma kontrol sistemleri binalara entegre edilmekte ve ilk tasarım aşamasından itibaren binalar bu tür sistemleri içerecek şekilde planlanmaktadır. Ancak günümüz koşullarında aydınlatma kontrol sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve teknik bakım onarım gereksinimleri, bu sistemlerin yaygın olarak kullanılmasını engelleyebilmektedir. Aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ile binaların aydınlatma enerjisi performansında önemli ölçüde iyileşme sağlanabilmektedir. Bu nedenle kontrol sistemlerinin geri ödeme sürelerine bağlı olarak binalarda kullanımının yaygınlaştırılması, daha düşük ilk yatırım maliyeti önerileri ile bina sahiplerinin ve tasarımcılarının aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımına teşvik edilmesi gerekmektedir. Böylelikle aydınlatma enerjisi açısından binalarda enerji performansının artırılması ve sıfır enerjili binaların yaygınlaştırılması mümkün olacaktır.

Aydınlatma tasarımı göstergeleri, bu yaklaşım ile elde edilen aydınlatma sistemi tasarımı sonuçlarının uygun ve sistematik bir şekilde ifade edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu göstergeler, görsel konfor, enerji performansı, çevresel etki ve maliyet etkinlik açılarından gerçekleştirilen değerlendirmelerde elde edilen sonuçları içerecek şekilde hazırlanmıştır. Geliştirilen göstergelerde yer alan bilgiler, grafik bir yöntem ile görselleştirilerek aydınlatma sistemi tasarımı sonuçları ifade edilmiştir. Ek F'de ele alınan senaryolar için gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucu hazırlanmış olan aydınlatma tasarımı göstergeleri yer almaktadır. Geliştirilen aydınlatma tasarımı göstergeleri ve kullanımı önerilen grafik yöntem yardımı ile optimum aydınlatma sistemi tasarım kararlarının elde edilmesi ve ele alınan alternatiflerin sistematik olarak birbirleri ile kıyaslanması mümkün olmaktadır.

Sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının gerçekleştirilmesine yönelik olarak güncel ve bilimsel açıdan geçerliliği kanıtlanmış yöntemlere dayalı olarak geliştirilen bu yaklaşım ile, aydınlatma tasarımlarında sürdürülebilirlik konusunun dikkate alınması ve bu doğrultuda uygun tasarım seçeneklerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Görsel konfor koşullarını sağlayan, enerji etkin, doğaya en az zarar veren ve maliyet optimum aydınlatma sistemi tasarımlarının elde edilmesi için geliştirilen bu mimari aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımı, ileride ilgili adımlara ilişkin gerçekleşebilecek yeniliklere paralel olarak güncellenebilecek niteliktedir.

Geliştirilen yaklaşımın farklı coğrafi bölgeler için kullanımı, ilgili bölgeye ilişkin saatlik gök koşullarının belirlenmesinde kullanılacak meteorolojik verilerin mevcut olması koşulu ile mümkündür. Geliştirilen yaklaşımın Türkiye dışındaki bir bölgede kullanımı için güncellenmesi olanaklıdır. Uygulama çalışması, eğitim binası örneğinde gerçekleştirilmiştir, ancak yaklaşımın kullanımı ile farklı bina tipolojilerine ilişkin sürdürülebilir aydınlatma sistemi tasarımlarının geliştirilmesi mümkündür. Bu durumda ele alınan tipolojiye ilişkin gerekli aydınlatma kriterlerinin uluslararası standartlar uyarınca tanımlı olması beklenmektedir.

Geliştirilen 'Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımı Yaklaşımı'nın yaygın olarak kullanımı ile sürdürülebilir aydınlatma tasarımı konusundaki farkındalığın arttırılması beklenmektedir. Bu doğrultuda gelecekte bu aydınlatma sistemi tasarımı yaklaşımının bir yazılım haline dönüştürülerek aydınlatma tasarımcılarının kullanımına sunulması planlanmaktadır. CAD tabanlı bina tasarım araçları ve aydınlatma simülasyon programları ile birlikte ele alınabilecek bu yazılım ile sürdürülebilir aydınlatma tasarımlarının elde edilmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

aan het Rot, M., Moskowitz, D. S., & Young, S. N. (2008). Exposure to bright light is associated with positive social interaction and good mood over short time periods: A naturalistic study in mildly seasonal people. *Journal of Psychiatric Research*, 42, 311–319.

aan het Rot, M., Benkelfat, C., Boivin, D. B ve diğ. (2008). Bright light exposure during acute tryptophan depletion prevents a lowering of mood in mildly seasonal women. *Eur Neuropsychopharmacol*, 18: 14-23.

Aghemo, C., & Pellegrino, A. (2014). Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices. *Automation in Construction*, 43, 10–22.

Alimoğlu, M. K., & Dönmez, L. (2005). Daylight exposure and the other predictors of burnout among nurses in a university hospital. *International Journal of Nursing Studies*, 42, 5, 549–555.

Alshamrani, O. S., Galal, K., & Alkass, S. (2014). Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. *Building and Envionment*, 80, 61-70.

An, J. S. (2004). Evaluation of Assumptions in Building- Energy Standards: A Method for assessing the Lighting Provision. Doktora Tezi, Harvard Design School, ABD.

ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007. (2007). Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Atlanta, ABD.

Aries, M. B. C. ve diğ. (2015). Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research and Technology*, 47, 6-27.

Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalarin Kontrolü Yönetmeliği. (2012). Resmi Gazete, Sayı : 28300, 22 Mayıs 2012 Salı.

Athientis, A. K., & Tzempelikos, A. (2002). A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device. *Solar Energy*, 72, 271-281.

Aydınlı, S. (1983). The availability of Solar Radiation and Daylight, Institut für Lichtechnik der Technischen Universitat Berlin, Almanya.

Badescu, V. (2008). Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface, *Springer,* Springer Science & Business Media.

Baldinelli, G., Asdrubali, F., Baldassarri, C., Bianchi, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S., & Basilicata, C. (2014). Energy and environmental performance optimization of a wooden window: A holistic approach. *Energy and Buildings*, 79, 114-131.

Bartzokas, A., Darula, S., Kambezidis, H.D., & Kittler, R. (2003). Sky luminance distribution in Central Europe and the Mediterranean area during the winter period. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 65, 1, 113-119.

BEP-TR. (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması, 07 Aralık 2010 Perşembe, *Resmi Gazete*, Sayı:27778.

BEP-TR. (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 05-Aydınlatma, 07 Aralık 2010 Perşembe, *Resmi Gazete*, Sayı:27778.

BEP-TR. (2010). Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 07-Referans Bina Belirleme, 07 Aralık 2010 Perşembe, *Resmi Gazete*, Sayı:27778.

Berköz, E., Küçükdoğu, M. Ş. ve diğ. (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Tübitak, INTAG201.

Beute, F., & Yvonne, A. W. (2013). Salutogenic Effects of the Environment: Review of Health Protective Effects of Nature and Daylight. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 6, 1, 67-95.

Beute, F., & Yvonne, A. W. (2013). Let the sun shine! Measuring explicit and implicit preference for environments differing in naturalness, weather type and brightness. *Journal of Environmental Psychology*, 36, 162-178, 2013.

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği. (2008). *Resmi Gazete*, 5 Aralık 2008, Sayı: 27075.

Bodart, M., & De Herde, A. (2002). Global energy saving in offices buildings by the use of daylighting. *Energy and Buildings* 34, 421-429.

Bourgeois, D., Reinhart, C., & Macdonald, I. (2006). Adding Advanced Behavioral Models in Whole Building Energy Simulation. *Energy and Buildings*, 38, 7, 814-823.

Boyce, P. R., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). The Benefits of Daylight through Windows, Lighting Research Center of the Rensselaer Polytechnic Institute; New York, ABD.

BREEAM Scheme Document SD 5069. (2010). BREEAM International Bespoke 2010 Version 1.0.

BSR/ASHRAE/USGBC/IESNA Standard 189.1P. (2009). Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, Third Public Review, Atlanta, ABD.

BS 8206-2:2008. (2008). Lighting for buildings- Part 2: Code of practice for Daylighting.

Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development:Our Common Future, Brundtland Report.

Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 394-416.*

Cantin, F., & Dubois, M. C. (2011). Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity. *Lighting Research and Technology*, 43, 291–307.

Chiogna, M., Mahdavi, A., Albatici, R., & Frattari, A. (2012). Energy efficiency of alternative lighting control systems, *Lighting Research and Technology*, 44, 397-415.

Collins, B. L. (1975). Windows and People: A literature survey. Psychological Reaction to Environments with and without Windows, Washington DC: National Bureau of Standards, ABD.

Chirarattananon, S., Chaiwiwatworakul, P., & Pattanasethanon, S. (2002). Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok. *Renewable Energy*, 26, 69–89.

Chirarattananon, S, Rukkwansuk, P., Chaiwiwatworakul, P, & Pakdeepol, P. (2006). Evaluation of vertical illuminance and irradiance models against data. *Building and Environment*, 42, 11, 3894-3904.

Choi, J. H., Beltran, L. O., & Kim H. S. (2012). Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. *Building and Environment*, 50, 65–75.

CIBSE Commissioning Code C. (2001). Automatic controls, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

CIBSE Guide A. (2001). Environmental Design, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

CIBSE Guide F. (2012). Energy Efficiency in Buildings, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

CIBSE Guide H. (2009). Building control systems, The Chartered Institution of Building Services Engineers, Norwich.

CIBSE LG10: 1999. (1999). Daylighting and Window Design (Lighting Guide), The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

CIBSE Knowledge Series. (2005). Understanding Controls, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

CIE Publication. (1955). Natural daylight, Official recommendation, *Compte Rendu CIE 13,* Paris.

CIE Publication. (2003). Spatial distribution of daylight - CIE Standard General Sky, CIE S011/E:2003, Viyana.

CIE Publication. (2006). No: 171:2006, Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs, Viyana.

CIE Publication 22. (1973). Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies, Paris.

Commission Regulation (EC) No 245/2009. (2009). Directive of implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union L76/19, V 52.

Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012. (2012). 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements, Official Journal of the European Union.

ÇEDBİK. (2013). *Yeşil Konut Sertifika Kılavuzu*, Yeni Konutlar Versiyon 1.0, Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği.

Day J. ve diğ. (2012). Understanding Controls, Behaviors and Satisfaction in the Daylit Perimeter Office: A Daylight Design Case Study, Interior Design Educators Council. *Journal of Interior Design*, 37 (1), 17–34.

De Vries, P., Aarts, H., & Midden, C. J. H. (2011). Changing simple energy-related consumer behaviors: How the enactment of intentions is thwarted by acting and non-acting habits. *Environment and Behavior*, 43, 5, 612-633.

DIN V 18599-4:2007-02. (2007). Energy efficiency of buildings — Calculation of the energy needs, delivered energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting Part 4: Net and final energy demand for lighting.

Dialux Version 4.7. (2009). The Software Standard for Calculating Lighting Layouts, User Manual.

Din, I., & Kim, H. (2014). Joint blind and light control for lighting energy reduction while satisfying light level and anti-glare requirements, *Lighting Research and Technology*, 46, 281-292.

Directive on Energy Performance of Buildings. (2002). 2002/91/EC, Brüksel.

Directive of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005. (2005). Directive 2005/32/EC, 2005, establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending, Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the EC, L191/29, V 48.

Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council. (2012). 4 July 2012 Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Official Journal of the European Union.

Directive 2011/65/EU European Parliament and of the Council. (2011). 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment- RoHS, Official Journal of the European Union.

Dubois, M. C., & Blomsterberg, A. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43, 10, 2572–2582.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley and Sons, New York.

Dugar, A., & Donn, M. (2011). Tangible intervention; Improving the effectiveness of lighting control systems. *Lighting Research and Technology*, 43, 382 - 393.

Elijošiutė, E., Balciukevičiūtė, J., & Denafas, G. (2012). Life Cycle Assessment of Compact Fluorescent and Incandescent Lamps: Comparative Analysis. *Environmental Research, Engineering and Management*, 3 (61), 65-72.

EN 12464. (2011). Light and Lighting of Workplaces: Part1-Indoor Workplaces. CEN/TC 169, European Committee for Standardisation.

EN 15193. (2007). Energy Performance of Buildings- Energy Requirements for Lighting, CEN/TC 169, European Committee for Standardisation.

EN ISO 14040-14044. (2006). Environmental Management- Life cycle assessment Requirements and guidelines, European Committee for Standardisation.

EN 15804. (2012). Sustainability of Construction Works- Environmental Product Declarations- Core Rules for the Product Category of Construction Products, European Committee for Standardisation.

EN 15643. (2010). Sustainability of Construction Works, Sustainability Assessment of Buildings, General Framework, European Committee for Standardisation.

EN 15978. (2011). Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, European Committee for Standardisation.

EN 15459. (2007). Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings, European Committee for Standardisation.

EPBD recast. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Official Journal of the European Union.

Escuyer, S, & Fontoynont, M. (2001). Lighting Controls: A Field Study of Office Workers' Reactions. *Lighting Research and Technology*, 33, 2, 77-96.

European Commission. (2011). Green Public Procurement Indoor Lighting Technical Background Report.

European Commission. (2011). Green Paper: Lighting the Future, Accelerating the Deployment of Innovative Lighting Technologies. The European Commission, Brussels, 15.12.2011, COM 889.

Evans, G. W., & Ferguson, K. T. (2011). 'Built Environment and Mental Health', Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Encyclopedia of Environmental Health*, 446-449.

Farley, K. M. J., & Veitch, J. A. (2001). A room with a view: A review of the effects of windows on work and wellbeing. IRC Research Report (IRC-RR-136, National Research Council Canada, Kanada.

Feister, U., Shields, J., Karr, M., Johnson, R., Dehne, K., & Woldt, M. (2000). Ground-Based Cloud Images and Sky Radiances in the Visible and Near Infrared Region from Whole Sky Imager Measurements. *Proceedings of Climate Monitoring – Satellite Application Facility Training Workshop sponsored by DWD, EUMETSAT and WMO*, Dresden, Almanya.

Figueiro, M. G., & Rea, M. S. (2010). Lack of short-wavelength light during the school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students. *Neuroendocrinology Letters*, 31(1), 92–96.

Fisk, W. J. (2000). Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 537-566.

Galasiu, A., & Veitch, J. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: A literature review. *Energy and Buildings*, 38, 728-742.

Ganiç, N., **& Yılmaz, Z.** (2014). Adaptation of the cost optimal level calculation method of Directive 2010/31/EU considering the influence of Turkish national factors. *Applied Energy,* 123, 94-107.

Geisler-Moroder, D., & Dür, A. (2008). Validation of Radiance Against CIE 171:2006 and Improved Adaptive Subdivision of Circular Light Sources. *7th International RADIANCE workshop*, Fribourg.

Gordon, J. (2001). Solar energy: the state of the art : ISES position papers. *International Solar Energy Society*, ISBN978-1-90291-623-1.

Grant, A., & Ries, R. (2012). Impact of building service life models on life cycle assessment. *Building Research & Information*, 41, 2, 168-186.

Greenup, P. J. (2002). Development of Novel Technologies for Improved Natural Illumination of High Rise Office Buildings, Doktora Tezi, Queensland Teknoloji Üniversitesi, Avusturalya.

Haapio, A., & Viitaniemi, P. (2008). A critical review of building environmental assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 7, 469–82.

Halog, A. (2002). Selection of Sustainable Product Improvement Alternatives, Karlsruhe, Doktora tezi, Universität Fridericiana Karlsruhe, Almanya.

Hellinga, H., & Hordijk, B. G. J. (2009). A new method for the analysis of daylight access and view out, *Lux Europa*, İstanbul, Türkiye.

Hendrickson, C. T., Matthews, H. D., Ashe, M., Jaramillo, P., & McMichael, F. C. (2010). Reducing Environmental Burdens of Solid-State Lighting through End-of-life Design. *Environmental Research Letters*, 5-014016.

Heschong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). Daylighting Impacts on Human Performance in School. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31:2, 101-114.

Hoes, P., Hensen, J. L. M., Loomans, M. G. L. C., Vries, B., & de Bourgeois, D. (2009)**.** User Behavior in Whole Building Simulation. *Energy and Buildings*, 41, 3, 295-302.

Hopkinson, R. G., & Longmore, J. (1959). The permanent supplementary articial lighting of interiors. Trans. *Illuminating Eng. Society,* London; 24:121-48.

Hwang, T., & Kim, J. T. (2011). Effects of Indoor Lighting on Occupants' Visual Comfort and Eye Health in a Green Building. *Indoor and Built Environment*, 20 (1) 75-90.

IEA. (2010). Phase out of ILs. Implications for International Supply and Demand for Regulatory Compliant Lamps. Information Paper. OECD/IEA, Paris.

IEA POE. (1999). Post Occupancy Evaluation of Daylight in Buildings, A Report of IEA SHC TASK 21 / ECBCS ANNEX 29.

IEA 31 Subtask A. (2004). Analyse of the survey on the Office Workers' Interest in Windows.

IESNA. (2000). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD.

IESNA. (2011). The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application. 10th Edition, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD.

Interuniversity Research Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services (CIRAIG). (2008). Comparative life cycle assessment of Light Bulbs: Incandescents and Compact Flourescents, Final Report.

ISO 21930:2007. (2007). Sustainability in Construction- Environmental Product Declaration of building Products.

ISO 21931-1:2010. (2010). Sustainability in Building Construction — Framework for Methods of Assessment of the Environmental Performance of Construction Works Part 1: Buildings.

Jakubiec, A., & Reinhart, C. (2010). The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice, *9th International Radiance Workshop*, Eylül 20-21.

Jakubiec, A., & Reinhart, C. (2012). The 'adaptive zone' – A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. *Lighting Research & Technology*, 44 (2): 149-170.

JEMAI. (2009). Guidelines for standardisation of Electronic Product Eco Efficiency Indicators Ver 2.1, Japan Eco- Efficiency Forum.

Joarder, A. R. Price, A. D. F. (2013). Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery. *Lighting Research and Technology*, 45: 435–449.

Jung, C. M., Khalsa, S. B. S., Scheer, F. A. J. L., Cajochen, C., Lockley, S.W., Czeisler, C. A. ve diğ. (2010). Acute effects of bright light exposure on cortisol levels. *Journal of Biological Rhythms*, 25, 208–216.

Kaida, K., Takahashi, M., & Otsuka, Y. (2007). A short nap and bright light exposure improve positive mood status. *Industrial Health*, 45, 301–308.

Keighley, E. C. (1973). Visual Requirements and Reduced Fenestration in Offices: a Study of Window Shape. *Building Science*, 8, 311–320.

Kittler, R. (2007). Daylight Prediction and Assessment: Theory and Design Practice. *Architectural Science Review*, 50.2, 94-99.

Kon, H. J., & Kim, J. T. (2012). A classification of Real Sky Conditions for Yongin, Korea. *International Conference on Sustainability in Energy and Buildings*, 2-5 Eylül 2012, İsviçre.

Krarti, M., Erickson, P. M., & Hillman, T. C. (2004). A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. B*uilding and Environment*, 40, 747-754.

KS12-CIBSE Knowledge Series 12. (2007). Refurbishment for Improved Energy Efficiency- An Overview, The Chartered Institution of Building Services Engineers, Londra.

Kutlu, R. (2008). *İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Yaklaşım*, (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Küçükdoğu, M. Ş. ve diğ. (1995). *Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı*, Proje No: İNTAG 201, TÜBİTAK İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Araştırma Projesi Raporu.

Lee, M., Carswell, C. M., Seidelman, W., & Sublette, M. (2013). Green Expectations: The Story of a Customizable Lighting Control Panel Designed to Reduce Energy Use. *Proceedings of the 2013 International Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*, San Diego, CA: The Human Factors and Ergonomics Society.

Leslie, R. P., Radetsky, L.C., & Smith, A.M. (2012). Conceptual design metrics for daylighting. *Lighting Research and Technology*, 44, 277-290.

Leslie, R. P., Raghavan, R., Howlett, O., & Eaton, C. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. *Lighting Research and Technology*, 37, 21-40.

Li, D. H. W., & Cheung, G. H. W. (2006). Average Daylight Factor for the 15 CIE standard skies. *Lighting Research and Technology*, 38,2, 137-152.

Li, D. H. W., Cheung, G. H. W., & Lau, C. C. S. (2006). A simplified procedure for determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept. *Building and Environment*, 41, 578-589.

Li, D. H. W., & Lam, J. C. (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. *Energy and Buildings*. 33, 793-803.

Li, D. H. W., & Lam, J. C. (2003). An analysis of lighting energy savings and switching frequency for a daylit corridor under various indoor design illuminance levels, Applied Energy, 76, 363-378.

Li, D. H. W., Lau, C. C. S., & Lam J. C. (2003). A Study of 15 Sky Luminance Patterns against Hong Kong Data. *Architectural Science Review*, 46, 1, 61-68.

Littlefair, P. J. (2011). BRE Report Site Layout Planning for daylight and sunlight: A good practice, Second Edition, Building Research Establishment, Watford, U.K.

Littlefair, P. J. (1998). Predicting Lighting Energy Use Under Daylight Linked Lighting Controls. *Building Research Information*, 26: 208-222.

Littlefair, P. J. (2001), Photoelectric control: the effectiveness of techniques to reduce switching frequency. *Lighting Research & Technology*, 33, no. 1, 43-55.

Loe, D. (2003), Quantifying lighting energy efficiency: a discussion document. *Lighting Research and Technology*, 35, 4, 319–329.

Loe, D. (2009), Energy efficiency in lighting – considerations and possibilities. *Lighting Research and Technology*, 41, 209–218.

Long, C. N., Sabburg, J. M., Calbó, J., & Pagès, D. (2006). Retrieving Cloud Characteristics from Ground-Based Daytime Color All-Sky Images. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23, 633-652.

Mahdavi, A. (2008). Predictive simulation-based lighting and shading systems control in buildings. Building Simulation, 1 (1), 25–35.

Mahdavi, A., Dervishi, S., & Spasojevic, B. (2006). Computational derivation of incident irradiance on building facades based on measured global horizontal irradiance data, *BauSIM2006 (IBPSA)*, Munchen: Eigenverlag TU Munchen, 135–137.

Mardaljevic, J. (2008). Climate Based Daylight Analysis, Conclusion to Reportership R3-26, Leicester, UK.

Mardaljevic, J. (1995). Validation of a lighting simulation program under real sky conditions. *Lighting Research and Technology,* 27.4, 181-188.

Mardaljevic J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings, *Lighting Res. Technology*, 41(3):261–283.

Mayhoub, M., & Carter, D. (2012). A feasibility study for hybrid lighting systems, *Building and Environment*, 53, 83-94.

MEB Yatırımlar ve Tesisler Dairesi Başkanlığı. (2006), Efikap 2 Eğitime Fiziksel Katkı Projesi, 480 Öğrencilik İlköğretim Okulu Mimari Projesi, Yüksel Proje, Ankara.

Moon, P., & Spencer D. E. (1942). Illumination from a non-uniform sky. *Illumination Engineering,* 37, 10, 707-726.

Moore, T., Carter, D., & Slater, A. (2002). User Attitudes Toward Occupant Controlled Office Lighting, *Lighting Research and Technology*. 34 (3), 207–219.

Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings, *Lighting Research and Technology*, 37 (1): 41-57.

Navigant Consulting Europe, Ltd. (2009). Life Cycle Assessment of Ultra-Efficient Lamps, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londra, İngiltere.

Navigant Consulting, Inc. (2012). Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products, Part I: Review of the Life-Cycle Energy Consumption of Incandescent, Compact Fluorescent, and LED Lamps, US Department of Energy, ABD.

NISTIR 7423 (2007). Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide.

Norvasuo, M. (2002). The new CIE general sky standard: Daylighting experiences and implication, *RIGHTLIGHT*, Nice, Fransa, pp:447-451.

OECD (2001). Sustainable Development: Critical Issues. ISBN: 92-64-18695.

Olgyay, A., & Olgyay, V. (1957). Solar Control and Shading Devices, Princeton University Press.

Oral, G. K., Yener, A. K., & Bayazıt, N. T. (2001). İklim, Işık ve Ses Kontrolu Açılarından Bina Kabuğu Tasarımı, *II.Çevre ve Enerji Kongresi*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: E/2001/289, ISBN 975-395-492-1, 63-69, İstanbul, 15-17 Kasım 2001.

Osram. (2009). *Executive Summary: Life Cycle Assessment of Illuminants - A Comparison of Light Bulbs*, Compact Fluorescent Lamps and LED Lamps,

Özkaya, M. (2004). Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi.

Pacific Northwest National Laboratory N14 Energy Limited (2012). *Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products*, Part 2: LED Manufacturing and Performance, US Department of Energy.

Pattanasethanon, S., Lertsatitthanakorn, C., Atthajariyakul, S., & Soponronnarit, S. (2007). All sky modeling daylight availability and illuminance/irradiance on horizontal plane for Mahasarakham, Thailand, *Energy Conversion and Management*, 48 (2007) 1601–1614.

Perez, R., Seals, R., & Michalsky, J. (1993). AllWeather Model for Sky Luminance Distribution -Preliminary Configuration and Validation, Solar Energy Vol. 50, No. 3, 1993: pp. 235-245.

Phipps-Nelson, J., Redman, J. R., Dijk, D.J., & Rajaratnam, S. M. (2003). Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep* 26, 695–700.

Rahim, B. R., Baharuddin, H., & Mulyadi, R. (2004). Classification of Daylight and Radiation Data Into Three Sky Conditions by Cloud Ratio and Sunshine Duration. *Energy and Buildings*, 36, 660–666.

Ramroth, L. (2008). Comparison of Life-Cycle Analyses of Compact Fluorescent and Incandescent Lamps Based on Rated Life of Compact Fluorescent Lamp, Rocky Mountain Institute.

Rashid, M., & Zimring, C. (2008). A Review of the Empirical Literature on the Relationships Between Indoor Environment and Stress in Health Care and Office Settings: Problems and Prospects of Sharing Evidence, *Environment and Behavior*, 40-2, 151-190.

Recio, J. M. B., Narváez, R. P., & Guerrero, P. J. (2005). Estimate of Energy Consumption and CO_2 Emission Associated with the Production, Use and Final Disposal of PVC, Aluminium and Wooden Windows, Report: PVC-Ven-200501-2, Barselona.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3 (1), 7-31.

Reinhart, C. F. (2006). Tutorial on the use of daysim simulations for sustainable design, Institute for Research in Construction, National Research Council, Canada.

Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard- a simulation based design analysis for daylit spaces. *Building and Environment*, 46, 386–396.

Rigollier, C., Bauer, O., & Wald, L. (2000). On The Clear Sky Model Of The Esra -European Solar Radıatıon Atlas- Wıth Respect To The Helıosat Method. *Solar Energy*, 68, 1, 33–48.

Roy, G. G., Hayman, S., & Julian, W. (1998). Sky modelling from digital imagery. ARC Project A89530177. Final Reportalama The University of Sydney and Murdoch University, Australia.

RT 2005. (2005). Annexe, La méthode de calcul TH-C-E ex a été développée par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Fransa.

Salazar J., & Sowlati T. (2008). A review of life-cycle assessment of Windows. *Forest Product Journal*, 58, 10, 91–96.

SBEM. (2010). Simplified Building Energy Model, A Technical Manual for SBEM, UK Volume, 9 Haziran 2010.

Scartezzini, J. (2002). Innovation and Daylighting Buildings. *Solar Energy and Building Physics Laboratory*, Lozan.

Schleich, J., Mills, B., & Dütschke, E. (2014). A Brighter Future? Quantifying the Rebound-Effect in Energy-Efficient Lighting. *Energy Policy*, 72, 34-42.

Shahriar, A. N. M., & Mohit, M. A. (2006). Frequency Distribution of CIE Standard General Skies for Subang, Malaysia. *Architectural Science Review*, 49, 4, 363-366.

Sirel, Ş. (1997). Aydınlatma Sözlüğü, Yapı Endüstri Merkezi Yayınevi, İstanbul.

Slater, A. I., Bordass, W. T., & Heasman, T. A. (1996). People and lighting controls, BRE Information Paper IP 6/96. Garston: CRC.

SLL. (2012). Society of Lighting and Lighting (SLL), The SLL lighting handbook. London: Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE).

Stazi, F., Marinelli, S., Di Perna, C., & Munfao, P. (2014). Comparison on solar shadings: Monitoring of the thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental impact. *Solar Energy, 105,* 512-528.

Stein, B., & Reynolds, J. S. (2000). Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, Ninth Edition, John Wiley &Sons, Inc., New York.

Szczepaniak, R., & Wilson, M. (2010). Investigating Energy Requirements for Lighting: A Critical Approach to EN15193, *Adapting to Change: New Thinking on Comfort,* 9-11 April, London, UK.

Spasojevic, B., & Mahdavi, A. (2005). Sky luminance mapping for computational daylight modelling. *Building Simulation 2005: Proceedings of the Ninth international IBPSA conference*, 3, 1163–1169.

Spasojevic, B., & Mahdavi, A. (2007). Calibrated sky luminance maps for advanced daylight simulation applications. *Building Simulation 2007: Proceedings of the 10th International Building Performance Simulation Association Conference, Beijing, China.* ISBN: 0-9771706-2-4.

Suk, J., & Schiler, M. (2013). Investigation of Evalglare software, daylight glare probability and high dynamic range imaging for daylight glare analysis. *Lighting Research and Technology*, 45, 450-463.

Şener, F. (2009). *Lighting in Museum Buildings and Investigation of a Case Study*. (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şener, F, & Yener, A. K. (2010). Daylighting Design of Buildings with the Aspects of Visual Comfort and Energy Efficiency, *1st. International Graduate Research Symposium on the Built Environment,* 25 Ekim, Ankara, Türkiye.

Şener, F., & Uyan, F. (2011). Bina Aydınlatma Enerjisi Performansında Kullanıcı Davranışları. *8. Aydınlatma Kongresi*, pp:171-180, İstanbul.

Şener, F., & Yener, A. K. (2012). Sky Model Determination based on Meteorological Data for Daylight Calculations In Architecture- an Application for Istanbul. *Balkanlight 2012*, 3-6 Ekim, Belgrad, Sırbistan.

Thomas, N. S., & Wong, J. M. W. (2013). Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions. *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 131-141.

TNO Building and Construction, Report 2007-D-R0576/B. (2007). Impact of Solar Control Glazing on energy and CO_2 savings in Europe.

Tregenza, P., & Waters, I. M. (1983). Daylight Coefficients. *Lighting Research and Technology*, 15, 2, 65 – 71.

TS-EN 12464. (2013). Işık ve aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, Türk Standartarı Enstitüsü.

Url-1 <*http://www.headaches.org* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-2 <*http://www.nhs.uk* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-3 <*https://www.epilepsy.org.uk* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-4 <*http://www.fedoa.unina.it/3632/1/G.F.IULIANO.pdf* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-5 <*http://www.usgbc.org/*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-6 <*http://www.leeduser.com*>, erişim tarihi 11.01.2012.

Url-7 <*http://www.ncm.bre.co.uk*>, erişim tarihi 11.01.2012.

Url-8 <*http://www.rt-batiment.fr* >, erişim tarihi 11.01.2012.

Url-9 <*http://ec.europa.eu/environment/gpp/what_en.htm*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-10 <*http://ab.immib.org.tr/web/*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-11 <*http://www.elcfed.org/1_health.html* >, erişim tarihi:11.01.2012.

Url-12 <*http://satel-light.com*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-13 <*http://www.soda-is.com/eng/index.html*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-14 <*ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/eesd/docs/ev260901_poster_heliosat-3.pdf*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-15 <*http://project.mesor.net/web/guest/home* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-16 <*http://www.mgm.gov.tr*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-17 <*http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Solar_Exposure*>, erişim tarihi: 18.10.2014.

Url-18 <*http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy*>, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-19 <*http://naturalfrequency.com/wiki/sky-subdivision*>, erişim tarihi: 19.09.2014.

Url-20 <*http://www.ise.fraunhofer.de/radiance* >, erişim tarihi: 19.10.2014.

Url-21 < *http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/*>, alındığı tarih: 19.10.2014.

Url-22 < *http://www.dial.de/DIAL/en/dialux.html*>, alındığı tarih: 19.10.2014.

Url-23 < *http://www.relux.biz*>, alındığı tarih: 19.10.2014.

Vischer, J. C. (2008). Towards an Environmental Psychology of Workspace: How People are Affected by Environments for Work. *Architectural Science Review*, 51 (2), 97-108.

Walch, J. M., Rabin, B. S., Day, R., Williams, J. N., Choi, K., & Kang, J. D. (2005). The effect of sunlight on postoperative analgesic medication use: A prospective study of patients undergoing spinal surgery. *Psychosomatic Medicine*, 67, 156–163.

Ward, G. (1994). The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System, Lawrence Berkeley Laboratory, Kaliforniya.

Welz, T., Hischier, R., & Hilthy, L. M. (2011). Environmental impacts of lighting Technologies-Life cycle assessment and sensitivity analysis. *Environmental Impact Assessment Review,* 31, 3, 334-343.

Werner, K. E. O. (2005). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 79-2, 140-158.

Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation Methods and Development of a new Glare Prediction Model for Daylight Environments with the use of CCD Cameras. *Energy and Buildings*, 38 743–75.

Williams, A., Atkinson, B., Garbesi, K., Page, E., & Rubinstein, F. M. (2012). Lighting Controls in Commercial Buildings, *The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*. 8, 161-180.

Xiao, H., Zhao, J., & Xiao, Y. S. (2010). A dynamic sky recognition method for use in energy efficient lighting design based on CIE standard general skies. *Building and Environment*, 45, 319-1328.

Yang, I. H, & Nam, E. J. (2010). Economic Analysis of the Daylight-Linked Lighting Control System in Office Buildings. *Solar Energy*, 84(8):1513–1525.

Yener, A. K., Uyan, F., & Şener, F. (2009). Binaların Sürdürülebilirliklerinin Belirlenmesinde Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi, *5.Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 1-11.

Yılmaz, F. Ş., & Yener, A. K. (2014). Lighting energy performance determination for Turkey. *Lighting Research and Technology*, DOI: 10.1177/1477153514541455.

Yılmaz, Z., Lewis, O., Ok, V., Oral, G. K., Yener, A., & Manioğlu, G. (2005). Türkiye ve İrlanda'daki Binaların Enerji Etkin Tasarım ve Yapımı için Sürdürülebilirlik Stratejileri, Proje No: 30657, Cilt III, İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu.

Yun, G. Y., Kong, H. J., Kim, H., & Kim J. T. (2012). A field survey of visual comfort and lighting energy consumption in open plan offices, *Energy and Buildings,* 46, 146-151.

EKLER

EK A: Ele alınan derslikte çalışma düzleminde RADIANCE programı ile elde edilen saatlik günışığı hesap sonuçları
EK B: Saatlik sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi sonuçları
EK C: Ele alınan doğal aydınlatma senaryolarında hesaplanan DGP değerleri
EK D: Aydınlatma enerjisi değerlendirmesi sonuçları
EK E: Ele alınan aydınlatma sistemi senaryolarında hesaplanan maliyet değerleri
EK F: Ele alınan aydınlatma sistemi senaryolarına ilişkin aydınlatma tasarımı göstergeleri

EK A: Ele alınan derslikte çalışma düzleminde RADIANCE programı ile elde edilen saatlik günışığı hesap sonuçları

Çizelge A.1 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık, 08:00																		
	11	11	10	12	10	14	13	14	14	14	12	13	13	12	12	12	12	11
	11	11	12	11	12	15	13	13	12	12	13	14	12	12	13	13	11	12
	13	12	13	12	13	16	15	15	13	14	16	15	15	15	14	13	13	12
	13	14	17	15	14	17	16	18	15	17	17	17	16	17	15	16	15	14
	16	17	17	19	20	20	18	21	18	20	21	20	20	18	18	17	17	17
	19	19	22	19	23	23	24	22	26	24	23	24	23	23	22	21	21	20
	24	22	27	26	26	29	28	32	27	30	29	26	25	29	27	25	23	21
	30	28	30	32	33	35	33	36	34	35	35	34	33	35	32	32	30	28
	37	38	42	41	41	44	41	45	43	42	45	43	42	42	40	39	36	33
	48	51	52	55	54	55	55	57	60	57	56	55	54	58	52	52	47	39
	64	70	69	67	68	67	70	74	77	75	69	63	67	71	70	68	61	52
	92	96	103	93	81	81	91	102	101	98	90	79	85	96	99	99	87	67
	123	145	150	125	85	88	109	142	149	135	108	85	93	129	144	143	122	76
	179	224	221	162	71	60	126	206	230	196	112	56	77	170	223	223	168	65

Çizelge A.2 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık, 12:00																		
	180	197	182	213	200	221	229	210	217	195	234	235	216	225	225	209	183	180
	187	188	231	212	206	230	216	235	252	244	191	251	226	226	192	209	195	204
	215	185	229	219	227	270	251	244	211	257	259	258	251	256	245	231	222	207
	212	221	271	240	259	304	286	279	238	275	290	289	267	307	263	257	231	237
	258	289	307	339	348	335	325	339	356	347	334	332	337	318	300	301	285	272
	309	309	368	364	348	377	382	390	398	369	424	377	387	370	367	351	323	306
	3271	3273	3348	388	417	479	423	3399	3337	3347	445	395	401	3348	3314	3310	3259	358
	3356	3349	3390	497	497	544	490	3414	3465	3419	516	528	505	3418	3388	3381	3365	423
	3455	3468	3544	593	654	578	608	3566	3552	3532	633	596	595	3486	3505	3509	3440	511
	3629	3679	3655	802	727	720	757	3695	3721	3699	762	739	740	3686	3676	3658	3569	572
	3767	3846	3907	876	836	814	890	3913	3922	3865	877	802	848	3779	3856	3855	3720	649
	4015	4111	4167	1123	870	871	1028	4162	4173	4074	1011	826	858	4010	4133	4101	3896	792
	4270	4496	4456	1326	896	838	1128	4459	4587	4397	1028	780	972	4266	4470	4520	4201	750
	4536	5026	4977	4390	617	508	1101	4836	5037	4710	922	466	675	4474	5008	4986	4403	575

Çizelge A.3 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralık, 16:00																		
	11	10	10	11	12	14	13	13	13	12	13	13	11	11	12	11	12	10
	10	11	10	11	12	13	12	13	12	12	12	13	12	13	12	12	11	11
	12	11	13	13	13	13	13	14	14	14	15	13	14	14	13	14	13	11
	11	13	15	14	15	13	14	15	15	15	17	15	15	16	14	15	14	13
	15	16	16	19	19	19	20	20	18	19	18	20	19	17	17	17	16	14
	17	17	21	19	20	22	21	22	23	21	21	22	21	20	21	21	17	18
	22	21	26	23	24	26	27	26	27	26	27	27	27	25	26	24	22	21
	28	27	26	29	29	34	33	32	33	32	33	32	31	34	31	27	28	25
	36	35	39	37	37	42	39	41	42	42	40	40	41	39	38	35	33	33
	46	49	51	51	49	51	53	53	55	52	53	51	51	52	48	50	44	39
	61	64	69	62	61	61	64	70	72	67	67	59	60	65	67	64	57	47
	85	90	94	86	79	73	82	94	99	94	84	72	79	92	95	89	81	63
	118	132	133	117	91	81	107	133	142	130	98	80	90	122	136	133	114	71
	164	212	204	152	66	55	119	189	214	182	102	51	73	161	210	207	155	64

Çizelge A.4 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart, 08:00																		
	25	26	33	33	37	37	36	33	37	35	35	37	34	33	35	32	30	30
	31	29	36	33	33	39	35	36	40	37	38	40	33	35	37	34	35	27
	32	33	41	39	38	38	40	42	45	42	44	44	42	42	40	38	37	31
	36	36	47	41	44	38	37	48	48	49	50	47	47	50	43	43	42	41
	49	50	54	59	57	56	57	60	58	62	62	62	56	58	54	52	49	43
	52	48	64	62	64	65	64	76	68	73	66	69	65	66	60	63	58	58
	68	66	77	67	73	86	75	83	82	86	82	86	80	84	79	77	71	70
	85	80	90	91	94	99	106	101	111	107	105	95	99	108	96	88	86	81
	109	114	121	116	119	135	123	133	136	128	131	122	120	122	115	109	104	103
	148	155	157	164	155	160	164	169	169	169	171	162	158	170	156	151	140	118
	190	206	216	203	198	197	211	222	230	229	209	195	200	211	222	194	186	154
	265	298	300	287	244	231	261	309	308	296	263	246	250	285	299	280	253	201
	376	438	425	375	269	261	325	414	447	409	310	263	281	387	439	440	373	226
	534	669	669	488	203	175	382	619	689	576	336	168	236	514	672	672	501	197

Çizelge A.5 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00)

15 Mart 12:00																		
	184	190	198	207	228	208	208	239	207	202	201	241	171	216	172	190	199	190
	191	161	204	169	191	206	214	255	217	210	198	244	175	223	174	211	197	177
	202	184	201	207	213	268	256	240	231	235	259	252	229	205	201	234	203	214
	186	214	269	252	249	273	277	275	272	284	296	281	270	296	293	266	250	243
	283	283	310	304	334	323	372	343	339	339	360	346	346	320	306	300	292	248
	304	303	394	359	359	381	378	402	399	425	389	397	410	407	382	355	345	337
	378	384	468	414	434	459	447	448	497	470	475	479	443	471	455	434	399	389
	496	493	539	519	548	587	571	569	632	579	587	626	606	590	546	522	528	447
	657	689	693	668	651	706	692	753	764	738	755	697	680	739	711	684	627	588
	811	899	917	945	911	850	869	953	989	954	960	886	874	928	929	870	792	704
	1016	1190	1240	1152	1032	1050	1098	1243	1242	1223	1139	985	1039	1164	1210	1215	1109	873
	1434	6997	7119	6927	1212	1134	1291	7102	7189	7025	1348	1085	1226	1517	7047	7072	6795	1017
	1932	7659	7778	7295	1212	1061	1501	7466	7844	7573	1515	1093	1183	2014	7697	7706	7294	1093
	7759	8606	8565	7670	834	661	1498	8262	8711	8210	1437	655	885	2296	8600	8626	7812	844

Çizelge A.6 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00)

15 Mart 16:00																		
	37	40	40	42	45	43	47	50	35	43	50	41	43	46	45	43	43	34
	38	39	44	40	40	49	43	39	54	36	47	51	43	43	40	42	38	37
	46	41	47	46	48	46	49	52	58	54	56	56	51	52	50	49	47	44
	41	48	57	50	51	54	55	58	60	61	63	58	59	60	58	55	54	50
	60	60	65	66	75	69	76	78	70	79	75	71	75	70	64	61	60	62
	69	65	80	64	79	83	84	87	82	80	78	85	81	87	78	78	71	68
	82	78	105	88	95	109	101	106	96	103	105	101	103	105	97	93	88	83
	103	105	115	115	121	131	125	129	129	136	130	122	122	126	116	100	109	103
	136	132	156	153	152	157	151	166	157	165	165	145	157	147	151	142	132	122
	176	196	198	204	192	195	210	210	206	208	217	198	202	209	201	187	174	149
	245	255	280	253	239	264	258	270	287	273	273	249	253	266	262	242	227	185
	334	339	381	349	307	308	342	383	393	357	348	297	320	372	378	350	310	254
	478	540	543	463	323	324	412	526	570	509	393	313	344	482	531	532	454	280
	653	840	832	603	277	210	468	753	855	722	416	199	296	643	842	834	630	248

Çizelge A.7 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	82	87	93	68	80	105	92	113	92	119	116	91	97	103	113	114	99	108
	82	71	76	83	85	90	93	112	105	89	92	112	104	111	100	89	115	99
	92	85	91	95	97	125	117	110	108	109	128	121	124	122	90	127	97	114
	78	85	117	108	114	130	126	154	125	136	144	140	122	156	146	146	136	126
	119	127	129	150	149	154	166	170	177	167	153	167	177	174	174	155	159	129
	121	126	155	168	162	172	165	202	204	204	174	178	181	177	190	184	169	184
	157	150	197	186	195	225	203	217	220	233	225	200	223	251	226	210	235	212
	198	201	230	255	235	288	277	257	276	275	272	273	288	281	275	255	266	259
	230	247	301	293	306	330	332	359	356	342	349	326	334	326	342	318	315	330
	310	348	384	396	394	411	425	434	436	439	435	434	418	457	419	422	434	386
	396	441	473	500	504	517	508	513	556	562	568	494	518	508	492	519	508	495
	507	621	698	675	646	590	616	675	723	667	683	601	576	625	642	707	665	611
	649	823	975	910	768	632	653	801	951	1013	862	634	611	767	885	957	962	747
	821	1235	1446	1273	709	415	584	1029	1357	1400	997	500	401	793	1223	1442	1290	707

Çizelge A.8 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	199	224	245	255	264	266	271	280	280	283	246	269	243	249	241	240	210	214
	205	176	256	226	221	281	231	234	293	231	278	260	255	275	257	255	239	228
	247	216	268	249	252	246	240	237	320	280	317	283	288	309	296	246	258	244
	224	245	318	262	280	299	304	359	353	320	358	320	317	332	321	312	280	252
	306	329	349	364	387	400	404	404	414	350	395	378	385	364	356	330	327	304
	314	327	409	411	377	427	416	459	472	424	434	412	412	425	406	383	340	359
	420	385	467	420	428	511	485	532	503	502	491	495	469	510	476	470	425	407
	478	441	561	507	516	590	537	576	604	580	619	542	562	576	541	508	503	459
	567	540	662	600	612	686	625	719	669	658	664	643	641	676	635	613	575	543
	707	774	766	803	794	802	795	821	840	812	805	733	780	803	767	763	720	614
	854	833	939	855	842	916	907	957	974	943	946	845	872	943	901	898	812	706
	1065	1148	1215	1057	968	1008	1050	1255	1218	1169	1088	957	952	1123	1168	1158	994	821
	1396	1529	1649	1313	1035	1013	1181	1576	1701	1527	1209	968	1019	1410	1559	1586	1301	887
	1852	2403	2375	1746	883	777	1338	2158	2454	2112	1190	758	923	1781	2354	2312	1716	772

Çizelge A.9 : D1 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	102	104	91	117	117	111	107	114	114	113	94	114	102	97	81	89	86	83
	101	97	91	113	116	131	103	103	108	105	100	93	97	100	82	90	80	83
	117	111	115	118	123	133	125	118	136	110	112	117	112	120	113	107	98	89
	116	130	155	137	134	134	137	162	152	133	148	123	125	138	121	112	97	103
	156	166	154	159	182	158	187	150	173	183	164	170	163	152	140	121	130	120
	182	172	216	156	206	186	185	219	200	179	198	185	196	168	167	158	145	139
	230	209	244	237	225	258	238	255	234	236	237	223	203	221	199	187	177	161
	272	269	267	273	274	283	274	273	306	276	289	260	270	267	234	221	207	183
	345	337	359	323	330	358	342	353	333	370	328	339	309	308	296	256	250	223
	448	454	453	442	453	416	457	436	458	435	453	433	409	413	390	342	321	258
	570	542	580	514	529	554	551	568	550	548	524	500	519	526	490	453	374	287
	757	705	724	630	606	673	692	758	709	668	622	621	693	747	687	600	475	357
	1028	989	862	748	669	757	918	1026	955	807	651	646	792	1006	971	874	614	363
	1423	1502	1233	775	406	575	1136	1468	1391	999	501	424	795	1357	1473	1241	798	295

Çizelge A.10 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
	17	17	19	20	18	20	19	19	20	22	21	21	20	20	19	15	17	15
	17	17	19	18	20	21	21	18	22	21	21	21	19	20	20	21	19	17
	19	17	20	21	21	21	21	20	23	24	25	21	22	21	22	23	18	19
	19	22	25	23	24	24	25	27	26	26	27	25	25	27	23	24	22	19
	26	28	28	30	31	30	30	32	32	34	30	31	33	31	30	28	27	26
	29	28	33	33	33	36	35	40	41	36	35	36	35	34	34	32	29	30
	38	35	43	38	39	43	42	42	46	46	48	45	42	44	41	41	37	36
	46	45	51	50	53	58	51	56	60	53	57	51	52	58	51	45	46	41
	57	57	69	64	63	71	68	75	69	68	72	66	67	66	65	62	54	54
	78	82	86	88	86	85	92	92	92	92	91	84	84	88	84	83	74	62
	100	108	115	109	102	107	111	120	125	114	115	108	102	115	113	110	94	83
	143	160	164	151	133	126	148	160	168	159	148	128	132	156	165	160	129	104
	199	230	228	191	148	138	180	230	244	210	175	132	148	205	231	227	192	121
	285	356	353	263	109	88	201	332	370	314	172	87	127	270	353	350	267	104

Çizelge A.11 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralik 12:00																		
	186	196	185	227	236	233	242	242	225	256	245	258	212	232	223	214	201	178
	203	181	189	189	206	205	210	218	263	207	240	234	223	239	241	216	226	197
	221	206	247	233	244	279	257	258	283	269	279	278	260	266	252	254	206	208
	214	253	274	274	244	282	288	285	297	300	333	297	294	298	280	269	270	256
	305	272	319	354	358	357	382	384	371	363	369	353	378	350	328	338	315	290
	354	365	389	387	400	394	403	389	436	417	421	406	401	397	381	347	339	308
	414	425	480	427	445	476	487	541	491	508	493	523	458	472	456	445	400	392
	3981	3967	4021	553	533	592	4027	4078	4084	4054	587	529	535	4062	4020	4024	505	449
	4142	4155	4145	656	630	674	673	4208	4211	4212	722	673	672	4172	4188	4131	623	553
	4292	4332	4341	852	790	798	873	4394	4405	4377	849	780	833	4351	4365	4319	801	636
	4463	4513	4638	990	931	927	1016	4617	4648	4625	1043	914	915	4554	4567	4551	898	745
	4774	4905	4931	1220	980	1002	1237	4905	4968	4900	1186	984	1108	4796	4917	4856	1161	896
	5090	5324	5385	1532	1005	970	1328	5298	5447	5194	1194	886	1036	5074	5348	5294	1492	849
	5426	5995	5900	1714	679	566	1327	5725	6013	5562	1068	549	768	5360	5969	5911	5237	647

Çizelge A.12 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
	10	11	11	14	15	16	15	16	14	15	14	14	13	14	12	14	13	11
	12	12	14	14	13	16	14	12	14	14	15	16	14	15	15	14	13	14
	14	14	16	18	15	18	17	17	18	17	17	18	17	17	16	15	13	14
	14	16	19	16	19	19	20	22	18	19	20	18	18	20	19	19	17	17
	19	20	21	23	22	23	22	24	24	26	22	23	22	21	21	21	20	18
	23	22	26	22	25	28	26	29	27	27	27	26	26	26	26	24	24	22
	27	28	30	29	29	33	31	34	35	33	35	32	29	33	32	29	28	27
	33	33	34	38	37	39	39	39	42	39	41	41	39	41	36	36	33	32
	43	42	46	45	50	52	50	51	49	52	53	47	50	48	47	44	43	40
	55	60	62	65	60	63	63	65	68	65	67	65	63	65	61	59	54	44
	75	77	85	80	76	74	81	84	87	84	81	71	78	79	83	76	73	58
	107	110	119	106	94	93	103	121	117	116	102	89	94	109	116	113	95	74
	144	163	169	140	104	100	129	160	175	159	122	97	108	151	166	164	135	88
	204	260	250	185	82	66	148	237	263	223	126	62	89	198	258	257	191	77

Çizelge A.13 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	73	76	68	78	78	89	64	98	84	86	88	99	77	85	102	91	87	71
	69	65	81	74	81	99	75	87	95	94	90	93	97	97	84	91	94	92
	81	76	89	80	89	87	89	99	109	103	112	100	106	103	99	101	82	98
	72	86	92	88	100	117	106	112	110	112	128	119	119	129	124	92	112	108
	108	114	115	134	115	123	149	149	132	143	141	145	149	139	131	120	128	115
	118	114	145	128	148	166	145	174	175	184	144	168	169	162	164	157	147	154
	148	139	168	152	170	185	190	213	197	208	201	202	174	213	188	192	201	181
	189	172	195	205	212	202	212	214	246	236	247	235	226	246	232	227	234	226
	226	224	263	271	264	276	263	303	282	307	317	296	280	302	295	280	270	242
	287	317	339	350	351	356	351	371	380	378	392	369	366	374	361	350	342	328
	344	402	446	422	420	446	455	454	477	467	434	440	416	461	459	443	456	413
	473	540	605	567	561	500	531	622	599	624	567	509	2000	554	594	621	538	519
	595	733	839	785	633	500	522	728	852	2304	693	531	506	657	774	2337	766	612
	740	1101	1210	990	549	360	2057	934	1192	1150	760	403	1892	723	1055	1230	1022	601

Çizelge A.14 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	161	170	145	191	198	190	196	191	209	197	204	202	199	155	194	180	170	166
	170	170	191	175	171	192	194	195	183	195	189	214	183	209	166	193	179	162
	163	186	204	200	195	201	209	226	234	231	225	236	208	219	208	217	178	196
	181	199	256	236	260	247	230	292	257	260	264	270	250	283	236	213	227	217
	249	275	280	294	307	305	336	340	308	326	333	313	321	296	288	290	264	265
	307	273	328	358	344	351	368	396	369	373	370	366	353	359	357	341	294	294
	372	338	413	355	361	461	408	469	449	419	472	433	415	429	416	402	398	346
	427	449	464	472	474	566	534	524	588	556	555	518	527	573	502	500	469	427
	575	612	650	619	634	653	627	722	662	677	664	655	648	654	628	620	575	520
	768	826	838	854	763	812	845	865	941	877	830	804	816	846	849	823	754	612
	1035	1068	1177	1040	930	949	1001	1132	1199	1123	1042	946	984	1112	1153	1068	963	763
	7105	7211	7312	7064	1084	1047	1265	7281	7330	7186	1361	1066	1152	1501	7237	7261	7071	1003
	7522	7899	7994	7501	1135	1035	1507	7821	8101	7823	1446	1040	1169	7501	7957	7956	7485	1023
	8069	8911	8805	7898	805	626	1585	8556	9024	8447	1365	631	854	7970	8885	8892	8048	787

Çizelge A.15 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	78	98	105	100	93	104	112	121	103	112	104	103	94	92	79	97	87	73
	103	96	83	96	93	124	108	113	94	99	103	95	98	99	97	86	90	84
	103	95	96	95	109	114	106	94	123	113	115	105	108	106	102	107	96	94
	104	118	141	123	122	153	129	132	134	138	138	124	124	129	121	113	111	106
	145	145	168	170	170	154	146	167	185	160	168	159	160	152	140	131	127	123
	174	158	193	171	184	201	177	203	195	192	182	179	181	175	173	142	144	141
	223	190	219	218	218	246	232	212	219	234	227	214	201	219	197	190	168	161
	265	251	271	262	269	254	276	272	291	269	273	249	252	269	244	222	201	189
	327	322	329	336	322	318	310	351	319	332	357	321	313	311	301	284	257	228
	426	425	409	439	434	397	434	431	438	429	403	414	397	386	387	342	311	280
	520	537	529	491	495	535	537	556	540	514	522	471	510	515	489	436	385	302
	719	691	692	623	580	2455	2539	714	715	646	596	567	600	674	660	608	475	358
	964	2824	2724	708	580	668	819	936	2798	831	644	587	732	888	943	836	641	390
	1324	1436	1174	778	2255	508	944	1332	1332	967	535	2257	667	1161	1415	1186	773	324

Çizelge A.16 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	120	126	131	146	153	162	125	159	146	164	151	151	159	142	148	145	144	121
	129	117	146	131	139	159	130	140	176	145	154	161	155	154	144	156	150	138
	141	127	153	138	145	179	162	146	185	160	179	160	164	160	173	169	155	155
	126	137	171	152	157	184	179	207	194	179	182	184	183	153	151	176	176	167
	178	182	185	171	208	211	196	224	231	227	213	205	225	210	216	213	205	196
	179	178	190	195	231	224	229	253	252	233	254	249	237	240	238	240	222	224
	229	199	250	226	249	284	267	274	293	269	299	274	264	265	279	271	261	247
	244	234	272	265	286	312	315	305	328	324	333	330	308	328	295	294	304	303
	263	285	333	348	332	336	342	351	373	371	357	360	349	354	364	356	338	339
	336	371	384	407	427	428	445	432	463	438	432	447	429	443	428	404	385	363
	393	410	464	460	455	485	485	482	521	484	483	494	486	467	484	462	448	417
	470	507	589	551	544	520	565	597	619	613	566	553	545	541	569	564	531	533
	565	650	752	683	633	553	592	667	719	749	661	624	576	656	678	692	658	583
	700	899	1004	906	640	454	555	787	972	987	780	513	436	658	875	978	894	592

Çizelge A.17 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	210	200	224	242	242	256	265	271	249	276	281	279	243	248	245	214	226	218
	229	192	252	219	217	239	244	237	247	253	256	289	239	268	238	254	222	229
	247	217	227	239	255	313	284	261	323	289	292	289	276	270	280	271	267	243
	230	239	313	273	287	290	297	303	319	324	326	321	307	341	308	300	289	285
	317	324	345	359	384	375	392	344	361	406	401	390	346	384	359	347	333	290
	367	385	407	357	383	435	398	405	425	407	404	441	421	414	401	398	368	361
	394	384	480	418	444	450	463	484	499	497	491	492	462	495	468	451	426	408
	467	441	529	566	517	593	553	597	614	551	553	580	552	580	537	513	497	441
	564	513	652	549	662	677	649	650	655	658	687	635	619	628	621	616	559	502
	683	736	746	764	787	785	785	797	802	818	805	792	729	789	742	705	666	609
	842	820	934	840	832	890	869	977	934	952	937	890	848	917	882	863	775	690
	1065	1101	1195	1007	933	997	1032	1233	1224	1156	1075	926	938	1133	1136	1091	961	799
	1315	1471	1563	1257	1020	1003	1152	1512	1641	1452	1147	928	1029	1381	1568	1531	1251	843
	1830	2303	2255	1635	854	766	1360	2115	2356	1995	1155	717	905	1738	2298	2228	1648	732

Çizelge A.18 : D2 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	138	116	143	148	153	147	147	159	157	158	156	155	145	135	132	127	135	127
	120	118	151	133	128	139	142	139	142	140	140	157	148	144	136	142	137	128
	139	124	161	142	149	185	171	156	139	151	160	174	156	166	159	153	149	138
	135	167	172	152	163	168	172	186	178	175	176	176	162	183	175	161	160	142
	185	197	205	171	213	203	191	228	227	220	223	197	210	205	194	183	181	173
	213	191	222	211	211	227	231	257	241	226	229	241	223	214	212	211	196	191
	235	217	270	247	243	252	255	257	256	267	275	259	267	250	248	240	218	218
	278	265	308	279	300	323	307	326	307	309	312	287	288	294	275	262	256	237
	318	319	366	314	332	350	359	364	365	371	378	368	330	335	313	306	283	273
	399	417	419	448	425	421	419	427	429	422	421	399	413	410	381	350	333	302
	457	458	494	452	470	470	477	505	473	495	509	466	453	470	437	400	362	332
	554	567	605	550	539	553	579	620	622	560	568	504	534	571	541	501	424	372
	684	697	676	618	578	590	669	729	708	638	595	549	618	716	688	635	499	371
	938	999	838	649	416	525	768	958	931	722	502	426	652	891	964	837	589	311

Çizelge A.19 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
	11	11	10	12	10	14	13	14	14	14	12	13	13	12	12	12	12	11
	11	11	12	11	12	15	13	13	12	12	13	14	12	12	13	13	11	12
	13	12	13	12	13	16	15	15	13	14	16	15	15	15	14	13	13	12
	13	14	17	15	14	17	16	18	15	17	17	17	16	17	15	16	15	14
	16	17	17	19	20	20	18	21	18	20	21	20	20	18	18	17	17	17
	19	19	22	19	23	23	24	22	26	24	23	24	23	23	22	21	21	20
	24	22	27	26	26	29	28	32	27	30	29	26	25	29	27	25	23	21
	30	28	30	32	33	35	33	36	34	35	35	34	33	35	32	32	30	28
	37	38	42	41	41	44	41	45	43	42	45	43	42	42	40	39	36	33
	48	51	52	55	54	55	55	57	60	57	56	55	54	58	52	52	47	39
	64	70	69	67	68	67	70	74	77	75	69	63	67	71	70	68	61	52
	92	96	103	93	81	81	91	102	101	98	90	79	85	96	99	99	87	67
	123	145	150	125	85	88	109	142	149	135	108	85	93	129	144	143	122	76
	179	224	221	162	71	60	126	206	230	196	112	56	77	170	223	223	168	65

Çizelge A.20 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık 12:00																		
	112	121	123	134	140	158	160	168	153	169	155	183	166	164	129	157	150	125
	117	116	132	128	138	146	149	138	156	159	133	176	149	159	144	155	164	146
	133	127	131	137	155	182	176	169	193	148	150	184	197	194	184	179	177	165
	132	143	176	166	180	200	185	220	194	205	212	214	218	230	218	225	206	191
	165	181	197	221	234	234	228	242	241	259	272	243	266	229	257	253	223	243
	198	196	237	260	260	291	258	266	287	317	279	282	287	271	279	281	268	279
	263	237	291	258	297	317	325	352	364	345	337	363	330	360	333	341	346	318
	296	294	346	320	362	399	381	379	394	425	418	430	414	440	422	416	412	406
	358	380	434	422	438	479	471	516	3249	3210	502	528	511	496	3223	3231	3221	534
	459	514	553	582	607	603	587	3354	3364	637	624	633	645	3407	3379	688	665	677
	578	641	692	689	704	3487	3446	3509	791	783	779	775	3474	3503	792	828	890	1020
	742	862	970	922	3629	3545	3575	968	1025	984	959	3563	3567	914	1009	1098	1131	3972
	939	1179	1328	3949	3707	3524	859	1121	1334	1384	3869	3647	812	1054	1238	1435	4050	3913
	1136	1692	4620	4313	3547	479	798	1416	1832	4548	3936	591	568	1142	1720	4731	4399	3578

Çizelge A.21 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
	11	10	10	11	12	14	13	13	13	12	13	13	11	11	12	11	12	10
	10	11	10	11	12	13	12	13	12	12	12	13	12	13	12	12	11	11
	12	11	13	13	13	13	13	14	14	14	15	13	14	14	13	14	13	11
	11	13	15	14	15	13	14	15	15	15	17	15	15	16	14	15	14	13
	15	16	16	19	19	19	20	20	18	19	18	20	19	17	17	17	16	14
	17	17	21	19	20	22	21	22	23	21	21	22	21	20	21	21	17	18
	22	21	26	23	24	26	27	26	27	26	27	27	27	25	26	24	22	21
	28	27	26	29	29	34	33	32	33	32	33	32	31	34	31	27	28	25
	36	35	39	37	37	42	39	41	42	42	40	40	41	39	38	35	33	33
	46	49	51	51	49	51	53	53	55	52	53	51	51	52	48	50	44	39
	61	64	69	62	61	61	64	70	72	67	67	59	60	65	67	64	57	47
	85	90	94	86	79	73	82	94	99	94	84	72	79	92	95	89	81	63
	118	132	133	117	91	81	107	133	142	130	98	80	90	122	136	133	114	71
	164	212	204	152	66	55	119	189	214	182	102	51	73	161	210	207	155	64

Çizelge A.22 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	25	26	33	33	37	37	36	33	37	35	35	37	34	33	35	32	30	30
	31	29	36	33	33	39	35	36	40	37	38	40	33	35	37	34	35	27
	32	33	41	39	38	38	40	42	45	42	44	44	42	42	40	38	37	31
	36	36	47	41	44	38	37	48	48	49	50	47	47	50	43	43	42	41
	49	50	54	59	57	56	57	60	58	62	62	62	56	58	54	52	49	43
	52	48	64	62	64	65	64	76	68	73	66	69	65	66	60	63	58	58
	68	66	77	67	73	86	75	83	82	86	82	86	80	84	79	77	71	70
	85	80	90	91	94	99	106	101	111	107	105	95	99	108	96	88	86	81
	109	114	121	116	119	135	123	133	136	128	131	122	120	122	115	109	104	103
	148	155	157	164	155	160	164	169	169	169	171	162	158	170	156	151	140	118
	190	206	216	203	198	197	211	222	230	229	209	195	200	211	222	194	186	154
	265	298	300	287	244	231	261	309	308	296	263	246	250	285	299	280	253	201
	376	438	425	375	269	261	325	414	447	409	310	263	281	387	439	440	373	226
	534	669	669	488	203	175	382	619	689	576	336	168	236	514	672	672	501	197

Çizelge A.23 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	121	113	138	139	166	168	171	180	160	187	178	164	159	161	165	163	157	133
	119	122	147	125	153	185	155	149	161	175	184	191	173	167	168	164	162	155
	140	142	140	145	165	205	184	191	197	190	186	185	196	198	188	191	185	149
	134	154	199	181	188	197	196	196	210	212	251	207	223	219	205	212	207	195
	194	218	223	244	247	262	226	242	270	275	289	254	279	266	254	239	243	230
	199	206	274	253	266	300	278	292	328	331	297	297	298	283	323	290	273	276
	260	263	330	285	317	353	339	350	362	394	368	382	370	374	358	351	346	329
	331	324	376	431	393	442	461	414	505	449	468	433	440	447	417	412	420	414
	417	429	498	503	493	554	525	533	553	580	527	569	521	504	579	531	505	515
	527	581	658	670	681	679	656	666	720	719	736	717	682	740	697	699	671	623
	656	743	831	832	830	876	822	880	902	945	938	855	787	874	859	891	849	804
	900	1063	1269	1151	1089	977	1040	1129	1250	1244	1183	1025	913	1028	1145	1238	1238	1080
	1155	1552	1830	1652	6031	5626	988	1379	1736	1703	6190	5882	5639	1246	1485	1743	1673	5951
	1427	2222	2655	6965	5821	592	996	1860	2479	7284	6400	786	663	1417	2208	2681	7039	5865

Çizelge A.24 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	37	40	40	42	45	43	47	50	35	43	50	41	43	46	45	43	43	34
	38	39	44	40	40	49	43	39	54	36	47	51	43	43	40	42	38	37
	46	41	47	46	48	46	49	52	58	54	56	56	51	52	50	49	47	44
	41	48	57	50	51	54	55	58	60	61	63	58	59	60	58	55	54	50
	60	60	65	66	75	69	76	78	70	79	75	71	75	70	64	61	60	62
	69	65	80	64	79	83	84	87	82	80	78	85	81	87	78	78	71	68
	82	78	105	88	95	109	101	106	96	103	105	101	103	105	97	93	88	83
	103	105	115	115	121	131	125	129	129	136	130	122	122	126	116	100	109	103
	136	132	156	153	152	157	151	166	157	165	165	145	157	147	151	142	132	122
	176	196	198	204	192	195	210	210	206	208	217	198	202	209	201	187	174	149
	245	255	280	253	239	264	258	270	287	273	273	249	253	266	262	242	227	185
	334	339	381	349	307	308	342	383	393	357	348	297	320	372	378	350	310	254
	478	540	543	463	323	324	412	526	570	509	393	313	344	482	531	532	454	280
	653	840	832	603	277	210	468	753	855	722	416	199	296	643	842	834	630	248

Çizelge A.25 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	55	60	63	63	72	73	69	75	69	81	72	72	68	76	69	73	70	73
	56	56	67	58	62	71	70	71	71	73	75	73	75	83	81	80	64	74
	67	60	66	69	68	75	76	76	85	84	91	81	78	91	86	83	87	77
	63	70	86	76	78	104	86	109	104	94	93	96	96	102	94	90	96	88
	89	91	99	107	109	112	97	116	105	123	105	111	120	109	108	107	105	102
	94	90	118	93	115	121	124	129	138	132	125	130	138	126	133	127	122	126
	119	112	139	127	134	153	148	161	159	163	155	157	155	148	155	153	142	146
	143	153	164	162	157	180	169	178	206	186	191	175	183	200	172	169	175	176
	168	162	202	192	226	238	218	236	212	216	210	235	218	219	218	215	214	210
	218	240	254	274	271	274	283	284	293	290	284	290	271	289	289	262	255	239
	265	293	312	329	323	339	337	367	352	358	364	324	314	341	332	334	314	295
	339	382	450	420	391	385	395	451	455	454	453	373	365	415	436	435	402	382
	464	555	603	562	455	410	441	538	632	622	530	425	435	518	561	588	561	438
	594	834	917	773	421	297	433	723	878	863	606	327	304	576	816	916	774	421

Çizelge A.26 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	193	202	222	218	249	241	255	256	254	235	240	265	248	227	234	224	211	202
	218	189	241	212	219	227	231	227	270	241	256	240	258	259	245	234	213	214
	223	216	222	233	241	252	264	269	272	265	261	271	265	258	256	268	221	230
	209	239	291	264	272	284	290	294	302	303	331	301	299	312	301	288	271	272
	292	307	320	339	370	381	375	386	376	369	364	370	337	350	331	316	302	305
	303	311	377	386	349	409	378	433	434	394	393	409	369	389	387	374	338	338
	362	366	410	390	404	467	450	492	485	448	474	410	404	459	430	427	394	393
	438	480	511	475	542	546	512	537	558	523	551	511	493	526	496	501	460	440
	519	498	600	612	559	633	578	645	604	618	609	634	571	613	594	575	539	516
	636	679	713	734	730	730	696	734	744	740	754	731	721	727	687	658	631	579
	753	755	854	801	767	850	804	890	884	880	868	819	797	834	823	789	738	678
	938	992	1097	1001	919	919	946	1087	1098	1077	1018	901	881	950	1038	1012	924	798
	1140	1386	1444	1327	1009	908	1058	1310	1481	1361	1160	947	957	1160	1330	1375	1163	873
	1482	2094	2175	1642	892	720	1129	1758	2177	2030	1269	710	789	1403	1994	2146	1651	791

Çizelge A.27 : D3 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	167	173	166	139	189	204	190	192	178	171	194	185	165	131	162	147	140	140
	150	167	155	144	159	147	165	201	175	155	156	161	160	183	167	157	155	141
	169	164	183	192	184	223	215	206	192	194	197	202	181	195	186	176	163	156
	171	203	227	231	218	244	199	244	242	241	236	208	210	230	206	191	187	155
	241	269	277	288	296	290	288	312	310	307	306	272	278	271	244	228	218	206
	299	324	334	321	319	352	347	336	328	362	321	334	325	300	285	264	253	236
	352	345	403	369	380	382	381	439	431	418	393	418	377	367	346	331	307	283
	440	407	483	457	466	514	474	477	531	488	473	467	445	473	405	386	339	326
	611	583	609	546	565	658	603	594	638	642	624	607	561	555	524	481	445	388
	750	769	762	799	708	747	810	775	814	771	767	768	751	781	684	648	564	445
	1013	962	937	912	897	1013	946	1021	963	920	939	895	930	989	929	844	673	538
	1437	1344	1253	1084	5295	5340	1273	1379	1283	1111	5370	5282	5444	1387	1274	1051	885	609
	2035	1834	1617	1213	1045	5431	5837	1929	1707	1436	1001	5235	5580	6012	1761	1549	1099	634
	6795	6949	2190	1389	587	836	6100	6793	2532	1755	878	623	5480	6580	6875	2210	1380	534

Çizelge A.28 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
	5	4	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	6
	6	4	7	6	6	7	6	6	6	6	7	6	7	7	6	6	6	6
	5	5	7	6	6	7	7	7	8	7	8	8	7	7	7	6	6	6
	7	8	8	9	9	8	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	7	7
	8	7	8	8	10	9	9	9	9	9	10	10	9	9	9	9	8	8
	9	9	11	10	10	12	11	12	11	11	11	10	11	11	11	11	10	9
	13	13	13	12	14	15	17	16	15	15	15	17	15	14	14	12	12	14
	19	17	22	20	22	19	22	25	23	24	23	23	24	22	23	22	19	17
	28	31	33	35	36	33	32	36	35	36	36	33	32	34	32	32	28	31
	42	44	48	48	48	50	51	46	50	49	49	48	44	51	48	46	42	38
	66	71	76	67	63	65	66	77	74	75	70	59	65	72	73	73	63	52
	99	112	115	98	73	71	95	112	123	114	86	72	79	106	120	113	93	59
	156	192	189	140	67	55	113	175	198	169	105	52	73	148	190	189	145	64

Çizelge A.29 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralik 12:00																		
	22	27	24	27	30	30	27	28	33	32	35	29	29	31	25	26	22	24
	25	26	29	20	21	33	23	24	23	24	25	25	25	31	30	28	26	22
	26	20	34	35	24	37	31	38	29	29	30	30	36	31	30	33	31	28
	22	24	38	27	29	42	31	32	34	34	35	34	33	41	39	34	35	34
	39	40	44	46	47	47	50	50	50	48	49	49	47	44	43	41	41	37
	46	33	50	37	40	54	42	57	46	47	47	55	54	51	53	47	46	43
	52	43	69	49	51	67	52	68	70	63	58	54	53	62	69	57	53	69
	66	100	103	81	115	107	111	117	112	117	93	98	96	77	111	66	79	58
	183	189	203	199	191	214	169	186	198	223	191	201	196	201	210	169	161	143
	304	310	308	301	315	316	315	323	361	327	314	289	324	311	317	303	268	209
	419	463	469	459	422	429	440	520	488	483	455	411	412	457	452	424	361	344
	608	657	697	594	514	511	615	711	742	688	603	507	497	647	703	707	564	425
	846	1009	1028	817	584	538	736	973	1047	906	685	560	608	890	1019	967	776	450
	1226	1531	1474	1071	461	374	858	1385	1560	1301	741	344	514	1137	1524	1483	1126	444

Çizelge A.30 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
	6	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6
	6	6	7	7	7	8	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7
	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8
	8	9	9	9	10	10	10	11	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9
	9	10	11	11	11	11	11	11	12	11	11	12	11	11	11	10	10	10
	11	11	12	12	12	14	14	13	13	13	13	13	13	12	12	13	11	11
	14	14	17	16	19	19	19	18	18	18	18	16	17	16	13	15	13	19
	23	22	23	23	24	23	24	25	26	26	24	25	22	23	23	24	21	21
	28	34	34	33	35	34	35	35	34	35	36	34	34	35	33	31	28	26
	43	48	48	48	47	49	50	51	53	49	46	48	48	44	49	45	43	34
	66	72	74	70	64	61	70	79	76	71	66	58	64	70	73	71	62	53
	98	112	113	99	74	68	90	109	116	106	82	73	73	100	116	111	92	67
	150	184	179	132	64	57	110	170	187	160	94	53	70	142	186	185	137	62

Çizelge A.31 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	14	13	12	16	9	16	16	16	17	15	17	14	14	16	15	14	14	10
	12	13	14	11	11	17	13	16	13	13	16	15	14	17	16	15	13	16
	14	12	18	13	14	14	15	16	16	16	16	16	15	17	17	17	14	14
	12	14	19	15	16	22	17	18	18	18	19	18	18	20	19	17	17	16
	20	20	21	24	24	24	26	25	25	26	25	25	25	22	22	21	20	21
	22	19	26	20	23	28	25	30	30	25	24	26	24	28	26	25	24	24
	24	22	31	33	26	35	28	28	33	31	31	32	31	32	30	29	30	26
	34	40	40	40	40	50	39	47	45	38	45	42	40	39	42	43	39	42
	56	48	65	64	65	70	72	71	69	67	71	69	57	70	67	57	56	50
	82	96	98	102	94	102	105	100	104	103	100	101	102	105	96	96	81	85
	124	130	146	135	135	148	151	157	149	138	146	134	139	150	144	134	124	84
	189	207	227	209	186	192	206	227	235	221	198	184	185	217	223	216	176	150
	281	339	363	308	222	219	284	330	373	340	260	213	235	322	336	337	279	176
	471	582	574	420	200	163	344	534	594	518	295	148	227	450	574	577	433	180

Çizelge A.32 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	49	56	52	57	58	64	62	65	63	64	63	67	58	61	63	56	53	49
	53	57	65	47	51	74	54	74	58	59	58	57	57	68	67	63	58	51
	61	58	73	57	60	84	64	67	67	68	85	70	69	81	76	71	66	66
	51	57	84	67	66	97	77	76	79	80	81	81	81	91	88	82	78	72
	82	92	97	103	106	107	112	112	111	112	111	107	109	102	99	94	91	83
	93	107	113	92	94	100	103	105	128	107	108	107	122	121	116	112	104	98
	120	97	143	121	149	149	129	121	130	134	147	123	128	143	140	133	123	115
	133	167	209	192	172	234	155	195	238	184	218	199	180	227	205	144	178	169
	293	295	296	257	316	265	335	356	361	360	348	312	345	321	326	284	291	263
	427	494	492	541	477	503	505	521	508	522	534	486	451	526	501	490	455	412
	637	751	795	707	659	639	679	815	805	761	729	663	654	736	784	756	645	566
	982	6526	6597	6403	861	799	964	6514	6673	6526	995	784	822	1059	6540	6457	6375	636
	1412	7087	7108	6789	947	871	1228	6990	7275	7022	1228	893	896	1512	7143	7142	6828	766
	7338	8017	7985	7315	738	577	1313	7705	8097	7740	1203	567	801	7255	8012	8026	7320	695

Çizelge A.33 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	15	19	17	18	16	20	19	18	20	20	16	18	17	20	19	21	17	14
	15	16	18	16	14	15	15	21	16	14	20	19	18	20	17	19	16	19
	17	15	21	16	17	23	18	23	24	19	20	20	20	22	21	21	20	19
	14	15	22	18	19	18	19	22	26	22	26	23	23	25	23	23	22	18
	23	25	25	27	29	30	30	31	31	31	31	30	30	28	27	27	26	24
	27	22	31	32	27	28	29	29	37	31	30	31	27	33	32	29	26	29
	43	29	38	29	34	42	40	36	39	38	38	43	32	39	37	38	33	32
	42	47	47	43	56	52	52	57	62	54	60	51	50	47	45	48	51	43
	73	74	75	72	79	85	88	85	95	93	86	88	80	85	79	77	71	73
	113	117	121	125	125	124	124	126	124	134	130	128	122	124	122	104	106	113
	163	169	188	163	159	178	185	179	193	182	180	170	170	174	171	169	147	134
	243	258	272	252	236	222	252	276	302	285	244	231	233	272	264	259	217	160
	382	417	441	369	281	266	342	415	462	413	335	253	285	381	427	417	335	229
	590	720	697	530	250	205	414	643	735	625	359	198	250	562	712	715	523	234

Çizelge A.34 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	30	34	32	43	35	40	42	40	41	40	46	41	35	37	36	44	31	33
	34	35	40	31	30	31	32	34	36	36	36	46	37	37	38	40	37	34
	40	32	46	37	38	51	41	49	42	42	43	42	43	48	46	44	42	33
	31	37	48	40	43	59	48	62	49	49	50	49	48	57	47	51	47	47
	53	56	60	65	67	65	69	70	68	69	69	66	66	64	53	58	57	51
	58	51	69	58	61	65	65	64	79	70	79	67	67	72	71	66	63	57
	67	61	83	71	96	78	80	81	84	87	88	84	82	89	81	80	74	91
	90	82	99	101	112	123	105	131	121	104	119	126	104	107	109	97	104	145
	124	144	154	166	157	154	179	179	177	156	179	188	172	187	172	146	138	203
	176	206	215	236	242	246	250	266	274	260	238	243	248	246	248	240	229	239
	254	268	316	316	327	341	298	328	365	362	356	326	330	356	348	315	318	249
	344	396	488	479	459	436	430	487	516	510	471	450	425	464	480	483	488	402
	491	609	739	700	604	494	486	624	736	740	655	543	503	584	659	705	733	552
	701	998	1163	1046	666	355	531	866	1121	1185	882	467	419	679	989	1184	1117	583

Çizelge A.35 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	31	34	33	37	37	35	37	41	43	41	42	41	30	38	39	36	32	30
	31	35	39	30	31	44	33	45	34	35	36	45	36	43	40	39	36	36
	36	31	44	36	48	40	40	50	41	41	41	41	42	45	46	42	40	37
	32	35	51	41	42	58	46	47	47	49	50	49	49	53	53	51	48	43
	49	54	58	62	65	66	66	68	68	68	64	67	65	62	58	55	54	56
	54	49	67	55	59	74	76	77	79	67	68	65	65	70	71	67	62	62
	62	67	80	84	71	89	74	91	78	79	89	81	77	86	81	75	77	70
	83	81	100	92	89	106	105	106	111	101	112	113	108	116	109	97	91	74
	128	116	143	147	136	157	145	156	150	158	143	154	122	151	133	140	127	116
	173	196	199	207	205	206	202	215	225	211	218	214	206	211	204	198	181	179
	249	279	298	293	276	277	280	306	330	297	310	272	273	297	294	284	255	210
	402	453	464	392	336	347	399	481	505	450	399	333	384	444	453	460	362	283
	642	749	796	638	429	407	589	755	827	718	535	386	461	671	794	793	630	355
	1082	1429	1384	980	368	305	734	1286	1464	1254	629	290	420	1028	1431	1404	1010	394

Çizelge A.36 : D4 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	29	34	36	37	42	44	39	43	41	44	41	43	46	36	47	34	36	43
	35	37	40	30	32	46	33	34	35	34	45	37	37	48	41	43	39	39
	44	30	46	51	39	53	41	51	42	42	45	42	44	49	50	45	44	36
	32	34	54	43	43	46	48	63	63	51	52	62	49	59	57	54	51	49
	48	57	62	62	66	69	70	71	71	72	71	69	69	65	60	61	57	53
	48	68	73	58	62	76	78	69	69	85	80	68	68	73	74	72	64	70
	71	60	83	74	95	95	81	77	97	81	94	87	78	94	84	85	83	82
	110	87	109	89	95	114	106	113	126	111	121	121	116	111	107	100	100	111
	152	151	151	186	161	190	193	180	189	189	191	172	165	177	156	151	139	121
	232	214	255	275	246	266	264	255	239	272	264	244	255	252	233	210	183	162
	350	340	341	311	343	380	366	372	368	349	351	337	332	347	308	303	254	231
	541	496	499	442	445	459	487	523	528	499	461	418	499	513	477	434	329	265
	804	729	679	575	492	588	660	762	750	641	547	517	632	741	745	640	491	299
	1213	1212	982	655	428	580	1026	1214	1128	814	485	318	669	1135	1218	1013	647	273

Çizelge A.37 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralik 08:00																		
	6	6	6	6	7	7	6	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	7
	7	6	8	6	6	8	6	9	7	7	7	7	8	7	8	7	7	7
	7	6	6	6	7	8	7	6	9	8	9	8	8	8	8	7	8	6
	7	7	8	9	8	11	9	10	9	9	9	9	9	9	9	8	8	9
	10	8	11	11	10	11	10	12	10	12	10	11	10	10	10	11	11	10
	12	7	11	11	11	12	11	12	13	11	10	13	13	12	13	12	12	11
	13	10	15	14	13	14	14	15	13	13	13	15	14	14	14	14	13	12
	13	14	17	17	17	18	18	17	19	18	19	18	17	18	14	16	16	15
	18	20	21	20	22	20	21	23	21	23	23	19	19	21	20	20	17	17
	25	27	25	30	28	29	28	30	31	29	29	30	26	28	26	26	24	21
	32	32	36	30	34	37	37	39	39	34	37	31	33	34	33	31	27	27
	41	42	46	42	45	41	44	52	47	46	45	39	40	46	48	43	37	32
	62	68	68	53	44	45	49	72	80	64	55	48	49	65	69	71	55	38
	85	121	120	75	39	37	62	99	128	100	54	36	42	83	124	117	79	34

Çizelge A.38 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralik 12:00																		
	78	86	74	82	97	107	89	96	96	94	88	94	90	99	91	90	82	88
	72	80	80	64	79	92	93	69	95	95	96	94	94	90	94	101	98	91
	91	80	92	79	99	123	105	98	103	104	115	113	106	103	100	103	103	98
	87	81	120	97	112	120	100	138	143	110	127	126	122	94	93	98	113	108
	122	113	126	146	146	144	114	140	146	164	166	152	159	154	124	142	133	125
	156	134	145	139	115	181	159	182	171	175	190	174	174	168	171	164	162	141
	170	158	189	169	175	222	180	182	220	196	212	199	191	216	193	158	190	174
	216	192	228	234	221	235	237	229	229	250	268	265	246	243	182	207	221	207
	265	249	306	306	289	305	280	328	312	327	345	307	269	281	308	304	249	260
	349	371	363	355	355	377	385	409	418	400	381	401	359	391	385	380	343	293
	448	455	476	457	442	443	456	487	536	507	457	416	408	469	474	457	409	351
	3487	3544	3569	3477	553	496	530	3555	3586	3566	537	457	487	3507	3517	3521	3399	420
	3660	3829	3861	3571	481	494	581	3745	3921	3735	612	487	517	3685	3830	3852	3638	432
	3889	4310	4232	3750	381	353	669	4108	4344	4033	546	331	414	3840	4295	4295	3819	353

Çizelge A.39 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
	6	6	6	6	6	8	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6	6
	6	5	7	6	7	7	7	6	8	7	8	8	7	6	6	7	7	6
	7	6	7	8	7	7	7	7	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7
	7	7	9	8	8	10	8	9	9	9	10	10	9	9	9	9	8	8
	9	9	8	10	10	11	9	11	9	11	11	11	9	11	9	9	10	9
	10	9	11	11	13	12	11	14	11	12	12	13	12	12	11	12	11	10
	12	11	13	13	13	12	14	13	13	14	15	15	13	14	13	13	13	12
	14	14	15	15	17	17	16	16	17	17	16	16	15	18	16	16	14	15
	16	20	20	18	20	21	18	23	21	22	24	22	20	21	20	18	17	19
	25	24	25	25	27	27	29	29	28	27	26	26	26	27	25	24	25	21
	29	30	33	32	30	36	33	33	34	33	36	31	32	33	31	29	26	25
	38	45	45	43	39	42	40	51	50	45	43	39	41	44	44	42	37	33
	56	61	66	51	45	45	51	63	78	60	51	40	44	60	66	67	51	37
	83	113	112	73	37	36	60	99	121	93	53	31	39	76	114	115	77	35

Çizelge A.40 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	14	18	17	19	21	19	14	21	19	21	20	22	20	19	16	18	20	16
	14	16	21	19	17	25	15	18	17	17	21	22	20	20	18	18	20	19
	20	18	17	18	17	24	19	22	18	18	24	23	21	20	21	23	23	22
	17	22	25	20	18	21	21	25	29	24	30	23	22	28	22	25	19	21
	27	27	26	28	19	31	27	32	29	33	29	33	33	27	26	29	27	25
	30	35	34	29	32	35	35	34	38	38	37	32	32	36	37	34	27	29
	38	33	42	32	32	40	39	38	45	45	44	38	39	45	41	35	39	36
	40	36	49	45	45	55	48	57	55	50	50	49	49	51	50	47	42	39
	56	50	61	52	60	72	57	66	61	66	68	62	59	62	62	56	54	55
	72	74	82	88	80	81	89	89	90	89	89	81	80	83	79	74	72	59
	95	96	106	94	93	106	97	104	106	105	107	107	103	103	95	91	81	78
	122	136	144	129	128	116	128	146	161	140	141	124	118	140	131	143	113	101
	174	210	225	171	143	144	153	197	227	186	170	131	139	191	206	204	159	115
	258	386	357	230	120	111	183	312	387	297	167	105	130	246	381	369	241	102

Çizelge A.41 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	69	88	74	96	106	121	97	98	103	114	111	107	102	88	94	96	90	85
	83	81	97	95	67	87	88	106	79	86	93	90	103	100	82	93	85	97
	90	83	97	98	104	126	106	98	106	107	122	103	103	101	98	117	90	96
	100	76	134	103	107	98	98	142	147	108	107	141	113	137	133	129	118	98
	127	143	139	158	122	161	161	176	140	142	155	174	170	167	143	149	152	121
	137	138	179	158	165	206	168	173	181	191	199	213	169	167	178	172	181	157
	183	163	216	179	179	216	209	233	213	207	205	214	205	217	204	204	204	191
	227	204	233	229	236	269	265	285	259	278	278	282	239	278	230	216	243	204
	285	309	240	256	365	353	320	351	367	314	347	296	324	320	317	291	276	256
	370	389	404	453	418	422	446	450	448	460	460	436	408	418	384	397	386	345
	465	520	564	510	458	498	494	541	582	566	565	510	507	540	573	514	465	386
	617	718	812	617	558	567	645	770	853	730	635	510	527	714	795	700	628	508
	872	1170	1206	868	665	591	695	1091	1244	1012	785	561	645	897	1114	1140	844	556
	1184	1851	1804	1130	472	403	778	1561	1901	1534	737	390	482	1164	1822	1872	1190	435

Çizelge A.42 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	19	21	18	23	25	22	24	25	24	20	26	27	24	20	20	23	17	19
	18	13	18	18	16	28	18	29	28	23	25	22	20	20	19	24	20	23
	22	22	28	24	25	27	23	23	26	26	32	30	27	26	22	29	26	24
	22	22	33	17	31	31	31	33	31	29	31	28	28	35	31	32	28	25
	31	32	32	38	41	35	35	37	36	42	38	43	42	35	32	33	33	29
	35	33	46	34	44	43	44	41	45	42	45	40	42	42	43	42	37	36
	35	35	50	41	47	59	51	53	52	49	58	47	46	52	49	40	51	40
	54	51	58	58	55	62	59	56	71	59	64	65	57	64	60	59	55	50
	62	65	65	74	74	83	75	80	90	77	77	83	69	73	71	69	68	68
	87	98	99	102	93	101	111	106	108	114	106	105	95	102	95	85	86	67
	101	111	129	118	117	136	126	135	141	128	128	115	121	138	122	121	108	95
	149	161	178	160	151	153	158	182	194	174	161	148	155	179	175	169	141	127
	214	264	260	216	175	163	189	263	288	233	202	177	175	225	277	229	184	142
	320	450	448	285	155	135	232	402	462	379	197	136	161	309	458	467	293	136

Çizelge A.43 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	43	47	52	53	50	60	54	56	58	68	54	65	61	61	59	53	57	68
	46	34	47	37	52	59	56	55	45	43	51	58	59	62	73	64	57	50
	45	48	49	51	63	73	60	54	55	60	66	70	63	61	72	66	73	59
	50	51	59	65	67	81	66	73	61	72	82	69	68	77	92	89	72	76
	73	65	70	83	93	74	75	99	80	100	94	92	75	98	89	86	101	96
	77	69	99	80	88	108	106	106	125	93	94	119	110	113	111	107	107	120
	93	81	114	108	98	132	102	119	139	125	126	128	110	129	128	135	133	125
	116	104	132	128	135	153	136	150	144	160	166	169	138	161	168	145	153	165
	129	158	164	182	173	186	179	198	227	195	216	215	194	195	186	180	166	195
	183	201	218	232	239	247	205	239	250	220	248	263	241	251	236	259	227	214
	227	218	265	279	279	307	295	287	337	315	308	284	273	270	295	294	281	289
	287	320	391	378	354	361	378	379	429	435	385	381	313	383	371	391	370	358
	368	491	624	491	496	387	415	502	613	573	499	415	355	463	498	583	514	436
	470	795	921	779	462	294	380	660	895	885	587	346	264	472	806	952	764	420

Çizelge A.44 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	147	155	151	165	159	176	186	187	181	185	186	188	150	152	169	161	160	137
	148	151	169	140	155	187	161	167	173	157	198	176	170	179	180	177	147	150
	166	150	197	160	166	214	191	186	195	185	187	193	195	205	200	187	163	166
	150	169	231	179	188	240	209	250	202	225	242	221	220	230	212	214	203	190
	215	241	243	253	272	281	239	292	263	287	273	286	280	253	254	247	236	222
	262	223	280	287	265	305	279	333	327	297	313	274	272	293	267	276	263	261
	286	257	323	307	310	376	324	341	341	349	373	330	326	347	339	320	305	290
	339	336	365	360	389	431	372	423	445	425	410	428	409	413	386	359	357	311
	406	429	471	416	443	469	483	532	516	459	510	482	454	483	449	437	413	399
	499	532	523	576	553	575	556	597	602	607	605	578	555	568	539	531	505	441
	601	618	683	648	659	660	667	666	712	699	693	664	639	649	649	617	568	517
	775	832	879	836	735	728	799	863	916	839	753	713	767	800	877	809	709	578
	941	1098	1145	953	779	747	893	1100	1194	1050	852	708	795	994	1121	1109	924	601
	1190	1583	1619	1169	606	546	952	1460	1677	1390	816	525	656	1172	1641	1585	1147	537

Çizelge A.45 : D5 senaryosu için elde edilen günışığı aydınlığı (lux) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	53	49	56	61	57	71	63	56	57	55	54	57	50	58	56	50	51	43
	58	58	60	49	43	78	57	50	63	50	55	68	51	49	59	57	57	50
	65	63	75	56	58	78	70	66	81	51	64	69	56	71	68	62	57	56
	65	80	62	64	63	69	73	75	69	70	69	71	66	77	72	53	51	64
	68	92	87	88	71	81	106	97	84	96	101	99	94	96	79	81	75	64
	101	99	94	115	121	99	101	118	129	105	107	112	102	109	95	98	88	85
	106	112	130	118	113	132	134	132	127	115	112	105	108	115	114	108	104	102
	147	135	151	156	151	146	155	147	168	139	156	129	143	152	138	122	123	111
	154	176	202	196	178	198	197	208	176	190	203	188	182	169	172	121	144	143
	259	243	239	239	255	258	278	266	266	265	246	245	242	234	219	193	161	163
	325	309	308	289	273	337	317	317	331	290	313	297	291	301	253	246	213	179
	394	389	427	369	352	377	409	457	388	376	377	349	389	410	371	318	266	215
	586	567	530	414	381	472	512	608	605	460	423	394	487	606	590	468	369	245
	870	946	772	469	256	394	670	923	911	615	341	318	503	842	991	797	462	208

EK B: Saatlik sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi sonuçları

Çizelge B.1 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
0,08	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09
0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,17	0,16	0,13
0,21	0,23	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,25	0,26	0,25	0,23	0,21	0,22	0,24	0,23	0,23	0,20	0,17
0,31	0,32	0,34	0,31	0,27	0,27	0,30	0,34	0,34	0,33	0,30	0,26	0,28	0,32	0,33	0,33	0,29	0,22
0,41	0,48	0,50	0,42	0,28	0,29	0,36	0,47	0,50	0,45	0,36	0,28	0,31	0,43	0,48	0,48	0,41	0,25
0,60	0,75	0,74	0,54	0,24	0,20	0,42	0,69	0,77	0,65	0,37	0,19	0,26	0,57	0,74	0,74	0,56	0,22

Çizelge B.2 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık 12:00																		
0,60	0,66	0,61	0,71	0,67	0,74	0,76	0,70	0,72	0,65	0,78	0,78	0,72	0,75	0,75	0,70	0,61	0,60
0,62	0,63	0,77	0,71	0,69	0,77	0,72	0,78	0,84	0,81	0,64	0,84	0,75	0,75	0,64	0,70	0,65	0,68
0,72	0,62	0,76	0,73	0,76	0,90	0,84	0,81	0,70	0,86	0,86	0,86	0,84	0,85	0,82	0,77	0,74	0,69
0,71	0,74	0,90	0,80	0,86	1,00	0,95	0,93	0,79	0,92	0,97	0,96	0,89	1,00	0,88	0,86	0,77	0,79
0,86	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,91
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.3 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	
0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	
0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	
0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	
0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	
0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	
0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	
0,15	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,15	0,13	
0,20	0,21	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21	0,23	0,24	0,22	0,22	0,20	0,20	0,22	0,22	0,21	0,19	0,16	
0,28	0,30	0,31	0,29	0,26	0,24	0,27	0,31	0,33	0,31	0,28	0,24	0,26	0,31	0,32	0,30	0,27	0,21	
0,39	0,44	0,44	0,39	0,30	0,27	0,36	0,44	0,47	0,43	0,33	0,27	0,30	0,41	0,45	0,44	0,38	0,24	
0,55	0,71	0,68	0,51	0,22	0,18	0,40	0,63	0,71	0,61	0,34	0,17	0,24	0,54	0,70	0,69	0,52	0,21	

Çizelge B.4 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	
0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,09	
0,11	0,11	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10	
0,12	0,12	0,16	0,14	0,15	0,13	0,12	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	
0,16	0,17	0,18	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	
0,17	0,16	0,21	0,21	0,21	0,22	0,21	0,25	0,23	0,24	0,22	0,23	0,22	0,22	0,20	0,21	0,19	0,19	
0,23	0,22	0,26	0,22	0,24	0,29	0,25	0,28	0,27	0,29	0,27	0,29	0,27	0,28	0,26	0,26	0,24	0,23	
0,28	0,27	0,30	0,30	0,31	0,33	0,35	0,34	0,37	0,36	0,35	0,32	0,33	0,36	0,32	0,29	0,29	0,27	
0,36	0,38	0,40	0,39	0,40	0,45	0,41	0,44	0,45	0,43	0,44	0,41	0,40	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34	
0,49	0,52	0,52	0,55	0,52	0,53	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,54	0,53	0,57	0,52	0,50	0,47	0,39	
0,63	0,69	0,72	0,68	0,66	0,66	0,70	0,74	0,77	0,76	0,70	0,65	0,67	0,70	0,74	0,65	0,62	0,51	
0,88	0,99	1,00	0,96	0,81	0,77	0,87	1,00	1,00	0,99	0,88	0,82	0,83	0,95	1,00	0,93	0,84	0,67	
1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	
1,00	1,00	1,00	1,00	0,68	0,58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,56	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	

Çizelge B.5 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00	0,61	0,63	0,66	0,69	0,76	0,69	0,69	0,80	0,69	0,67	0,67	0,80	0,57	0,72	0,57	0,63	0,66	0,63
	0,64	0,54	0,68	0,56	0,64	0,69	0,71	0,85	0,72	0,70	0,66	0,81	0,58	0,74	0,58	0,70	0,66	0,59
	0,67	0,61	0,67	0,69	0,71	0,89	0,85	0,80	0,77	0,78	0,86	0,84	0,76	0,68	0,67	0,78	0,68	0,71
	0,62	0,71	0,90	0,84	0,83	0,91	0,92	0,92	0,91	0,95	0,99	0,94	0,90	0,99	0,98	0,89	0,83	0,81
	0,94	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,83
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.6 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,16	0,17	0,12	0,14	0,17	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,11
	0,13	0,13	0,15	0,13	0,13	0,16	0,14	0,13	0,18	0,12	0,16	0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,12
	0,15	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
	0,14	0,16	0,19	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,19	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17
	0,20	0,20	0,22	0,22	0,25	0,23	0,25	0,26	0,23	0,26	0,25	0,24	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21
	0,23	0,22	0,27	0,21	0,26	0,28	0,28	0,29	0,27	0,27	0,26	0,28	0,27	0,29	0,26	0,26	0,24	0,23
	0,27	0,26	0,35	0,29	0,32	0,36	0,34	0,35	0,32	0,34	0,35	0,34	0,34	0,35	0,32	0,31	0,29	0,28
	0,34	0,35	0,38	0,38	0,40	0,44	0,42	0,43	0,43	0,45	0,43	0,41	0,41	0,42	0,39	0,33	0,36	0,34
	0,45	0,44	0,52	0,51	0,51	0,52	0,50	0,55	0,52	0,55	0,55	0,48	0,52	0,49	0,50	0,47	0,44	0,41
	0,59	0,65	0,66	0,68	0,64	0,65	0,70	0,70	0,69	0,69	0,72	0,66	0,67	0,70	0,67	0,62	0,58	0,50
	0,82	0,85	0,93	0,84	0,80	0,88	0,86	0,90	0,96	0,91	0,91	0,83	0,84	0,89	0,87	0,81	0,76	0,62
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83

Çizelge B.7 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00	0,27	0,29	0,31	0,23	0,27	0,35	0,31	0,38	0,31	0,40	0,39	0,30	0,32	0,34	0,38	0,38	0,33	0,36
	0,27	0,24	0,25	0,28	0,28	0,30	0,31	0,37	0,35	0,30	0,31	0,37	0,35	0,37	0,33	0,30	0,38	0,33
	0,31	0,28	0,30	0,32	0,32	0,42	0,39	0,37	0,36	0,36	0,43	0,40	0,41	0,41	0,30	0,42	0,32	0,38
	0,26	0,28	0,39	0,36	0,38	0,43	0,42	0,51	0,42	0,45	0,48	0,47	0,41	0,52	0,49	0,49	0,45	0,42
	0,40	0,42	0,43	0,50	0,50	0,51	0,55	0,57	0,59	0,56	0,51	0,56	0,59	0,58	0,58	0,52	0,53	0,43
	0,40	0,42	0,52	0,56	0,54	0,57	0,55	0,67	0,68	0,68	0,58	0,59	0,60	0,59	0,63	0,61	0,56	0,61
	0,52	0,50	0,66	0,62	0,65	0,75	0,68	0,72	0,73	0,78	0,75	0,67	0,74	0,84	0,75	0,70	0,78	0,71
	0,66	0,67	0,77	0,85	0,78	0,96	0,92	0,86	0,92	0,92	0,91	0,91	0,96	0,94	0,92	0,85	0,89	0,86
	0,77	0,82	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.8 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00	0,66	0,75	0,82	0,85	0,88	0,89	0,90	0,93	0,93	0,94	0,82	0,90	0,81	0,83	0,80	0,80	0,70	0,71
	0,68	0,59	0,85	0,75	0,74	0,94	0,77	0,78	0,98	0,77	0,93	0,87	0,85	0,92	0,86	0,85	0,80	0,76
	0,82	0,72	0,89	0,83	0,84	0,82	0,80	0,79	1,00	0,93	1,00	0,94	0,96	1,00	0,99	0,82	0,86	0,81
	0,75	0,82	1,00	0,87	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,84
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.9 : D1 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
0,34	0,35	0,30	0,39	0,39	0,37	0,36	0,38	0,38	0,38	0,31	0,38	0,34	0,32	0,27	0,30	0,29	0,28
0,34	0,32	0,30	0,38	0,39	0,44	0,34	0,34	0,36	0,35	0,33	0,31	0,32	0,33	0,27	0,30	0,27	0,28
0,39	0,37	0,38	0,39	0,41	0,44	0,42	0,39	0,45	0,37	0,37	0,39	0,37	0,40	0,38	0,36	0,33	0,30
0,39	0,43	0,52	0,46	0,45	0,45	0,46	0,54	0,51	0,44	0,49	0,41	0,42	0,46	0,40	0,37	0,32	0,34
0,52	0,55	0,51	0,53	0,61	0,53	0,62	0,50	0,58	0,61	0,55	0,57	0,54	0,51	0,47	0,40	0,43	0,40
0,61	0,57	0,72	0,52	0,69	0,62	0,62	0,73	0,67	0,60	0,66	0,62	0,65	0,56	0,56	0,53	0,48	0,46
0,77	0,70	0,81	0,79	0,75	0,86	0,79	0,85	0,78	0,79	0,79	0,74	0,68	0,74	0,66	0,62	0,59	0,54
0,91	0,90	0,89	0,91	0,91	0,94	0,91	0,91	1,00	0,92	0,96	0,87	0,90	0,89	0,78	0,74	0,69	0,61
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,85	0,83	0,74
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98

Çizelge B.10 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05
0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06
0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06
0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06
0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
0,10	0,09	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
0,13	0,12	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,12	0,12
0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,19	0,17	0,19	0,20	0,18	0,19	0,17	0,17	0,19	0,17	0,15	0,15	0,14
0,19	0,19	0,23	0,21	0,21	0,24	0,23	0,25	0,23	0,23	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,18	0,18
0,26	0,27	0,29	0,29	0,29	0,28	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,25	0,21
0,33	0,36	0,38	0,36	0,34	0,36	0,37	0,40	0,42	0,38	0,38	0,36	0,34	0,38	0,38	0,37	0,31	0,28
0,48	0,53	0,55	0,50	0,44	0,42	0,49	0,53	0,56	0,53	0,49	0,43	0,44	0,52	0,55	0,53	0,43	0,35
0,66	0,77	0,76	0,64	0,49	0,46	0,60	0,77	0,81	0,70	0,58	0,44	0,49	0,68	0,77	0,76	0,64	0,40
0,95	1,00	1,00	0,88	0,36	0,29	0,67	1,00	1,00	1,00	0,57	0,29	0,42	0,90	1,00	1,00	0,89	0,35

Çizelge B.11 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık 12:00																		
	0,62	0,65	0,62	0,76	0,79	0,78	0,81	0,81	0,75	0,85	0,82	0,86	0,71	0,77	0,74	0,71	0,67	0,59
	0,68	0,60	0,63	0,63	0,69	0,68	0,70	0,73	0,88	0,69	0,80	0,78	0,74	0,80	0,80	0,72	0,75	0,66
	0,74	0,69	0,82	0,78	0,81	0,93	0,86	0,86	0,94	0,90	0,93	0,93	0,87	0,89	0,84	0,85	0,69	0,69
	0,71	0,84	0,91	0,91	0,81	0,94	0,96	0,95	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	0,99	0,93	0,90	0,90	0,85
	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.12 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralık 16:00																		
	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04
	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05
	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07
	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09
	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,12	0,12	0,11	0,11
	0,14	0,14	0,15	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,16	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
	0,18	0,20	0,21	0,22	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,20	0,20	0,18	0,15
	0,25	0,26	0,28	0,27	0,25	0,25	0,27	0,28	0,29	0,28	0,27	0,24	0,26	0,26	0,28	0,25	0,24	0,19
	0,36	0,37	0,40	0,35	0,31	0,31	0,34	0,40	0,39	0,39	0,34	0,30	0,31	0,36	0,39	0,38	0,32	0,25
	0,48	0,54	0,56	0,47	0,35	0,33	0,43	0,53	0,58	0,53	0,41	0,32	0,36	0,50	0,55	0,55	0,45	0,29
	0,68	0,87	0,83	0,62	0,27	0,22	0,49	0,79	0,88	0,74	0,42	0,21	0,30	0,66	0,86	0,86	0,64	0,26

Çizelge B.13 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	0,24	0,25	0,23	0,26	0,26	0,30	0,21	0,33	0,28	0,29	0,29	0,33	0,26	0,28	0,34	0,30	0,29	0,24
	0,23	0,22	0,27	0,25	0,27	0,33	0,25	0,29	0,32	0,31	0,30	0,31	0,32	0,32	0,28	0,30	0,31	0,31
	0,27	0,25	0,30	0,27	0,30	0,29	0,30	0,33	0,36	0,34	0,37	0,33	0,35	0,34	0,33	0,34	0,27	0,33
	0,24	0,29	0,31	0,29	0,33	0,39	0,35	0,37	0,37	0,37	0,43	0,40	0,40	0,43	0,41	0,31	0,37	0,36
	0,36	0,38	0,38	0,45	0,38	0,41	0,50	0,50	0,44	0,48	0,47	0,48	0,50	0,46	0,44	0,40	0,43	0,38
	0,39	0,38	0,48	0,43	0,49	0,55	0,48	0,58	0,58	0,61	0,48	0,56	0,56	0,54	0,55	0,52	0,49	0,51
	0,49	0,46	0,56	0,51	0,57	0,62	0,63	0,71	0,66	0,69	0,67	0,67	0,58	0,71	0,63	0,64	0,67	0,60
	0,63	0,57	0,65	0,68	0,71	0,67	0,71	0,71	0,82	0,79	0,82	0,78	0,75	0,82	0,77	0,76	0,78	0,75
	0,75	0,75	0,88	0,90	0,88	0,92	0,88	1,00	0,94	1,00	1,00	0,99	0,93	1,00	0,98	0,93	0,90	0,81
	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.14 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	0,54	0,57	0,48	0,64	0,66	0,63	0,65	0,64	0,70	0,66	0,68	0,67	0,66	0,52	0,65	0,60	0,57	0,55
	0,57	0,57	0,64	0,58	0,57	0,64	0,65	0,65	0,61	0,65	0,63	0,71	0,61	0,70	0,55	0,64	0,60	0,54
	0,54	0,62	0,68	0,67	0,65	0,67	0,70	0,75	0,78	0,77	0,75	0,79	0,69	0,73	0,69	0,72	0,59	0,65
	0,60	0,66	0,85	0,79	0,87	0,82	0,77	0,97	0,86	0,87	0,88	0,90	0,83	0,94	0,79	0,71	0,76	0,72
	0,83	0,92	0,93	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96	0,97	0,88	0,88
	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.15 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	0,26	0,33	0,35	0,33	0,31	0,35	0,37	0,40	0,34	0,37	0,35	0,34	0,31	0,31	0,26	0,32	0,29	0,24
	0,34	0,32	0,28	0,32	0,31	0,41	0,36	0,38	0,31	0,33	0,34	0,32	0,33	0,33	0,32	0,29	0,30	0,28
	0,34	0,32	0,32	0,32	0,36	0,38	0,35	0,31	0,41	0,38	0,38	0,35	0,36	0,35	0,34	0,36	0,32	0,31
	0,35	0,39	0,47	0,41	0,41	0,51	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,41	0,41	0,43	0,40	0,38	0,37	0,35
	0,48	0,48	0,56	0,57	0,57	0,51	0,49	0,56	0,62	0,53	0,56	0,53	0,53	0,51	0,47	0,44	0,42	0,41
	0,58	0,53	0,64	0,57	0,61	0,67	0,59	0,68	0,65	0,64	0,61	0,60	0,60	0,58	0,58	0,47	0,48	0,47
	0,74	0,63	0,73	0,73	0,73	0,82	0,77	0,71	0,73	0,78	0,76	0,71	0,67	0,73	0,66	0,63	0,56	0,54
	0,88	0,84	0,90	0,87	0,90	0,85	0,92	0,91	0,97	0,90	0,91	0,83	0,84	0,90	0,81	0,74	0,67	0,63
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,86	0,76
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.16 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	0,40	0,42	0,44	0,49	0,51	0,54	0,42	0,53	0,49	0,55	0,50	0,50	0,53	0,47	0,49	0,48	0,48	0,40
	0,43	0,39	0,49	0,44	0,46	0,53	0,43	0,47	0,59	0,48	0,51	0,54	0,52	0,51	0,48	0,52	0,50	0,46
	0,47	0,42	0,51	0,46	0,48	0,60	0,54	0,49	0,62	0,53	0,60	0,53	0,55	0,53	0,58	0,56	0,52	0,52
	0,42	0,46	0,57	0,51	0,52	0,61	0,60	0,69	0,65	0,60	0,61	0,61	0,61	0,51	0,50	0,59	0,59	0,56
	0,59	0,61	0,62	0,57	0,69	0,70	0,65	0,75	0,77	0,76	0,71	0,68	0,75	0,70	0,72	0,71	0,68	0,65
	0,60	0,59	0,63	0,65	0,77	0,75	0,76	0,84	0,84	0,78	0,85	0,83	0,79	0,80	0,79	0,80	0,74	0,75
	0,76	0,66	0,83	0,75	0,83	0,95	0,89	0,91	0,98	0,90	1,00	0,91	0,88	0,88	0,93	0,90	0,87	0,82
	0,81	0,78	0,91	0,88	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	1,00	1,00
	0,88	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.17 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
0,70	0,67	0,75	0,81	0,81	0,85	0,88	0,90	0,83	0,92	0,94	0,93	0,81	0,83	0,82	0,71	0,75	0,73
0,76	0,64	0,84	0,73	0,72	0,80	0,81	0,79	0,82	0,84	0,85	0,96	0,80	0,89	0,79	0,85	0,74	0,76
0,82	0,72	0,76	0,80	0,85	1,00	0,95	0,87	1,00	0,96	0,97	0,96	0,92	0,90	0,93	0,90	0,89	0,81
0,77	0,80	1,00	0,91	0,96	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,95
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.18 : D2 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
0,46	0,39	0,48	0,49	0,51	0,49	0,49	0,53	0,52	0,53	0,52	0,52	0,48	0,45	0,44	0,42	0,45	0,42
0,40	0,39	0,50	0,44	0,43	0,46	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47	0,52	0,49	0,48	0,45	0,47	0,46	0,43
0,46	0,41	0,54	0,47	0,50	0,62	0,57	0,52	0,46	0,50	0,53	0,58	0,52	0,55	0,53	0,51	0,50	0,46
0,45	0,56	0,57	0,51	0,54	0,56	0,57	0,62	0,59	0,58	0,59	0,59	0,54	0,61	0,58	0,54	0,53	0,47
0,62	0,66	0,68	0,57	0,71	0,68	0,64	0,76	0,76	0,73	0,74	0,66	0,70	0,68	0,65	0,61	0,60	0,58
0,71	0,64	0,74	0,70	0,70	0,76	0,77	0,86	0,80	0,75	0,76	0,80	0,74	0,71	0,71	0,70	0,65	0,64
0,78	0,72	0,90	0,82	0,81	0,84	0,85	0,86	0,85	0,89	0,92	0,86	0,89	0,83	0,83	0,80	0,73	0,73
0,93	0,88	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,96	0,98	0,92	0,87	0,85	0,79
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,91
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.19 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
0,08	0,07	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11	0,09	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09
0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,17	0,16	0,13
0,21	0,23	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,25	0,26	0,25	0,23	0,21	0,22	0,24	0,23	0,23	0,20	0,17
0,31	0,32	0,34	0,31	0,27	0,27	0,30	0,34	0,34	0,33	0,30	0,26	0,28	0,32	0,33	0,33	0,29	0,22
0,41	0,48	0,50	0,42	0,28	0,29	0,36	0,47	0,50	0,45	0,36	0,28	0,31	0,43	0,48	0,48	0,41	0,25
0,60	0,75	0,74	0,54	0,24	0,20	0,42	0,69	0,77	0,65	0,37	0,19	0,26	0,57	0,74	0,74	0,56	0,22

Çizelge B.20 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık12:00																		
0,37	0,40	0,41	0,45	0,47	0,53	0,53	0,56	0,51	0,56	0,52	0,61	0,55	0,55	0,43	0,52	0,50	0,42
0,39	0,39	0,44	0,43	0,46	0,49	0,50	0,46	0,52	0,53	0,44	0,59	0,50	0,53	0,48	0,52	0,55	0,49
0,44	0,42	0,44	0,46	0,52	0,61	0,59	0,56	0,64	0,49	0,50	0,61	0,66	0,65	0,61	0,60	0,59	0,55
0,44	0,48	0,59	0,55	0,60	0,67	0,62	0,73	0,65	0,68	0,71	0,71	0,73	0,77	0,73	0,75	0,69	0,64
0,55	0,60	0,66	0,74	0,78	0,78	0,76	0,81	0,80	0,86	0,91	0,81	0,89	0,76	0,86	0,84	0,74	0,81
0,66	0,65	0,79	0,87	0,87	0,97	0,86	0,89	0,96	1,00	0,93	0,94	0,96	0,90	0,93	0,94	0,89	0,93
0,88	0,79	0,97	0,86	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,99	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.21 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	
0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	
0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	
0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	
0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	
0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	
0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,14	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	
0,15	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,15	0,13	
0,20	0,21	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21	0,23	0,24	0,22	0,22	0,20	0,20	0,22	0,22	0,21	0,19	0,16	
0,28	0,30	0,31	0,29	0,26	0,24	0,27	0,31	0,33	0,31	0,28	0,24	0,26	0,31	0,32	0,30	0,27	0,21	
0,39	0,44	0,44	0,39	0,30	0,27	0,36	0,44	0,47	0,43	0,33	0,27	0,30	0,41	0,45	0,44	0,38	0,24	
0,55	0,71	0,68	0,51	0,22	0,18	0,40	0,63	0,71	0,61	0,34	0,17	0,24	0,54	0,70	0,69	0,52	0,21	

Çizelge B.22 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	
0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,09	
0,11	0,11	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10	
0,12	0,12	0,16	0,14	0,15	0,13	0,12	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	
0,16	0,17	0,18	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	
0,17	0,16	0,21	0,21	0,21	0,22	0,21	0,25	0,23	0,24	0,22	0,23	0,22	0,22	0,20	0,21	0,19	0,19	
0,23	0,22	0,26	0,22	0,24	0,29	0,25	0,28	0,27	0,29	0,27	0,29	0,27	0,28	0,26	0,26	0,24	0,23	
0,28	0,27	0,30	0,30	0,31	0,33	0,35	0,34	0,37	0,36	0,35	0,32	0,33	0,36	0,32	0,29	0,29	0,27	
0,36	0,38	0,40	0,39	0,40	0,45	0,41	0,44	0,45	0,43	0,44	0,41	0,40	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34	
0,49	0,52	0,52	0,55	0,52	0,53	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,54	0,53	0,57	0,52	0,50	0,47	0,39	
0,63	0,69	0,72	0,68	0,66	0,66	0,70	0,74	0,77	0,76	0,70	0,65	0,67	0,70	0,74	0,65	0,62	0,51	
0,88	0,99	1,00	0,96	0,81	0,77	0,87	1,00	1,00	0,99	0,88	0,82	0,83	0,95	1,00	0,93	0,84	0,67	
1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	
1,00	1,00	1,00	1,00	0,68	0,58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,56	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	

Çizelge B.23 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00	0,40	0,38	0,46	0,46	0,55	0,56	0,57	0,60	0,53	0,62	0,59	0,55	0,53	0,54	0,55	0,54	0,52	0,44
	0,40	0,41	0,49	0,42	0,51	0,62	0,52	0,50	0,54	0,58	0,61	0,64	0,58	0,56	0,56	0,55	0,54	0,52
	0,47	0,47	0,47	0,48	0,55	0,68	0,61	0,64	0,66	0,63	0,62	0,62	0,65	0,66	0,63	0,64	0,62	0,50
	0,45	0,51	0,66	0,60	0,63	0,66	0,65	0,65	0,70	0,71	0,84	0,69	0,74	0,73	0,68	0,71	0,69	0,65
	0,65	0,73	0,74	0,81	0,82	0,87	0,75	0,81	0,90	0,92	0,96	0,85	0,93	0,89	0,85	0,80	0,81	0,77
	0,66	0,69	0,91	0,84	0,89	1,00	0,93	0,97	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,94	1,00	0,97	0,91	0,92
	0,87	0,88	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.24 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,16	0,17	0,12	0,14	0,17	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,11
	0,13	0,13	0,15	0,13	0,13	0,16	0,14	0,13	0,18	0,12	0,16	0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,12
	0,15	0,14	0,16	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15
	0,14	0,16	0,19	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,19	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17
	0,20	0,20	0,22	0,22	0,25	0,23	0,25	0,26	0,23	0,26	0,25	0,24	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21
	0,23	0,22	0,27	0,21	0,26	0,28	0,28	0,29	0,27	0,27	0,26	0,28	0,27	0,29	0,26	0,26	0,24	0,23
	0,27	0,26	0,35	0,29	0,32	0,36	0,34	0,35	0,32	0,34	0,35	0,34	0,34	0,35	0,32	0,31	0,29	0,28
	0,34	0,35	0,38	0,38	0,40	0,44	0,42	0,43	0,43	0,45	0,43	0,41	0,41	0,42	0,39	0,33	0,36	0,34
	0,45	0,44	0,52	0,51	0,51	0,52	0,50	0,55	0,52	0,55	0,55	0,48	0,52	0,49	0,50	0,47	0,44	0,41
	0,59	0,65	0,66	0,68	0,64	0,65	0,70	0,70	0,69	0,69	0,72	0,66	0,67	0,70	0,67	0,62	0,58	0,50
	0,82	0,85	0,93	0,84	0,80	0,88	0,86	0,90	0,96	0,91	0,91	0,83	0,84	0,89	0,87	0,81	0,76	0,62
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83

Çizelge B.25 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
	0,18	0,20	0,21	0,21	0,24	0,24	0,23	0,25	0,23	0,27	0,24	0,24	0,23	0,25	0,23	0,24	0,23	0,24
	0,19	0,19	0,22	0,19	0,21	0,24	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,28	0,27	0,27	0,21	0,25
	0,22	0,20	0,22	0,23	0,23	0,25	0,25	0,25	0,28	0,28	0,30	0,27	0,26	0,30	0,29	0,28	0,29	0,26
	0,21	0,23	0,29	0,25	0,26	0,35	0,29	0,36	0,35	0,31	0,31	0,32	0,32	0,34	0,31	0,30	0,32	0,29
	0,30	0,30	0,33	0,36	0,36	0,37	0,32	0,39	0,35	0,41	0,35	0,37	0,40	0,36	0,36	0,36	0,35	0,34
	0,31	0,30	0,39	0,31	0,38	0,40	0,41	0,43	0,46	0,44	0,42	0,43	0,46	0,42	0,44	0,42	0,41	0,42
	0,40	0,37	0,46	0,42	0,45	0,51	0,49	0,54	0,53	0,54	0,52	0,52	0,52	0,49	0,52	0,51	0,47	0,49
	0,48	0,51	0,55	0,54	0,52	0,60	0,56	0,59	0,69	0,62	0,64	0,58	0,61	0,67	0,57	0,56	0,58	0,59
	0,56	0,54	0,67	0,64	0,75	0,79	0,73	0,79	0,71	0,72	0,70	0,78	0,73	0,73	0,73	0,72	0,71	0,70
	0,73	0,80	0,85	0,91	0,90	0,91	0,94	0,95	0,98	0,97	0,95	0,97	0,90	0,96	0,96	0,87	0,85	0,80
	0,88	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.26 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
	0,64	0,67	0,74	0,73	0,83	0,80	0,85	0,85	0,85	0,78	0,80	0,88	0,83	0,76	0,78	0,75	0,70	0,67
	0,73	0,63	0,80	0,71	0,73	0,76	0,77	0,76	0,90	0,80	0,85	0,80	0,86	0,86	0,82	0,78	0,71	0,71
	0,74	0,72	0,74	0,78	0,80	0,84	0,88	0,90	0,91	0,88	0,87	0,90	0,88	0,86	0,85	0,89	0,74	0,77
	0,70	0,80	0,97	0,88	0,91	0,95	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,90	0,91
	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.27 : D3 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
	0,56	0,58	0,55	0,46	0,63	0,68	0,63	0,64	0,59	0,57	0,65	0,62	0,55	0,44	0,54	0,49	0,47	0,47
	0,50	0,56	0,52	0,48	0,53	0,49	0,55	0,67	0,58	0,52	0,52	0,54	0,53	0,61	0,56	0,52	0,52	0,47
	0,56	0,55	0,61	0,64	0,61	0,74	0,72	0,69	0,64	0,65	0,66	0,67	0,60	0,65	0,62	0,59	0,54	0,52
	0,57	0,68	0,76	0,77	0,73	0,81	0,66	0,81	0,81	0,80	0,79	0,69	0,70	0,77	0,69	0,64	0,62	0,52
	0,80	0,90	0,92	0,96	0,99	0,97	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,93	0,90	0,81	0,76	0,73	0,69
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,88	0,84	0,79
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.28 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05
	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06
	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,10
	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,15	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
	0,22	0,24	0,25	0,22	0,21	0,22	0,22	0,26	0,25	0,25	0,23	0,20	0,22	0,24	0,24	0,24	0,21	0,17
	0,33	0,37	0,38	0,33	0,24	0,24	0,32	0,37	0,41	0,38	0,29	0,24	0,26	0,35	0,40	0,38	0,31	0,20
	0,52	0,64	0,63	0,47	0,22	0,18	0,38	0,58	0,66	0,56	0,35	0,17	0,24	0,49	0,63	0,63	0,48	0,21

Çizelge B.29 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık12:00																		
0,07	0,09	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,11	0,11	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09	0,07	0,08
0,08	0,09	0,10	0,07	0,07	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,09	0,09	0,07
0,09	0,07	0,11	0,12	0,08	0,12	0,10	0,13	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09
0,07	0,08	0,13	0,09	0,10	0,14	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,14	0,13	0,11	0,12	0,11
0,13	0,13	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12
0,15	0,11	0,17	0,12	0,13	0,18	0,14	0,19	0,15	0,16	0,16	0,18	0,18	0,17	0,18	0,16	0,15	0,14
0,17	0,14	0,23	0,16	0,17	0,22	0,17	0,23	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,21	0,23	0,19	0,18	0,23
0,22	0,33	0,34	0,27	0,38	0,36	0,37	0,39	0,37	0,39	0,31	0,33	0,32	0,26	0,37	0,22	0,26	0,19
0,61	0,63	0,68	0,66	0,64	0,71	0,56	0,62	0,66	0,74	0,64	0,67	0,65	0,67	0,70	0,56	0,54	0,48
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,70
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.30 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralık 16:00																		
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06
0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
0,09	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09
0,14	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,11
0,22	0,24	0,25	0,23	0,21	0,20	0,23	0,26	0,25	0,24	0,22	0,19	0,21	0,23	0,24	0,24	0,21	0,18
0,33	0,37	0,38	0,33	0,25	0,23	0,30	0,36	0,39	0,35	0,27	0,24	0,24	0,33	0,39	0,37	0,31	0,22
0,50	0,61	0,60	0,44	0,21	0,19	0,37	0,57	0,62	0,53	0,31	0,18	0,23	0,47	0,62	0,62	0,46	0,21

Çizelge B.31 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03
0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05
0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
0,07	0,06	0,09	0,07	0,08	0,09	0,08	0,10	0,10	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
0,08	0,07	0,10	0,11	0,09	0,12	0,09	0,09	0,11	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09
0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,17	0,13	0,16	0,15	0,13	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14
0,19	0,16	0,22	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,23	0,22	0,24	0,23	0,19	0,23	0,22	0,19	0,19	0,17
0,27	0,32	0,33	0,34	0,31	0,34	0,35	0,33	0,35	0,34	0,33	0,34	0,34	0,35	0,32	0,32	0,27	0,28
0,41	0,43	0,49	0,45	0,45	0,49	0,50	0,52	0,50	0,46	0,49	0,45	0,46	0,50	0,48	0,45	0,41	0,28
0,63	0,69	0,76	0,70	0,62	0,64	0,69	0,76	0,78	0,74	0,66	0,61	0,62	0,72	0,74	0,72	0,59	0,50
0,94	1,00	1,00	1,00	0,74	0,73	0,95	1,00	1,00	1,00	0,87	0,71	0,78	1,00	1,00	1,00	0,93	0,59
1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,54	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,49	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60

Çizelge B.32 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
0,16	0,19	0,17	0,19	0,19	0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22	0,19	0,20	0,21	0,19	0,18	0,16
0,18	0,19	0,22	0,16	0,17	0,25	0,18	0,25	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17
0,20	0,19	0,24	0,19	0,20	0,28	0,21	0,22	0,22	0,23	0,28	0,23	0,23	0,27	0,25	0,24	0,22	0,22
0,17	0,19	0,28	0,22	0,22	0,32	0,26	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24
0,27	0,31	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28
0,31	0,36	0,38	0,31	0,31	0,33	0,34	0,35	0,43	0,36	0,36	0,36	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35	0,33
0,40	0,32	0,48	0,40	0,50	0,50	0,43	0,40	0,43	0,45	0,49	0,41	0,43	0,48	0,47	0,44	0,41	0,38
0,44	0,56	0,70	0,64	0,57	0,78	0,52	0,65	0,79	0,61	0,73	0,66	0,60	0,76	0,68	0,48	0,59	0,56
0,98	0,98	0,99	0,86	1,00	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,97	0,88
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.33 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05
0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06
0,06	0,05	0,07	0,05	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06
0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08
0,09	0,07	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,09	0,10
0,14	0,10	0,13	0,10	0,11	0,14	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,11	0,13	0,12	0,13	0,11	0,11
0,14	0,16	0,16	0,14	0,19	0,17	0,17	0,19	0,21	0,18	0,20	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,14
0,24	0,25	0,25	0,24	0,26	0,28	0,29	0,28	0,32	0,31	0,29	0,29	0,27	0,28	0,26	0,26	0,24	0,24
0,38	0,39	0,40	0,42	0,42	0,41	0,41	0,42	0,41	0,45	0,43	0,43	0,41	0,41	0,41	0,35	0,35	0,38
0,54	0,56	0,63	0,54	0,53	0,59	0,62	0,60	0,64	0,61	0,60	0,57	0,57	0,58	0,57	0,56	0,49	0,45
0,81	0,86	0,91	0,84	0,79	0,74	0,84	0,92	1,00	0,95	0,81	0,77	0,78	0,91	0,88	0,86	0,72	0,53
1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,76
1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	0,68	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	0,78

Çizelge B.34 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
0,10	0,11	0,11	0,14	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14	0,13	0,15	0,14	0,12	0,12	0,12	0,15	0,10	0,11
0,11	0,12	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,15	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11
0,13	0,11	0,15	0,12	0,13	0,17	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,15	0,15	0,14	0,11
0,10	0,12	0,16	0,13	0,14	0,20	0,16	0,21	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,19	0,16	0,17	0,16	0,16
0,18	0,19	0,20	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,18	0,19	0,19	0,17
0,19	0,17	0,23	0,19	0,20	0,22	0,22	0,21	0,26	0,23	0,26	0,22	0,22	0,24	0,24	0,22	0,21	0,19
0,22	0,20	0,28	0,24	0,32	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,30	0,27	0,27	0,25	0,30
0,30	0,27	0,33	0,34	0,37	0,41	0,35	0,44	0,40	0,35	0,40	0,42	0,35	0,36	0,36	0,32	0,35	0,48
0,41	0,48	0,51	0,55	0,52	0,51	0,60	0,60	0,59	0,52	0,60	0,63	0,57	0,62	0,57	0,49	0,46	0,68
0,59	0,69	0,72	0,79	0,81	0,82	0,83	0,89	0,91	0,87	0,79	0,81	0,83	0,82	0,83	0,80	0,76	0,80
0,85	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.35 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,10	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
0,10	0,12	0,13	0,10	0,10	0,15	0,11	0,15	0,11	0,12	0,12	0,15	0,12	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12
0,12	0,10	0,15	0,12	0,16	0,13	0,13	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
0,11	0,12	0,17	0,14	0,14	0,19	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14
0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,21	0,22	0,22	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19
0,18	0,16	0,22	0,18	0,20	0,25	0,25	0,26	0,26	0,22	0,23	0,22	0,22	0,23	0,24	0,22	0,21	0,21
0,21	0,22	0,27	0,28	0,24	0,30	0,25	0,30	0,26	0,26	0,30	0,27	0,26	0,29	0,27	0,25	0,26	0,23
0,28	0,27	0,33	0,31	0,30	0,35	0,35	0,35	0,37	0,34	0,37	0,38	0,36	0,39	0,36	0,32	0,30	0,25
0,43	0,39	0,48	0,49	0,45	0,52	0,48	0,52	0,50	0,53	0,48	0,51	0,41	0,50	0,44	0,47	0,42	0,39
0,58	0,65	0,66	0,69	0,68	0,69	0,67	0,72	0,75	0,70	0,73	0,71	0,69	0,70	0,68	0,66	0,60	0,60
0,83	0,93	0,99	0,98	0,92	0,92	0,93	1,00	1,00	0,99	1,00	0,91	0,91	0,99	0,98	0,95	0,85	0,70
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.36 : D4 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00																		
0,10	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,13	0,14	0,14	0,15	0,14	0,14	0,15	0,12	0,16	0,11	0,12	0,14
0,12	0,12	0,13	0,10	0,11	0,15	0,11	0,11	0,12	0,11	0,15	0,12	0,12	0,16	0,14	0,14	0,13	0,13
0,15	0,10	0,15	0,17	0,13	0,18	0,14	0,17	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,17	0,15	0,15	0,12
0,11	0,11	0,18	0,14	0,14	0,15	0,16	0,21	0,21	0,17	0,17	0,21	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16
0,16	0,19	0,21	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,20	0,20	0,19	0,18
0,16	0,23	0,24	0,19	0,21	0,25	0,26	0,23	0,23	0,28	0,27	0,23	0,23	0,24	0,25	0,24	0,21	0,23
0,24	0,20	0,28	0,25	0,32	0,32	0,27	0,26	0,32	0,27	0,31	0,29	0,26	0,31	0,28	0,28	0,28	0,27
0,37	0,29	0,36	0,30	0,32	0,38	0,35	0,38	0,42	0,37	0,40	0,40	0,39	0,37	0,36	0,33	0,33	0,37
0,51	0,50	0,50	0,62	0,54	0,63	0,64	0,60	0,63	0,63	0,64	0,57	0,55	0,59	0,52	0,50	0,46	0,40
0,77	0,71	0,85	0,92	0,82	0,89	0,88	0,85	0,80	0,91	0,88	0,81	0,85	0,84	0,78	0,70	0,61	0,54
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	0,77
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91

Çizelge B.37 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 08:00).

15 Aralık 08:00																		
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	
0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	
0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	
0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
0,04	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	
0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	
0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	
0,08	0,09	0,08	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	
0,11	0,11	0,12	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,11	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	
0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,17	0,16	0,15	0,15	0,13	0,13	0,15	0,16	0,14	0,12	0,11	
0,21	0,23	0,23	0,18	0,15	0,15	0,16	0,24	0,27	0,21	0,18	0,16	0,16	0,22	0,23	0,24	0,18	0,13	
0,28	0,40	0,40	0,25	0,13	0,12	0,21	0,33	0,43	0,33	0,18	0,12	0,14	0,28	0,41	0,39	0,26	0,11	

Çizelge B.38 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 12:00).

15 Aralık 12:00																		
0,26	0,29	0,25	0,27	0,32	0,36	0,30	0,32	0,32	0,31	0,29	0,31	0,30	0,33	0,30	0,30	0,27	0,29	
0,24	0,27	0,27	0,21	0,26	0,31	0,31	0,23	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,31	0,34	0,33	0,30	
0,30	0,27	0,31	0,26	0,33	0,41	0,35	0,33	0,34	0,35	0,38	0,38	0,35	0,34	0,33	0,34	0,34	0,33	
0,29	0,27	0,40	0,32	0,37	0,40	0,33	0,46	0,48	0,37	0,42	0,42	0,41	0,31	0,31	0,33	0,38	0,36	
0,41	0,38	0,42	0,49	0,49	0,48	0,38	0,47	0,49	0,55	0,55	0,51	0,53	0,51	0,41	0,47	0,44	0,42	
0,52	0,45	0,48	0,46	0,38	0,60	0,53	0,61	0,57	0,58	0,63	0,58	0,58	0,56	0,57	0,55	0,54	0,47	
0,57	0,53	0,63	0,56	0,58	0,74	0,60	0,61	0,73	0,65	0,71	0,66	0,64	0,72	0,64	0,53	0,63	0,58	
0,72	0,64	0,76	0,78	0,74	0,78	0,79	0,76	0,76	0,83	0,89	0,88	0,82	0,81	0,61	0,69	0,74	0,69	
0,88	0,83	1,00	1,00	0,96	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,94	1,00	1,00	0,83	0,87	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Çizelge B.39 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Aralık 16:00).

15 Aralik 16:00																		
	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,05	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07
	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08
	0,13	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,13	0,17	0,17	0,15	0,14	0,13	0,14	0,15	0,15	0,14	0,12	0,11
	0,19	0,20	0,22	0,17	0,15	0,15	0,17	0,21	0,26	0,20	0,17	0,13	0,15	0,20	0,22	0,22	0,17	0,12
	0,28	0,38	0,37	0,24	0,12	0,12	0,20	0,33	0,40	0,31	0,18	0,10	0,13	0,25	0,38	0,38	0,26	0,12

Çizelge B.40 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 08:00).

15 Mart 08:00																		
	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,07	0,05
	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,06
	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07
	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,10	0,08	0,10	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,06	0,07
	0,09	0,09	0,09	0,09	0,06	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	0,10	0,11	0,11	0,09	0,09	0,10	0,09	0,08
	0,10	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,09	0,10
	0,13	0,11	0,14	0,11	0,11	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,15	0,14	0,12	0,13	0,12
	0,13	0,12	0,16	0,15	0,15	0,18	0,16	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13
	0,19	0,17	0,20	0,17	0,20	0,24	0,19	0,22	0,20	0,22	0,23	0,21	0,20	0,21	0,21	0,19	0,18	0,18
	0,24	0,25	0,27	0,29	0,27	0,27	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,27	0,27	0,28	0,26	0,25	0,24	0,20
	0,32	0,32	0,35	0,31	0,31	0,35	0,32	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,34	0,34	0,32	0,30	0,27	0,26
	0,41	0,45	0,48	0,43	0,43	0,39	0,43	0,49	0,54	0,47	0,47	0,41	0,39	0,47	0,44	0,48	0,38	0,34
	0,58	0,70	0,75	0,57	0,48	0,48	0,51	0,66	0,76	0,62	0,57	0,44	0,46	0,64	0,69	0,68	0,53	0,38
	0,86	1,00	1,00	0,77	0,40	0,37	0,61	1,00	1,00	0,99	0,56	0,35	0,43	0,82	1,00	1,00	0,80	0,34

Çizelge B.41 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 12:00).

15 Mart 12:00																		
	0,23	0,29	0,25	0,32	0,35	0,40	0,32	0,33	0,34	0,38	0,37	0,36	0,34	0,29	0,31	0,32	0,30	0,28
	0,28	0,27	0,32	0,32	0,22	0,29	0,29	0,35	0,26	0,29	0,31	0,30	0,34	0,33	0,27	0,31	0,28	0,32
	0,30	0,28	0,32	0,33	0,35	0,42	0,35	0,33	0,35	0,36	0,41	0,34	0,34	0,34	0,33	0,39	0,30	0,32
	0,33	0,25	0,45	0,34	0,36	0,33	0,33	0,47	0,49	0,36	0,36	0,47	0,38	0,46	0,44	0,43	0,39	0,33
	0,42	0,48	0,46	0,53	0,41	0,54	0,54	0,59	0,47	0,47	0,52	0,58	0,57	0,56	0,48	0,50	0,51	0,40
	0,46	0,46	0,60	0,53	0,55	0,69	0,56	0,58	0,60	0,64	0,66	0,71	0,56	0,56	0,59	0,57	0,60	0,52
	0,61	0,54	0,72	0,60	0,60	0,72	0,70	0,78	0,71	0,69	0,68	0,71	0,68	0,72	0,68	0,68	0,68	0,64
	0,76	0,68	0,78	0,76	0,79	0,90	0,88	0,95	0,86	0,93	0,93	0,94	0,80	0,93	0,77	0,72	0,81	0,68
	0,95	1,00	0,80	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,97	0,92	0,85
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.42 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Mart 16:00).

15 Mart 16:00																		
	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06
	0,06	0,04	0,06	0,06	0,05	0,09	0,06	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07	0,08
	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07	0,10	0,09	0,08
	0,07	0,07	0,11	0,06	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,12	0,10	0,11	0,09	0,08
	0,10	0,11	0,11	0,13	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,14	0,14	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10
	0,12	0,11	0,15	0,11	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12
	0,12	0,12	0,17	0,14	0,16	0,20	0,17	0,18	0,17	0,16	0,19	0,16	0,15	0,17	0,16	0,13	0,17	0,13
	0,18	0,17	0,19	0,19	0,18	0,21	0,20	0,19	0,24	0,20	0,21	0,22	0,19	0,21	0,20	0,20	0,18	0,17
	0,21	0,22	0,22	0,25	0,25	0,28	0,25	0,27	0,30	0,26	0,26	0,28	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
	0,29	0,33	0,33	0,34	0,31	0,34	0,37	0,35	0,36	0,38	0,35	0,35	0,32	0,34	0,32	0,28	0,29	0,22
	0,34	0,37	0,43	0,39	0,39	0,45	0,42	0,45	0,47	0,43	0,43	0,38	0,40	0,46	0,41	0,40	0,36	0,32
	0,50	0,54	0,59	0,53	0,50	0,51	0,53	0,61	0,65	0,58	0,54	0,49	0,52	0,60	0,58	0,56	0,47	0,42
	0,71	0,88	0,87	0,72	0,58	0,54	0,63	0,88	0,96	0,78	0,67	0,59	0,58	0,75	0,92	0,76	0,61	0,47
	1,00	1,00	1,00	0,95	0,52	0,45	0,77	1,00	1,00	1,00	0,66	0,45	0,54	1,00	1,00	1,00	0,98	0,45

Çizelge B.43 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 08:00).

15 Haziran 08:00																		
0,14	0,16	0,17	0,18	0,17	0,20	0,18	0,19	0,19	0,23	0,18	0,22	0,20	0,20	0,20	0,18	0,19	0,23
0,15	0,11	0,16	0,12	0,17	0,20	0,19	0,18	0,15	0,14	0,17	0,19	0,20	0,21	0,24	0,21	0,19	0,17
0,15	0,16	0,16	0,17	0,21	0,24	0,20	0,18	0,18	0,20	0,22	0,23	0,21	0,20	0,24	0,22	0,24	0,20
0,17	0,17	0,20	0,22	0,22	0,27	0,22	0,24	0,20	0,24	0,27	0,23	0,23	0,26	0,31	0,30	0,24	0,25
0,24	0,22	0,23	0,28	0,31	0,25	0,25	0,33	0,27	0,33	0,31	0,31	0,25	0,33	0,30	0,29	0,34	0,32
0,26	0,23	0,33	0,27	0,29	0,36	0,35	0,35	0,42	0,31	0,31	0,40	0,37	0,38	0,37	0,36	0,36	0,40
0,31	0,27	0,38	0,36	0,33	0,44	0,34	0,40	0,46	0,42	0,42	0,43	0,37	0,43	0,43	0,45	0,44	0,42
0,39	0,35	0,44	0,43	0,45	0,51	0,45	0,50	0,48	0,53	0,55	0,56	0,46	0,54	0,56	0,48	0,51	0,55
0,43	0,53	0,55	0,61	0,58	0,62	0,60	0,66	0,76	0,65	0,72	0,72	0,65	0,65	0,62	0,60	0,55	0,65
0,61	0,67	0,73	0,77	0,80	0,82	0,68	0,80	0,83	0,73	0,83	0,88	0,80	0,84	0,79	0,86	0,76	0,71
0,76	0,73	0,88	0,93	0,93	1,00	0,98	0,96	1,00	1,00	1,00	0,95	0,91	0,90	0,98	0,98	0,94	0,96
0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.44 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 12:00).

15 Haziran 12:00																		
0,49	0,52	0,50	0,55	0,53	0,59	0,62	0,62	0,60	0,62	0,62	0,63	0,50	0,51	0,56	0,54	0,53	0,46
0,49	0,50	0,56	0,47	0,52	0,62	0,54	0,56	0,58	0,52	0,66	0,59	0,57	0,60	0,60	0,59	0,49	0,50
0,55	0,50	0,66	0,53	0,55	0,71	0,64	0,62	0,65	0,62	0,62	0,64	0,65	0,68	0,67	0,62	0,54	0,55
0,50	0,56	0,77	0,60	0,63	0,80	0,70	0,83	0,67	0,75	0,81	0,74	0,73	0,77	0,71	0,71	0,68	0,63
0,72	0,80	0,81	0,84	0,91	0,94	0,80	0,97	0,88	0,96	0,91	0,95	0,93	0,84	0,85	0,82	0,79	0,74
0,87	0,74	0,93	0,96	0,88	1,00	0,93	1,00	1,00	0,99	1,00	0,91	0,91	0,98	0,89	0,92	0,88	0,87
0,95	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

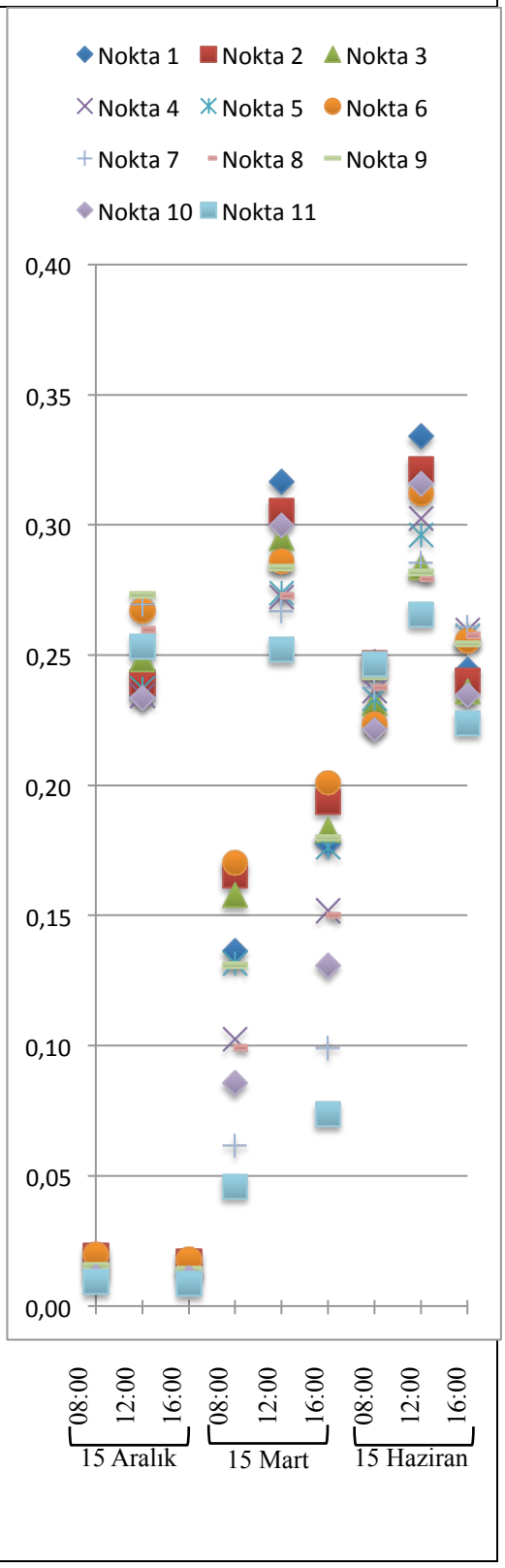
Çizelge B.45 : D5 senaryosu için elde edilen sürekli günışığı otonomisi değerlendirmesi (%) sonuçları (15 Haziran 16:00).

15 Haziran 16:00	0,18	0,16	0,19	0,20	0,19	0,24	0,21	0,19	0,19	0,18	0,18	0,19	0,17	0,19	0,19	0,17	0,17	0,14
	0,19	0,19	0,20	0,16	0,14	0,26	0,19	0,17	0,21	0,17	0,18	0,23	0,17	0,16	0,20	0,19	0,19	0,17
	0,22	0,21	0,25	0,19	0,19	0,26	0,23	0,22	0,27	0,17	0,21	0,23	0,19	0,24	0,23	0,21	0,19	0,19
	0,22	0,27	0,21	0,21	0,21	0,23	0,24	0,25	0,23	0,23	0,23	0,24	0,22	0,26	0,24	0,18	0,17	0,21
	0,23	0,31	0,29	0,29	0,24	0,27	0,35	0,32	0,28	0,32	0,34	0,33	0,31	0,32	0,26	0,27	0,25	0,21
	0,34	0,33	0,31	0,38	0,40	0,33	0,34	0,39	0,43	0,35	0,36	0,37	0,34	0,36	0,32	0,33	0,29	0,28
	0,35	0,37	0,43	0,39	0,38	0,44	0,45	0,44	0,42	0,38	0,37	0,35	0,36	0,38	0,38	0,36	0,35	0,34
	0,49	0,45	0,50	0,52	0,50	0,49	0,52	0,49	0,56	0,46	0,52	0,43	0,48	0,51	0,46	0,41	0,41	0,37
	0,51	0,59	0,67	0,65	0,59	0,66	0,66	0,69	0,59	0,63	0,68	0,63	0,61	0,56	0,57	0,40	0,48	0,48
	0,86	0,81	0,80	0,80	0,85	0,86	0,93	0,89	0,89	0,88	0,82	0,82	0,81	0,78	0,73	0,64	0,54	0,54
	1,00	1,00	1,00	0,96	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,99	0,97	1,00	0,84	0,82	0,71	0,60
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0,72
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82
	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,69

EK C: Ele alınan doğal aydınlatma senaryolarında hesaplanan DGP değerleri

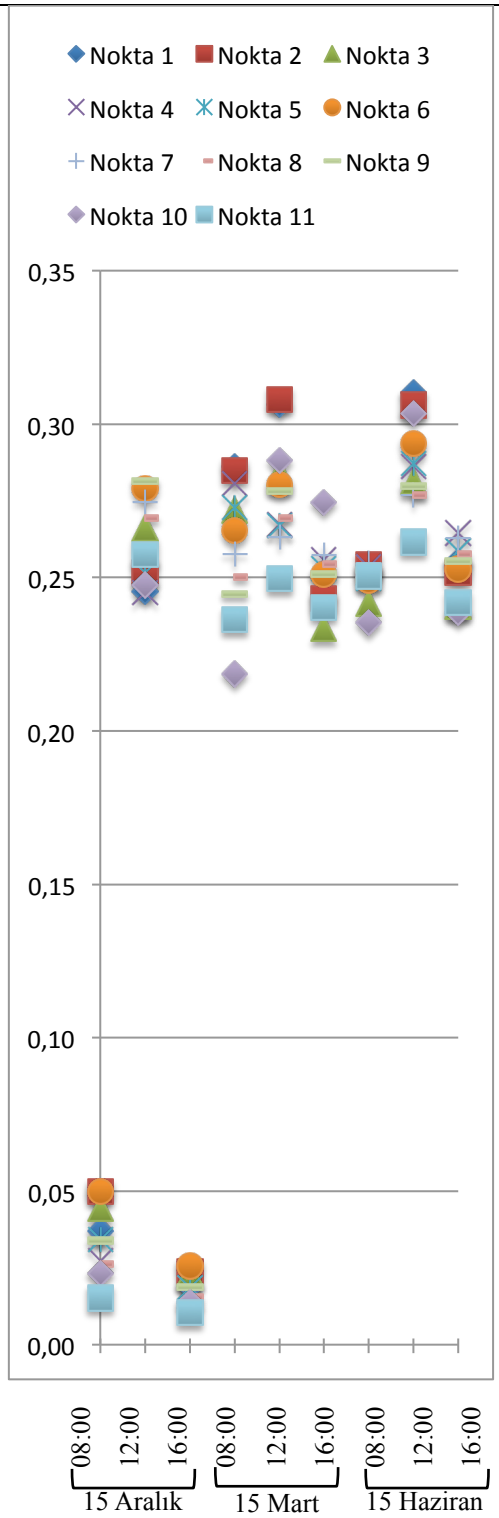
Çizelge C.1 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D1 senaryosu.

D1_ DGP DEĞERLERİ			
Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 10
Nokta 4	Nokta 5	Nokta 6	-
Nokta 7	Nokta 8	Nokta 9	Nokta 11
15 ARALIK, 08:00			
0,02	0,02	0,02	0,01
0,01	0,02	0,02	
0,01	0,01	0,02	0,01
15 ARALIK, 12:00			
0,23	0,24	0,25	0,23
0,23	0,24	0,27	
0,27	0,26	0,27	0,25
15 ARALIK, 16:00			
0,01	0,02	0,02	0,01
0,01	0,01	0,02	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 MART, 08:00			
0,14	0,17	0,16	0,09
0,10	0,13	0,17	
0,06	0,10	0,13	0,05
15 MART, 12:00			
0,32	0,31	0,29	0,30
0,27	0,27	0,29	
0,27	0,27	0,28	0,25
15 MART, 16:00			
0,18	0,19	0,18	0,13
0,15	0,18	0,20	
0,10	0,15	0,18	0,07
15 HAZİRAN, 08:00			
0,25	0,25	0,23	0,22
0,24	0,23	0,22	
0,24	0,24	0,24	0,25
15 HAZİRAN, 12:00			
0,33	0,32	0,28	0,32
0,30	0,30	0,31	
0,29	0,28	0,28	0,27
15 HAZİRAN, 16:00			
0,24	0,24	0,24	0,23
0,26	0,26	0,26	
0,26	0,26	0,25	0,22



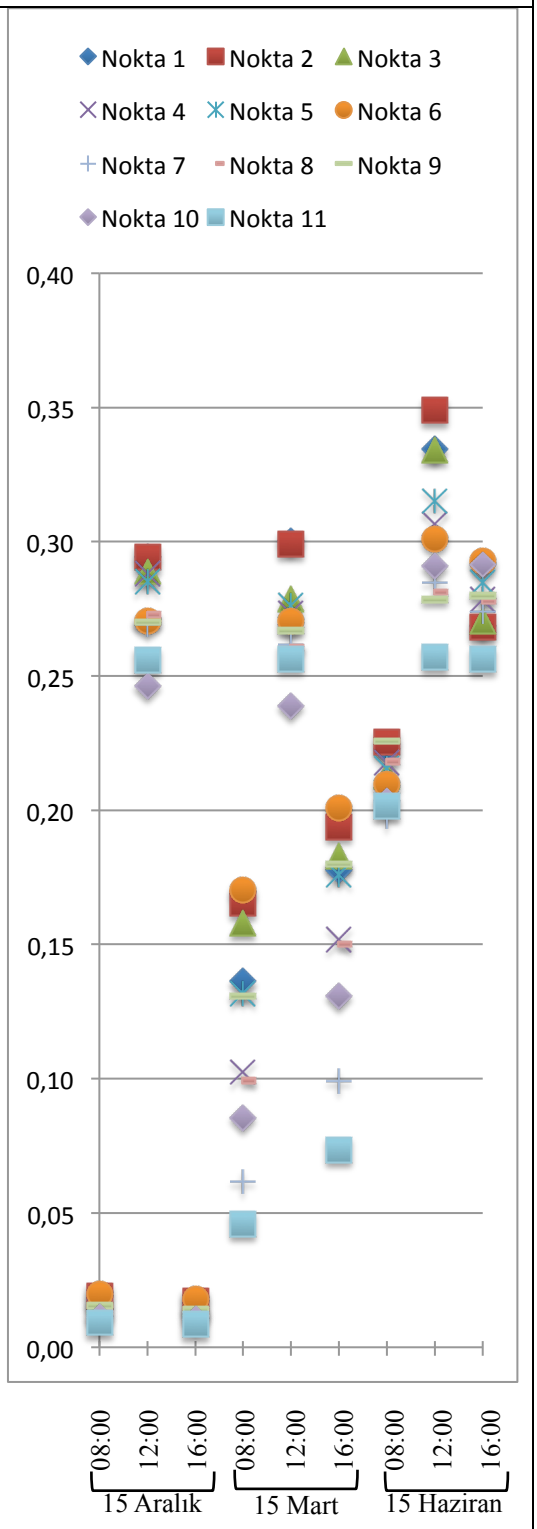
Çizelge C.2 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D2 senaryosu.

D2_ DGP DEĞERLERİ			
Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 10
Nokta 4	Nokta 5	Nokta 6	-
Nokta 7	Nokta 8	Nokta 9	Nokta 11
15 ARALIK, 08:00			
0,04	0,04	0,04	0,04
0,03	0,03	0,03	
0,02	0,02	0,02	0,02
15 ARALIK, 12:00			
0,25	0,25	0,25	0,25
0,25	0,25	0,25	
0,27	0,27	0,27	0,27
15 ARALIK, 16:00			
0,02	0,02	0,02	0,02
0,02	0,02	0,02	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 MART, 08:00			
0,29	0,29	0,29	0,29
0,28	0,28	0,28	
0,26	0,26	0,26	0,26
15 MART, 12:00			
0,31	0,31	0,31	0,31
0,27	0,27	0,27	
0,26	0,26	0,26	0,26
15 MART, 16:00			
0,24	0,24	0,24	0,24
0,26	0,26	0,26	
0,26	0,26	0,26	0,26
15 HAZİRAN, 08:00			
0,25	0,25	0,25	0,25
0,25	0,25	0,25	
0,25	0,25	0,25	0,25
15 HAZİRAN, 12:00			
0,31	0,31	0,31	0,31
0,29	0,29	0,29	
0,28	0,28	0,28	0,28
15 HAZİRAN, 16:00			
0,26	0,26	0,26	0,26
0,26	0,26	0,26	
0,26	0,26	0,26	0,26



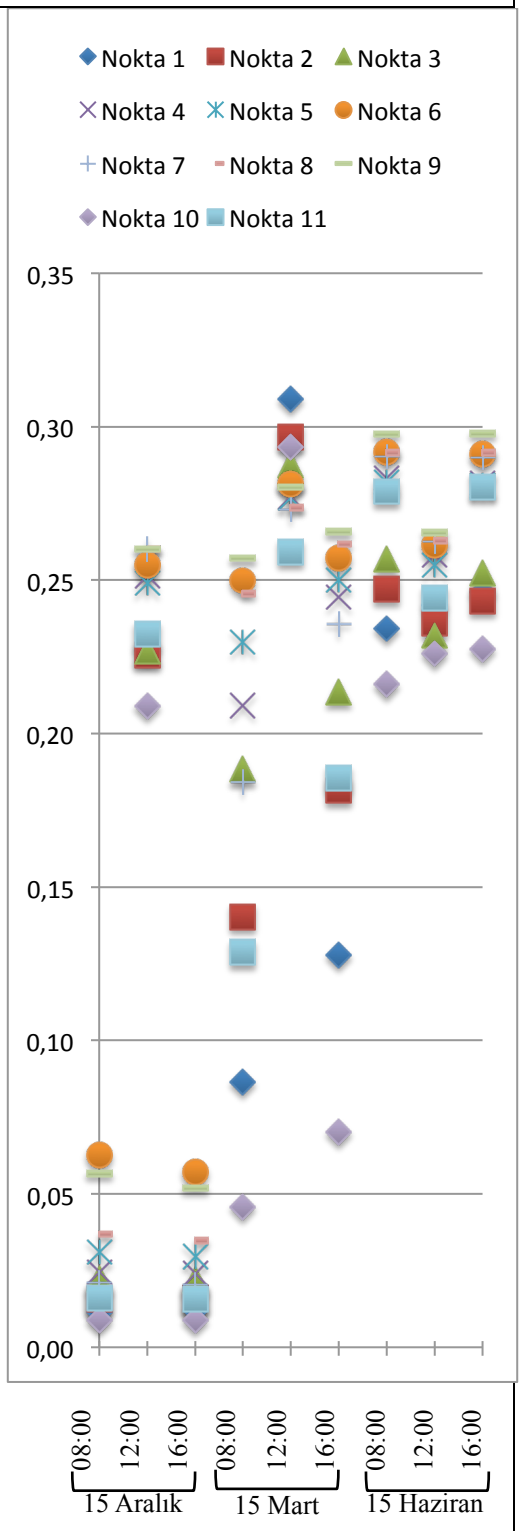
Çizelge C.3 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D3 senaryosu.

D3_ DGP DEĞERLERİ			
Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 10
Nokta 4	Nokta 5	Nokta 6	-
Nokta 7	Nokta 8	Nokta 9	Nokta 11
15 ARALIK, 08:00			
0,02	0,02	0,02	0,02
0,01	0,01	0,01	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 ARALIK, 12:00			
0,29	0,29	0,29	0,29
0,29	0,29	0,29	
0,27	0,27	0,27	0,27
15 ARALIK, 16:00			
0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 MART, 08:00			
0,14	0,14	0,14	0,14
0,10	0,10	0,10	
0,06	0,06	0,06	0,06
15 MART, 12:00			
0,30	0,30	0,30	0,30
0,27	0,27	0,27	
0,26	0,26	0,26	0,26
15 MART, 16:00			
0,18	0,18	0,18	0,18
0,15	0,15	0,15	
0,10	0,10	0,10	0,10
15 HAZİRAN, 08:00			
0,22	0,22	0,22	0,22
0,22	0,22	0,22	
0,20	0,20	0,20	0,20
15 HAZİRAN, 12:00			
0,33	0,33	0,33	0,33
0,31	0,31	0,31	
0,28	0,28	0,28	0,28
15 HAZİRAN, 16:00			
0,27	0,27	0,27	0,27
0,28	0,28	0,28	
0,27	0,27	0,27	0,27



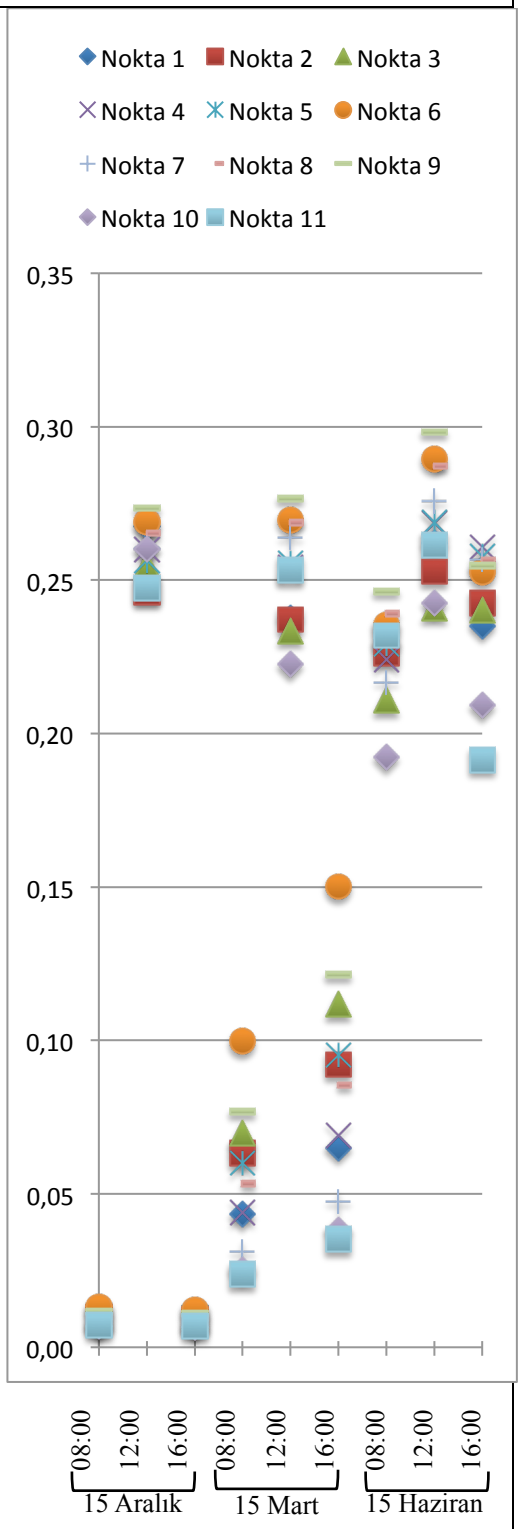
Çizelge C.4 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D4 senaryosu.

D4- DGP DEĞERLERİ			
Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 10
Nokta 4	Nokta 5	Nokta 6	-
Nokta 7	Nokta 8	Nokta 9	Nokta 11
15 ARALIK, 08:00			
0,01	0,02	0,02	0,01
0,02	0,03	0,06	
0,02	0,04	0,06	0,02
15 ARALIK, 12:00			
0,23	0,23	0,23	0,21
0,25	0,25	0,25	
0,26	0,26	0,26	0,23
15 ARALIK, 16:00			
0,01	0,02	0,02	0,01
0,02	0,03	0,06	
0,02	0,03	0,05	0,02
15 MART, 08:00			
0,09	0,14	0,19	0,05
0,21	0,23	0,25	
0,18	0,25	0,26	0,13
15 MART, 12:00			
0,31	0,30	0,29	0,29
0,28	0,28	0,28	
0,27	0,27	0,28	0,26
15 MART, 16:00			
0,13	0,18	0,21	0,07
0,24	0,25	0,26	
0,24	0,26	0,27	0,19
15 HAZİRAN, 08:00			
0,23	0,25	0,26	0,22
0,28	0,28	0,29	
0,29	0,29	0,30	0,28
15 HAZİRAN, 12:00			
0,24	0,24	0,23	0,23
0,26	0,25	0,26	
0,26	0,26	0,27	0,24
15 HAZİRAN, 16:00			
0,25	0,24	0,25	0,23
0,28	0,28	0,29	
0,29	0,29	0,30	0,28



Çizelge C.5 : Hesap noktalarında elde edilen DGP değerleri - D5 senaryosu.

D5- DGP DEĞERLERİ			
Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 10
Nokta 4	Nokta 5	Nokta 6	-
Nokta 7	Nokta 8	Nokta 9	Nokta 11
15 ARALIK, 08:00			
0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 ARALIK, 12:00			
0,27	0,25	0,25	0,26
0,26	0,26	0,27	
0,26	0,27	0,27	0,25
15 ARALIK, 16:00			
0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	
0,01	0,01	0,01	0,01
15 MART, 08:00			
0,04	0,06	0,07	0,03
0,04	0,06	0,10	
0,03	0,05	0,08	0,02
15 MART, 12:00			
0,24	0,24	0,23	0,22
0,25	0,26	0,27	
0,26	0,27	0,28	0,25
15 MART, 16:00			
0,07	0,09	0,11	0,04
0,07	0,10	0,15	
0,05	0,09	0,12	0,04
15 HAZİRAN, 08:00			
0,23	0,23	0,21	0,19
0,22	0,23	0,24	
0,22	0,24	0,25	0,23
15 HAZİRAN, 12:00			
0,26	0,25	0,24	0,24
0,27	0,27	0,29	
0,28	0,29	0,30	0,26
15 HAZİRAN, 16:00			
0,24	0,24	0,24	0,21
0,26	0,26	0,25	
0,26	0,26	0,25	0,19



EK D. Aydınlatma enerjisi değerlendirmesi sonuçları

Çizelge D.1 : Manuel açma- kapatma seçeneğine ilişkin hesap sonuçları.

Tarih	D1, D2, D3, D4, D5				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 12:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 16:00	6	426	282	109908	72756
15 Haziran 08:00	6	426	282	56232	37224
15 Haziran12:00	6	426	282	56232	37224
15 Haziran16:00	6	426	282	56232	37224
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				751464	497448
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				751,464	497,448
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**764,054**	**514,238**

Çizelge D.2 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama (K2) senaryosuna ilişkin hesap sonuçları (D1).

Tarih	**D1_K2**				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	3	213	141	42174	27918
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 12:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 16:00	3	213	141	54954	36378
15 Haziran 08:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran12:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran16:00	3	213	141	28116	18612
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				515034	340938
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				515,034	340,938
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**527,624**	**357,728**

Çizelge D.3 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D2).

	D2_K2				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	3	213	141	42174	27918
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 12:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 16:00	3	213	141	54954	36378
15 Haziran 08:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran12:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran16:00	3	213	141	28116	18612
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				460080	304560
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				460,08	304,56
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**472,67**	**321,35**

Çizelge D.4 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D3).

	D3_K2				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	3	213	141	42174	27918
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 12:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 16:00	6	426	282	109908	72756
15 Haziran 08:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran12:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran16:00	3	213	141	28116	18612
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				569988	377316
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				569,988	377,316
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**582,578**	**394,11**

Çizelge D.5 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneğine ilişkin hesap sonuçları (D4).

	D4_K2				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	3	213	141	42174	27918
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 12:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 16:00	6	426	282	109908	72756
15 Haziran 08:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran12:00	6	426	282	56232	37224
15 Haziran16:00	6	426	282	56232	37224
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				626220	414540
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				626,22	414,54
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**638,81**	**431,33**

Çizelge D.6 : Günışığı açıklığına paralel olarak gruplanmış anahtarlama seçeneği hesap sonuçları (D5).

	D5_K2				
		saatlik güç		temsil edilen aylık güç	
	aktif lamba adedi	aktif lamba adedi x lamba gücü (A1)	aktif lamba adedi x lamba gücü (A2)	saatlik güç x temsil edilen saat (A1)	saatlik güç x temsil edilen saat (A2)
15 Aralık 08:00	6	426	282	84348	55836
15 Aralık 12:00	3	213	141	42174	27918
15 Aralık 16:00	6	426	282	84348	55836
15 Mart 08:00	6	426	282	109908	72756
15 Mart 12:00	3	213	141	54954	36378
15 Mart 16:00	6	426	282	109908	72756
15 Haziran 08:00	6	426	282	56232	37224
15 Haziran12:00	3	213	141	28116	18612
15 Haziran16:00	3	213	141	28116	18612
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)				598104	395928
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)				598,104	395,928
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)				**610,694**	**412,72**

Çizelge D.7 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D1_A1).

	D1_A1				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	200,70	156,35	39738,18	30956,43	70694,61
15 Aralık 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Aralık 16:00	201,46	160,00	39889,64	31680,32	71569,95
15 Mart 08:00	177,77	43,79	45865,25	11298,48	57163,73
15 Mart 12:00	7,55	0,00	1948,60	0,00	1948,60
15 Mart 16:00	169,12	2,28	43633,13	588,90	44222,03
15 Haziran 08:00	114,98	0,00	15177,14	0,00	15177,14
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	110,88	0,00	14636,58	0,00	14636,58
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					275412,64
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					275,41
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**296,41**

Çizelge D.8 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D2_A1).

	D2_A1				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	193,85	122,63	38383,05	24281,70	62664,74
15 Aralık 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Aralık 16:00	198,82	147,86	39366,07	29277,12	68643,19
15 Mart 08:00	127,84	0,00	32983,64	0,00	32983,64
15 Mart 12:00	23,04	0,00	5943,66	0,00	5943,66
15 Mart 16:00	115,06	0,00	29685,45	0,00	29685,45
15 Haziran 08:00	80,11	0,00	10574,08	0,00	10574,08
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	84,16	0,00	11109,45	0,00	11109,45
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					221604,21
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					221,60
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**242,60**

Çizelge D.9 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D3_A1).

	D3_A1				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	200,70	156,34	39738,18	30956,31	70694,49
15 Aralık 12:00	63,48	0,00	12569,46	0,00	12569,46
15 Aralık 16:00	201,46	160,00	39889,64	31680,32	71569,95
15 Mart 08:00	177,77	43,79	45865,25	11298,48	57163,73
15 Mart 12:00	54,69	0,00	14109,21	0,00	14109,21
15 Mart 16:00	169,12	2,28	43633,13	588,90	44222,03
15 Haziran 08:00	143,92	0,00	18997,61	0,00	18997,61
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	41,65	0,00	5497,74	0,00	5497,74
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					294824,23
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					294,82
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**315,82**

Çizelge D.10 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D4_A1).

	D4_A1				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	207,75	170,94	41133,59	33845,87	74979,46
15 Aralık 12:00	185,82	0,00	36791,56	0,00	36791,56
15 Aralık 16:00	206,63	171,32	40913,08	33921,78	74834,85
15 Mart 08:00	198,89	87,59	51314,53	22598,23	73912,76
15 Mart 12:00	151,77	0,00	39157,19	0,00	39157,19
15 Mart 16:00	195,73	57,96	50497,97	14953,57	65451,54
15 Haziran 08:00	175,20	0,00	23126,31	0,00	23126,31
15 Haziran 12:00	175,74	0,00	23197,26	0,00	23197,26
15 Haziran 16:00	173,48	0,00	22899,11	0,00	22899,11
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					434350,05
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					434,35
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**455,35**

Çizelge D.11 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D5_A1).

	D5_A1				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	206,38	184,68	40863,30	36565,77	77429,07
15 Aralık 12:00	123,87	0,00	24525,98	0,00	24525,98
15 Aralık 16:00	206,54	185,97	40894,17	36822,86	77717,03
15 Mart 08:00	194,62	128,25	50211,15	33087,75	83298,91
15 Mart 12:00	118,56	0,00	30588,17	0,00	30588,17
15 Mart 16:00	190,52	108,46	49154,07	27983,89	77137,96
15 Haziran 08:00	157,64	0,00	20808,21	0,00	20808,21
15 Haziran 12:00	51,75	0,00	6830,35	0,00	6830,35
15 Haziran 16:00	157,13	0,00	20741,48	0,00	20741,48
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					419077,14
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					419,08
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**440,08**

Çizelge D.12 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D1_A2).

	D1_A2				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	132,86	103,50	26305,56	20492,28	46797,84
15 Aralık 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Aralık 16:00	133,36	105,92	26405,81	20971,48	47377,29
15 Mart 08:00	117,68	28,99	30361,51	7479,27	37840,78
15 Mart 12:00	5,00	0,00	1289,92	0,00	1289,92
15 Mart 16:00	111,95	1,51	28883,90	389,84	29273,74
15 Haziran 08:00	76,11	0,00	10046,84	0,00	10046,84
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	73,40	0,00	9689,00	0,00	9689,00
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					182315,41
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					182,32
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**216,60**

Çizelge D.13 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D2_A2).

	D2_A2				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	128,33	81,18	25408,50	16073,80	41482,29
15 Aralık 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Aralık 16:00	131,61	97,88	26059,23	19380,63	45439,86
15 Mart 08:00	84,63	0,00	21834,24	0,00	21834,24
15 Mart 12:00	15,25	0,00	3934,53	0,00	3934,53
15 Mart 16:00	76,17	0,00	19650,93	0,00	19650,93
15 Haziran 08:00	53,03	0,00	6999,74	0,00	6999,74
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	55,71	0,00	7354,14	0,00	7354,14
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					146695,75
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					146,70
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**180,98**

Çizelge D.14 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D3_A2).

	D3_A2				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	132,86	103,50	26305,56	20492,20	46797,76
15 Aralık 12:00	42,02	0,00	8320,63	0,00	8320,63
15 Aralık 16:00	133,36	105,92	26405,81	20971,48	47377,29
15 Mart 08:00	117,68	28,99	30361,51	7479,27	37840,78
15 Mart 12:00	36,20	0,00	9339,90	0,00	9339,90
15 Mart 16:00	111,95	1,51	28883,90	389,84	29273,74
15 Haziran 08:00	95,27	0,00	12575,88	0,00	12575,88
15 Haziran 12:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 Haziran 16:00	27,57	0,00	3639,35	0,00	3639,35
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					195165,33
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					195,17
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**229,45**

Çizelge D.15 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D4_A2).

	D4_A2				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	137,52	113,16	27229,28	22405,01	49634,29
15 Aralık 12:00	123,00	0,00	24354,98	0,00	24354,98
15 Aralık 16:00	136,78	113,41	27083,30	22455,26	49538,56
15 Mart 08:00	131,66	57,98	33968,77	14959,39	48928,16
15 Mart 12:00	100,47	0,00	25920,96	0,00	25920,96
15 Mart 16:00	129,57	38,37	33428,23	9898,84	43327,08
15 Haziran 08:00	115,98	0,00	15308,97	0,00	15308,97
15 Haziran 12:00	116,33	0,00	15355,93	0,00	15355,93
15 Haziran 16:00	114,84	0,00	15158,57	0,00	15158,57
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					287527,50
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					287,53
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**321,81**

Çizelge D.16 : Günışığına bağlı loşlaştırma seçeneği hesap sonuçları (D5_A2).

	D5_A2				
Tarih	$Bölge_1$_güç (Watt)	$Bölge_2$_güç (Watt)	$Bölge_1$_güç (Watt) x temsili saat	$Bölge_2$_güç (Watt) x temsili saat	Toplam
15 Aralık 08:00	136,62	122,25	27050,35	24205,51	51255,86
15 Aralık 12:00	82,00	0,00	16235,51	0,00	16235,51
15 Aralık 16:00	136,72	123,11	27070,79	24375,69	51446,48
15 Mart 08:00	128,83	84,90	33238,37	21903,16	55141,53
15 Mart 12:00	78,48	0,00	20248,50	0,00	20248,50
15 Mart 16:00	126,12	71,80	32538,61	18524,55	51063,15
15 Haziran 08:00	104,35	0,00	13774,45	0,00	13774,45
15 Haziran 12:00	34,25	0,00	4521,50	0,00	4521,50
15 Haziran 16:00	104,02	0,00	13730,27	0,00	13730,27
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (wh)					277417,26
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh)					277,42
Yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi (kWh) (Parazit enerji ilave edilmiş) (kWh)					**311,70**

EK E. Maliyet değerlendirmesi sonuçları

Çizelge E.1 : D1_A1_ K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	218,97	7,50	17,39		3807,92
				NET	**6640,08**

Çizelge E.2 : D1_A1_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	151,21	7,50	17,39		2629,59
				NET	**5461,75**

Çizelge E.3 : D1_A1_K3, maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (6 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Balast (6 adet)	505,37	-	1,00		505,37
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer (armatürler)	551,85	7,50	0,46		-254,12
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	93,03	7,50	0,46		-42,84
Hesap süresi sonundaki final değer Balast (6 adet)	252,68	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,81	7,50	17,39		1839,99
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	84,95	7,50	17,39		1477,26
				NET	**6122,67**

Çizelge E.4 : D1_A2_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)					
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ					
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	147,38	7,50	17,39		2562,88
				NET	7042,83

Çizelge E.5 : D1_A2_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	102,52	7,50	17,39		1782,86
				NET	**6262,81**

Çizelge E.6 : D1_A2_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Driver (6 adet)	472,23	-	1,00		472,23
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	868,33	7,50	0,46		-399,85
Hesap süresi sonundaki final değer Driver (6 adet)	236,11	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	153,15	7,50	17,39		2663,36
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	62,07	7,50	17,39		1079,47
				NET	**6959,49**

Çizelge E.7 : D2_A1_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	218,97	7,50	17,39		3807,92
				NET	**6640,08**

Çizelge E.8 : D2_A1_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	İndirim Oranı		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	135,46	7,50	17,39		2355,71
				NET	**5187,86**

Çizelge E.9 : D2_A1_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (6 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Balast (6 adet)	505,37	-	1,00		505,37
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer (armatürler)	551,85	7,50	0,46		-254,12
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	93,03	7,50	0,46		-42,84
Hesap süresi sonundaki final değer Balast (6 adet)	252,68	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,81	7,50	17,39		1839,99
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	69,53	7,50	17,39		1209,08
				NET	**5854,49**

Çizelge E.10 : D2_A2_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ					
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	147,38	7,50	17,39		2562,88
				NET	7042,83

Çizelge E.11 : D2_A2_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	92,10	7,50	17,39		1601,55
				NET	6081,51

Çizelge E.12 : D2_A2_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Driver (6 adet)	472,23	-	1,00		472,23
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	868,33	7,50	0,46		-399,85
Hesap süresi sonundaki final değer Driver (6 adet)	236,11	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	153,15	7,50	17,39		2663,36
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	51,87	7,50	17,39		901,95
				NET	6781,97

Çizelge E.13 : D3_A1_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	218,97	7,50	17,39		3807,92
				NET	**6640,08**

Çizelge E.14 : D3_A1_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	167,08197	7,5	17,39010716		2905,57
				NET	5737,73

Çizelge E.15 : D3_A1_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (6 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Balast (6 adet)	505,37	-	1,00		505,37
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer (armatürler)	551,85	7,50	0,46		-254,12
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	93,03	7,50	0,46		-42,84
Hesap süresi sonundaki final değer Balast (6 adet)	252,68	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,81	7,50	17,39		1839,99
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	90,56	7,50	17,39		1574,89
				NET	6220,31

Çizelge E.16 : D3_A2_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)					
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ					
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	147,38	7,50	17,39		2562,88
				NET	7042,83

Çizelge E.17 : D3_A2_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	112,92	7,50	17,39		1963,63
				NET	6443,59

Çizelge E.18 : D3_A2_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Driver (6 adet)	472,23	-	1,00		472,23
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	868,33	7,50	0,46		-399,85
Hesap süresi sonundaki final değer Driver (6 adet)	236,11	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	153,15	7,50	17,39		2663,36
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	65,63	7,50	17,39		1141,30
				NET	7021,31

Çizelge E.19 : D4_A1_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	218,97	7,50	17,39		3807,92
				NET	**6640,08**

Çizelge E.20 : D4_A1_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	183,13101	7,5	17,39010716		3184,67
				NET	6016,83

Çizelge E.21 : D4_A1_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (6 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Balast (6 adet)	505,37	-	1,00		505,37
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer (armatürler)	551,85	7,50	0,46		-254,12
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	93,03	7,50	0,46		-42,84
Hesap süresi sonundaki final değer Balast (6 adet)	252,68	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,81	7,50	17,39		1839,99
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	130,40	7,50	17,39		2267,64
				NET	6913,06

Çizelge E.22 : D4_A2_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)					
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ					
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	147,38	7,50	17,39		2562,88
				NET	7042,83

Çizelge E.23 : D4_A2_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	123,52	7,50	17,39		2148,03
				NET	6627,99

Çizelge E.24 : D4_A2_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Driver (6 adet)	472,23	-	1,00		472,23
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	868,33	7,50	0,46		-399,85
Hesap süresi sonundaki final değer Driver (6 adet)	236,11	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	153,15	7,50	17,39		2663,36
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	92,28	7,50	17,39		1604,79
				NET	7484,81

Çizelge E.25 : D5_A1_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ			**Bugünkü değer faktörü**		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	218,97	7,50	17,39		3807,92
				NET	**6640,08**

Çizelge E.26 : D5_A1_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (12 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer	551,85	7,50	0,46		-254,12
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	57,01	7,50	17,39		991,44
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	175,10649	7,5	17,39010716		3045,12
				NET	5877,28

Çizelge E.27 : D5_A1_K3 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
Fluoresan armatür (6 adet)	1103,70	-	1,00		1103,70
Flüoresan lamba (6 adet)	141,60	-	1,00		141,60
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Balast (6 adet)	505,37	-	1,00		505,37
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (10.yıl)	141,60	7,50	0,68		96,09
Fluoresan armatür (6 adet) yenileme maliyeti (20. yıl)	1103,70	7,50	0,46		508,24
Flüoresan lambaların yenileme maliyeti (20.yıl)	141,60	7,50	0,46		65,21
Hesap süresi sonundaki final değer (armatürler)	551,85	7,50	0,46		-254,12
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	93,03	7,50	0,46		-42,84
Hesap süresi sonundaki final değer Balast (6 adet)	252,68	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,81	7,50	17,39		1839,99
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	126,10	7,50	17,39		2192,89
				NET	6838,30

Çizelge E.28 : D5_A2_K1 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)					
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ					
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	147,38	7,50	17,39		2562,88
				NET	7042,83

Çizelge E.29 : D5_A2_K2 maliyet değerlendirmesi.

Hesap Periyodu	30,00	yıl			
Enflasyon oranı	7,50	%			
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%			
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl			
1. İLK YATIRIM MALİYETİ	**Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)**	**Enflasyon oranı**	**Bugünkü değer faktörü**		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer	-	-	-		
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	105,68	7,50	17,39		1837,86
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	118,36	7,50	17,39		2058,32
				NET	6538,28

Çizelge E.30 : D5_A2_K3 maliyet değerlendirmesi.

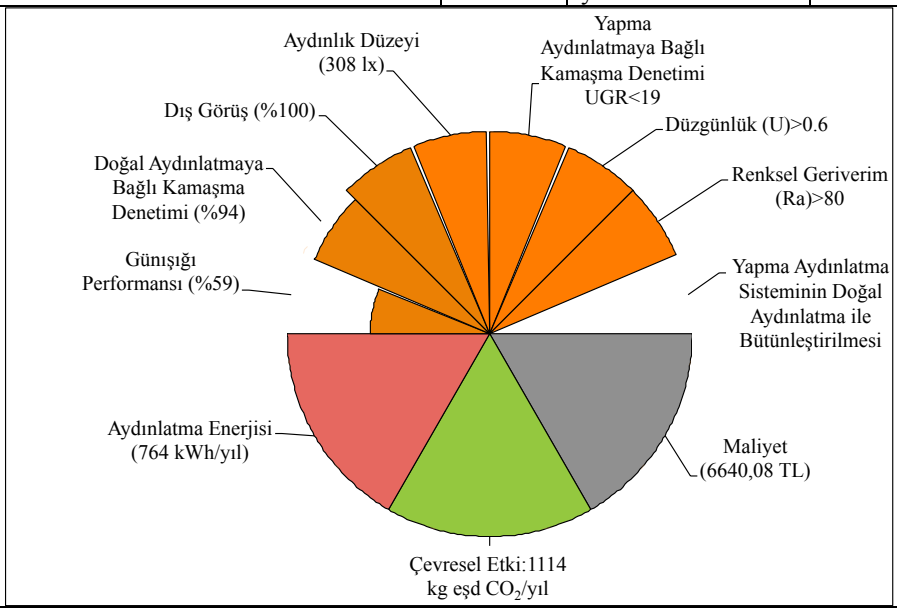
Hesap Periyodu	30,00	yıl
Enflasyon oranı	7,50	%
Piyasa Faiz Oranı	11,75	%
Geri Ödeme Süresi	50,00	yıl

1. İLK YATIRIM MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		**TOPLAM**
LED (6 adet)	2462,10	-	1,00		2462,10
Kurulum maliyeti (1 adam gün)	180,00	-	1,00		180,00
Merkez Ekipman (1 adet)	186,07	-	1,00		186,07
Driver (6 adet)	472,23	-	1,00		472,23
Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	416,80	-	1,00		416,80
Mühendislik Hizmeti	111,64	-	1,00		111,64
2. YENİLEME MALİYETİ			**İndirim Oranı**		
Hesap süresi sonundaki final değer Merkez Ekipman (1 adet)	868,33	7,50	0,46		-399,85
Hesap süresi sonundaki final değer Driver (6 adet)	236,11	7,50	0,46		-116,36
Hesap süresi sonundaki final değer Doğal Aydınlatma Sensörü (2 adet)	208,40	7,50	0,46		-95,96
3. İŞLETME MALİYETİ (Enerji Hariç)			**Bugünkü değer faktörü**		
İlk yatırım maliyetinin %4'ü	153,15	7,50	17,39		2663,36
4. ENERJİ MALİYETİ	Toplam maliyet (KDV Dahil) (TL)	Enflasyon oranı	Bugünkü değer faktörü		
Aydınlatma enerjisi maliyetleri	89,42	7,50	17,39		1554,96
				NET	7434,97

EK F. Ele alınan senaryolara ilişkin aydınlatma tasarımı göstergeleri

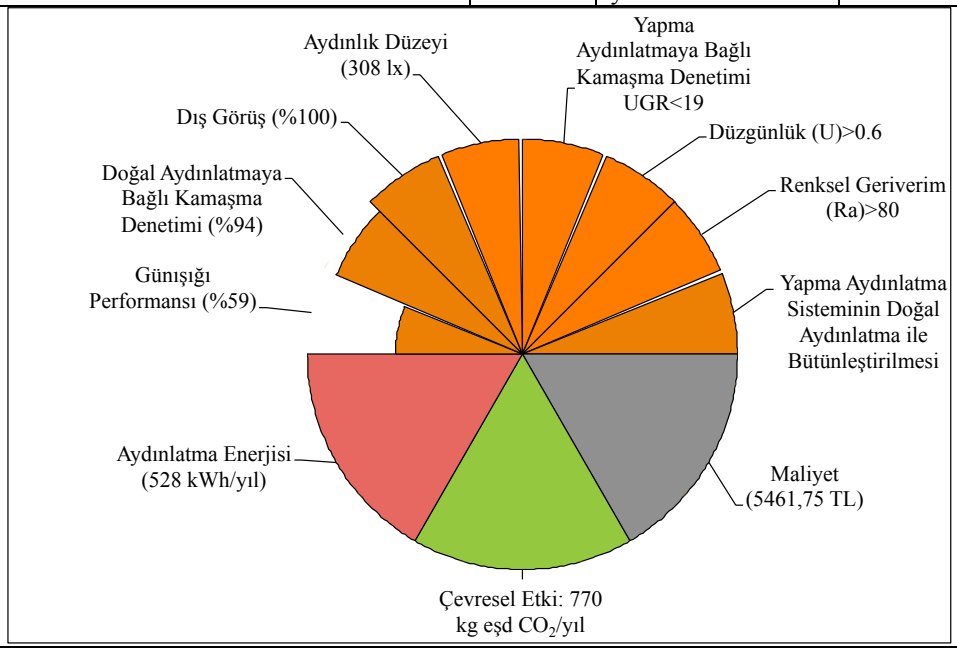
Çizelge F.1 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K1.

Senaryo Adı: D1_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



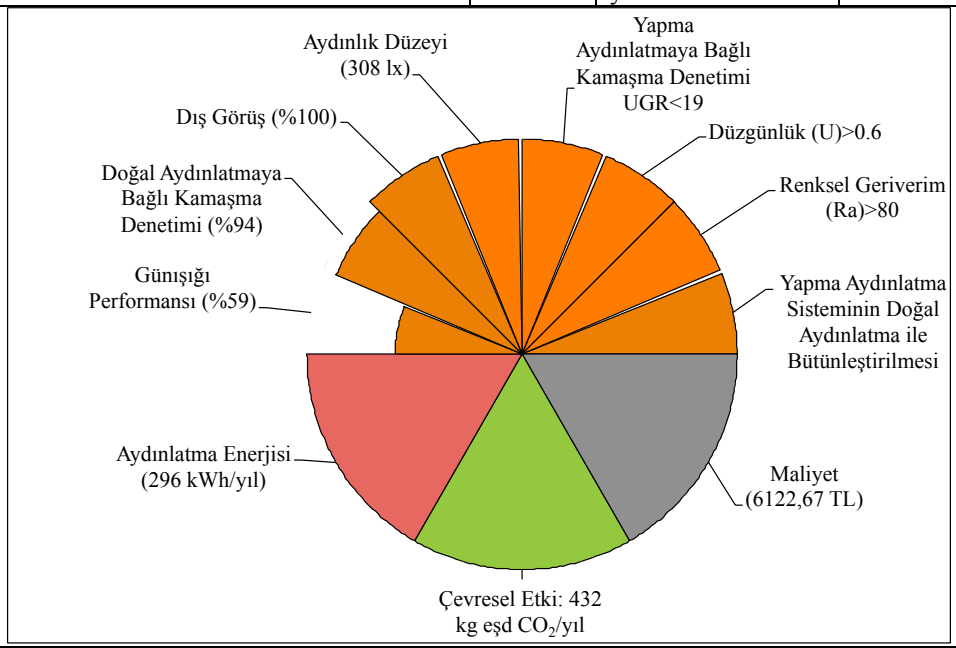
Çizelge F.2 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K2.

Senaryo Adı: D1_A1_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	528 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	770 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	5461,75 TL



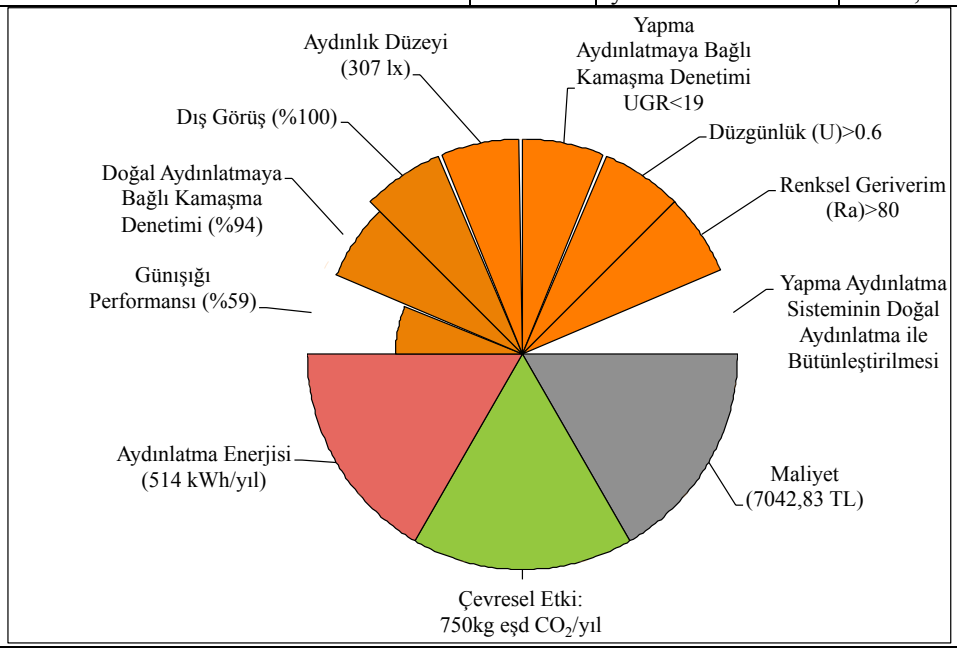
Çizelge F.3 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A1_K3.

Senaryo Adı: D1_A1_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	296 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	432 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6122,67 TL



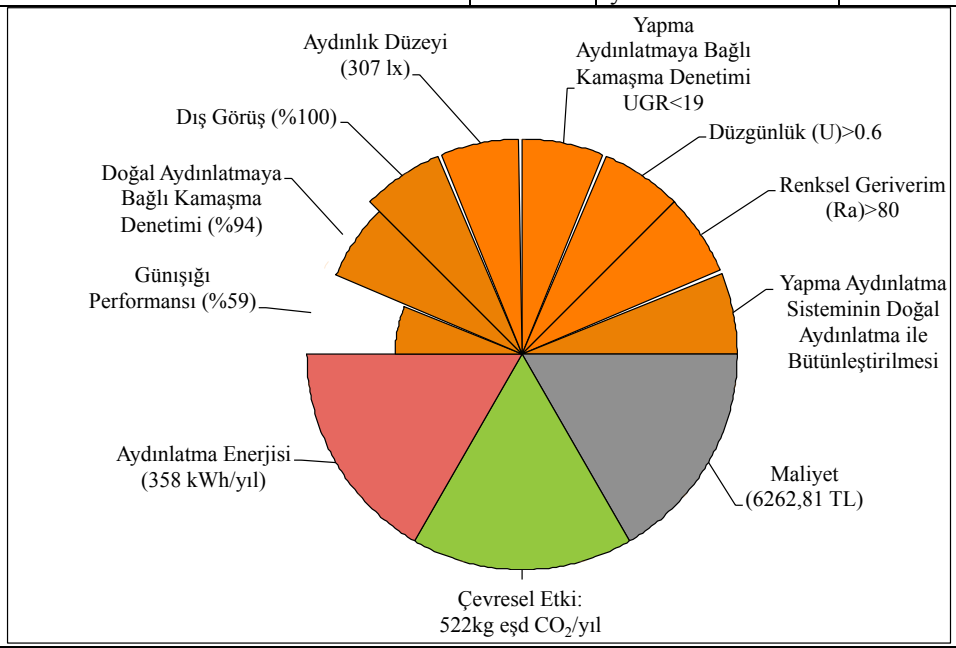
Çizelge F.4 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K1.

Senaryo Adı: D1_A2_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	514 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	750 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7042,83 TL



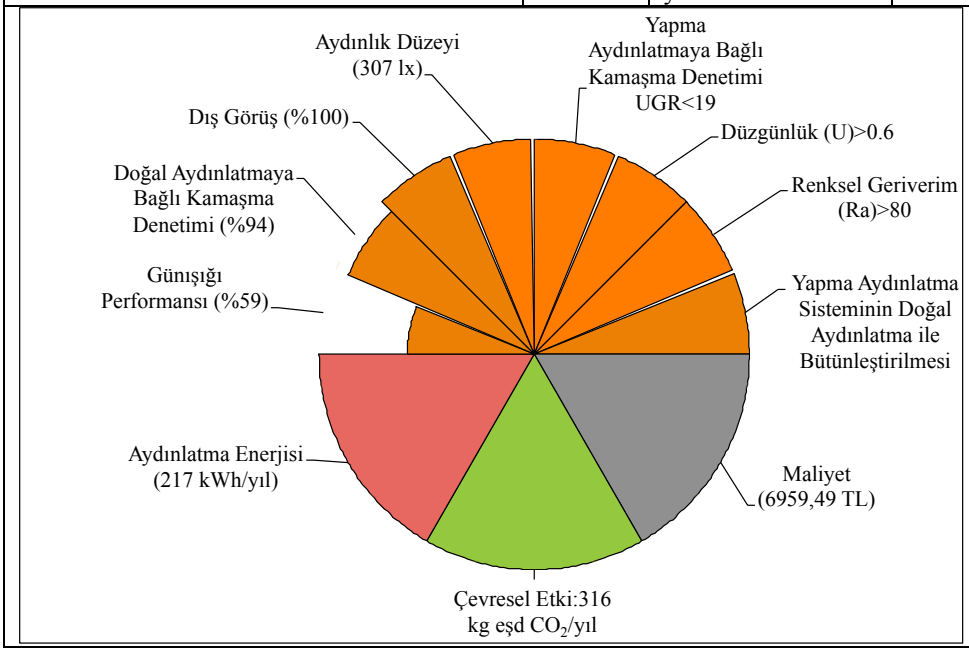
Çizelge F.5 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K2.

Senaryo Adı: D1_A2_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	358 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	522 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6262,81 TL



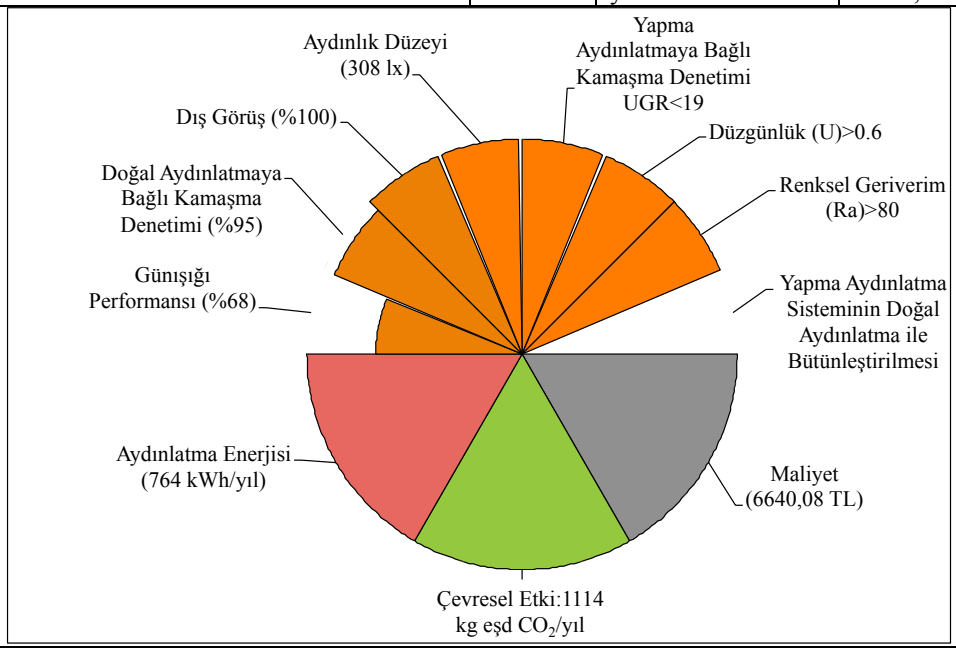
Çizelge F.6 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D1_A2_K3.

Senaryo Adı: D1_A2_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	59%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	6,06%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	217 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	316 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6959,49 TL



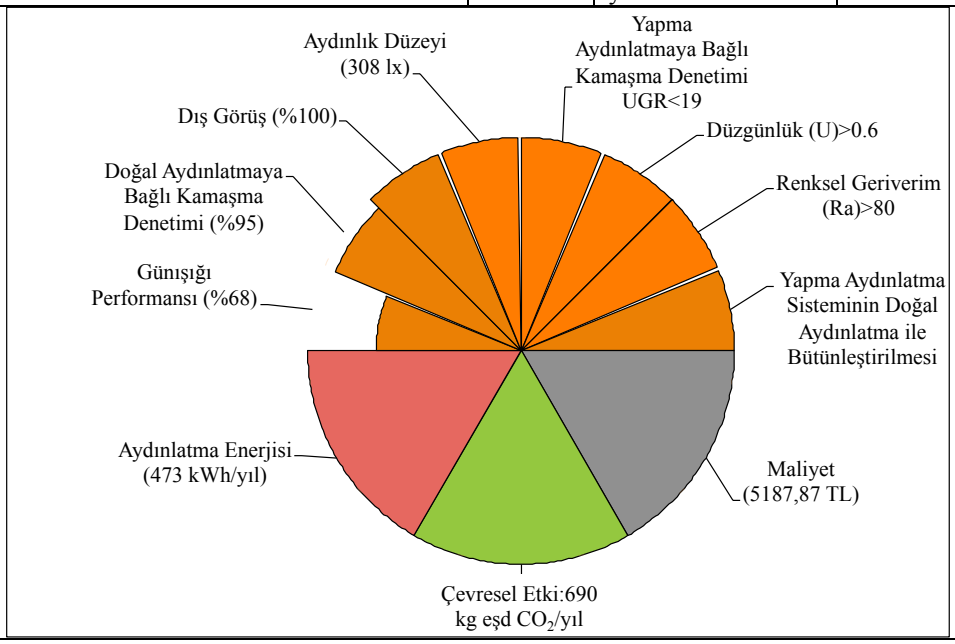
Çizelge F.7 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K1.

Senaryo Adı: D2_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



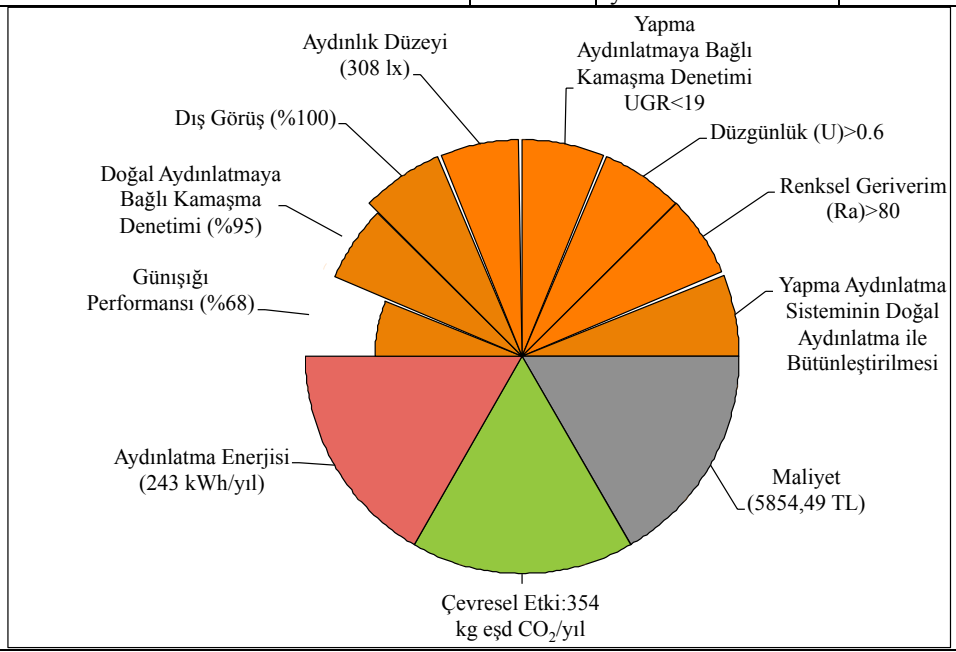
Çizelge F.8 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K2.

Senaryo Adı: D2_A1_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	473 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	690 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	5187,87 TL



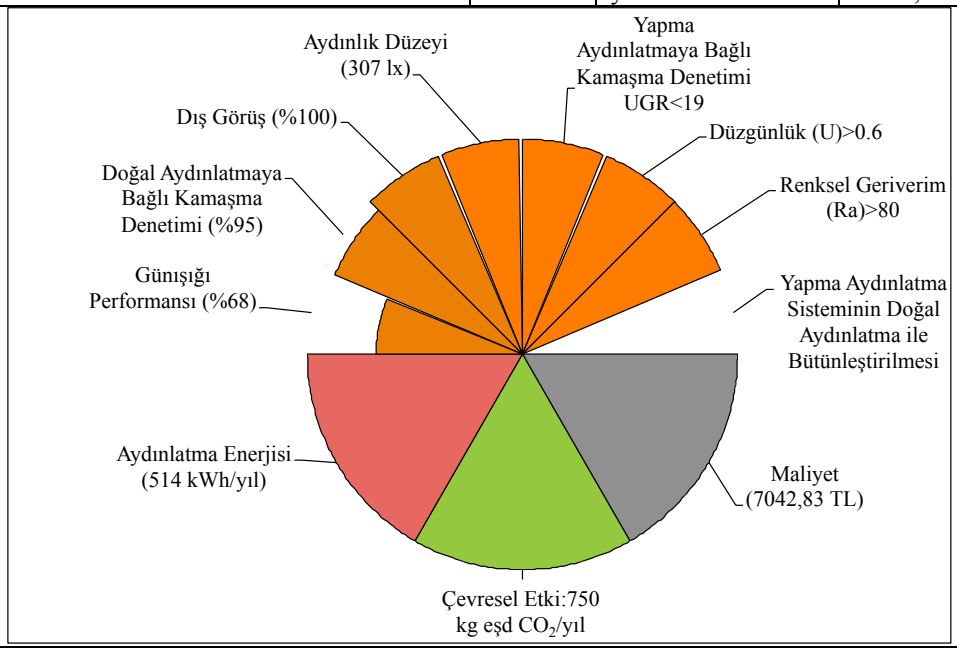
Çizelge F.9 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A1_K3.

Senaryo Adı: D2_A1_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	243 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	354 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	5854,49 TL



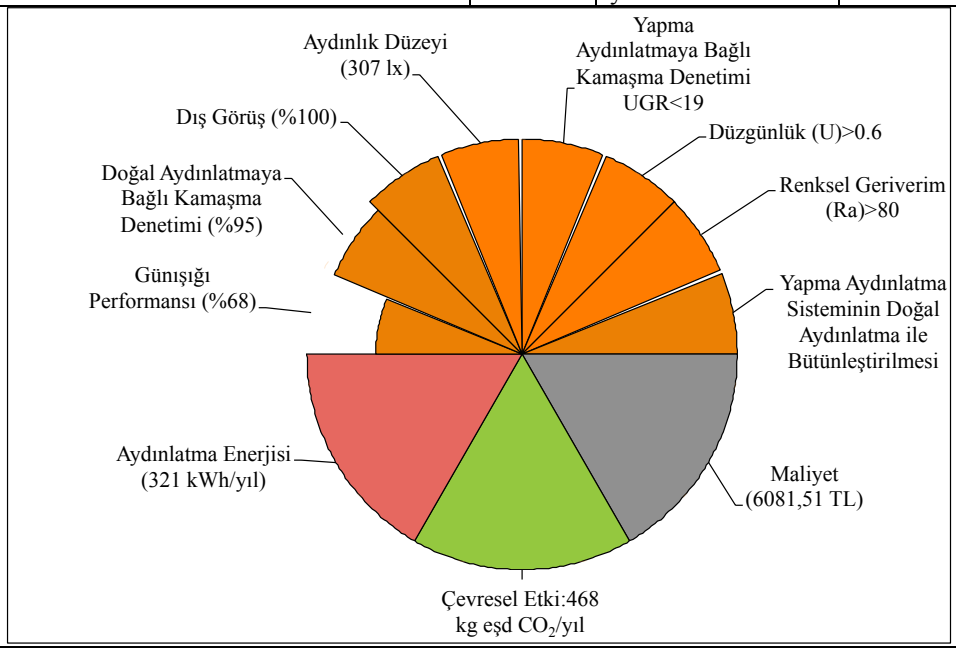
Çizelge F.10 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K1.

Senaryo Adı: D2_A2_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	514 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	750 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7042,83 TL



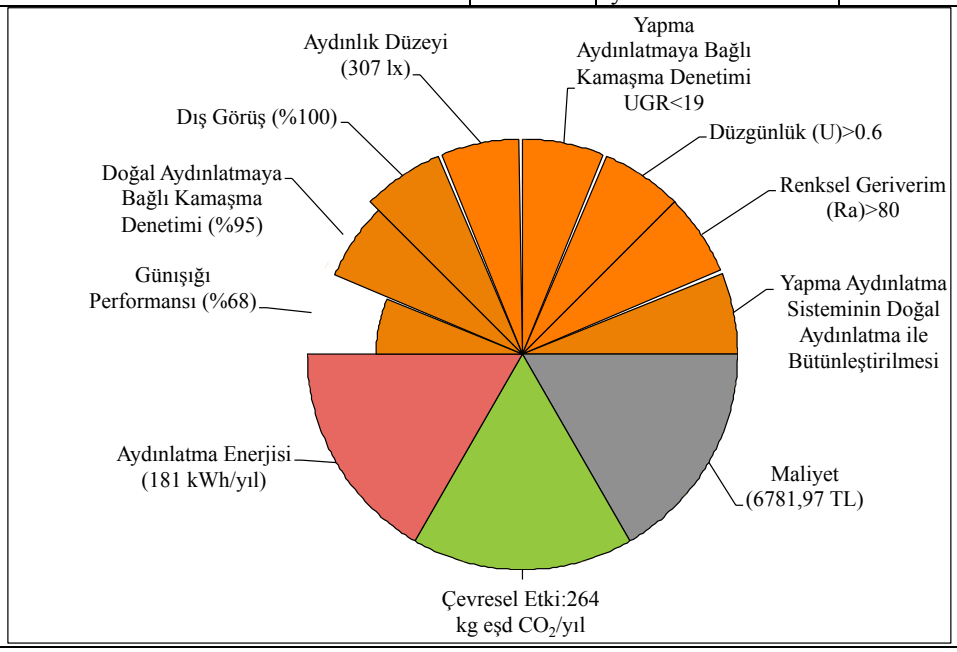
Çizelge F.11 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K2.

Senaryo Adı: D2_A2_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	321 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	468 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6081,51 TL



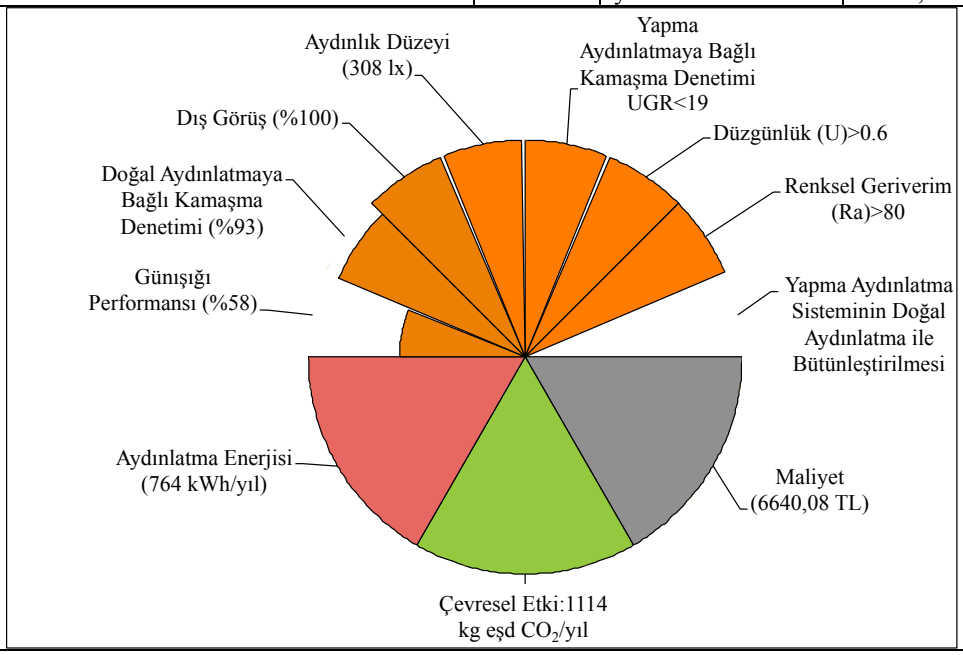
Çizelge F.12 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D2_A2_K3.

Senaryo Adı: D2_A2_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	68%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%5.38
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	181 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	264 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6781,97 TL



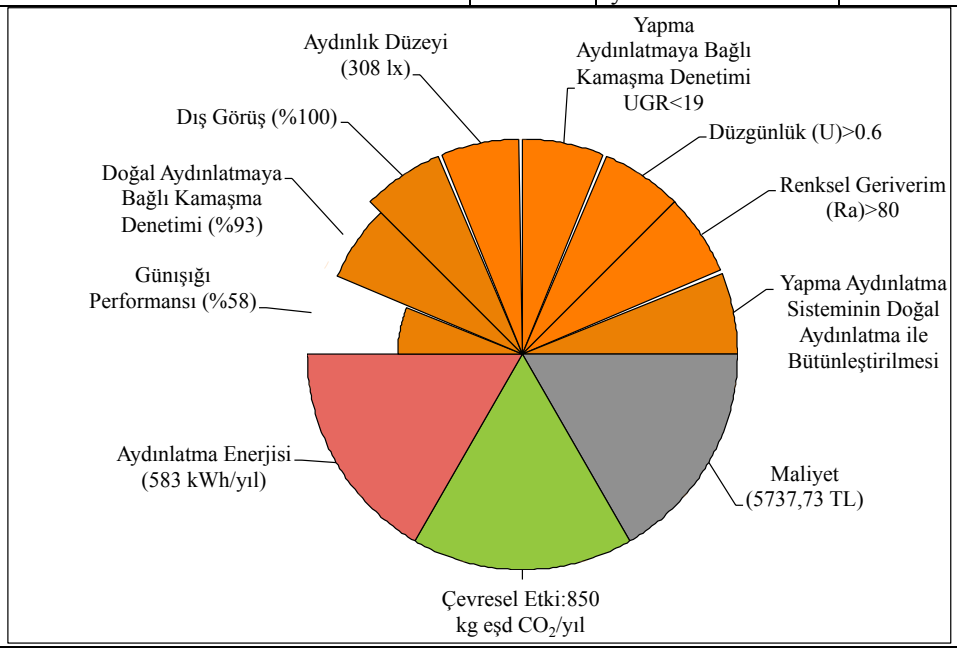
Çizelge F.13 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K1.

Senaryo Adı: D3_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



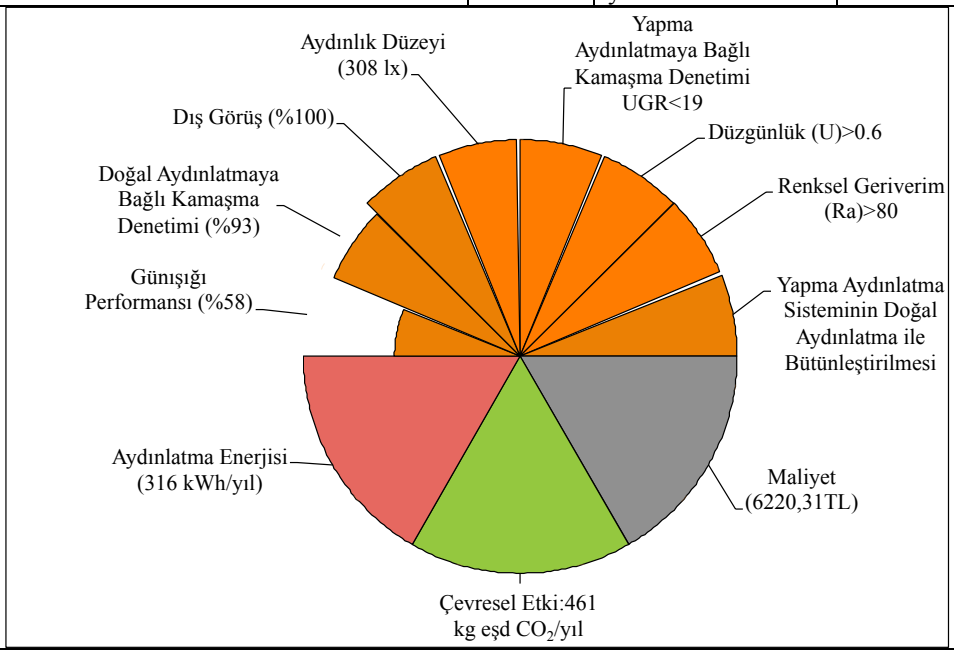
Çizelge F.14 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K2.

Senaryo Adı: D3_A1_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	583 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	850 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	5737,73 TL



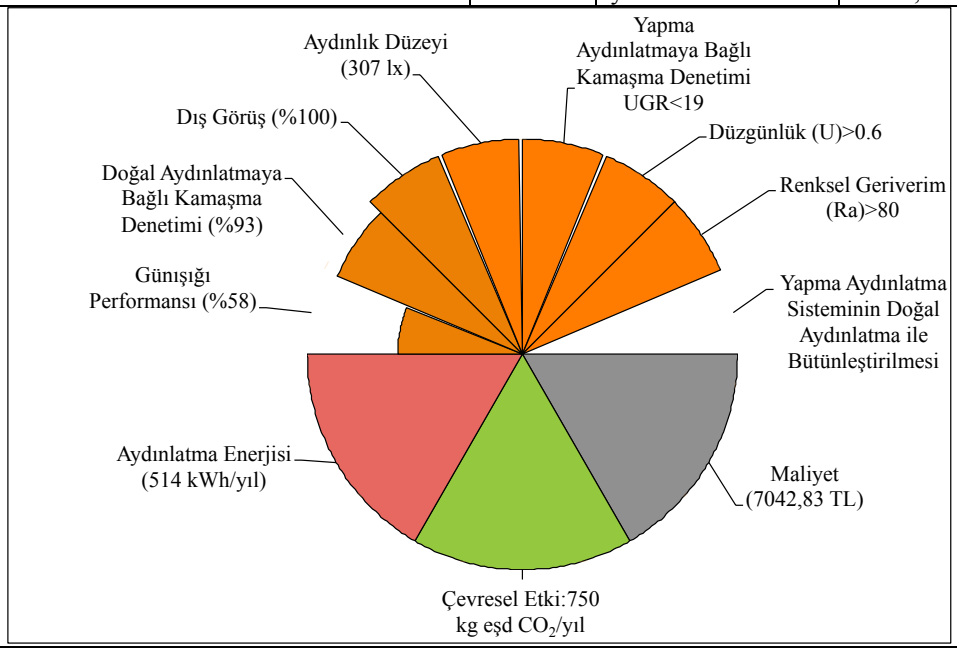
Çizelge F.15 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A1_K3.

Senaryo Adı: D3_A1_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	316 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	461 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6220,31 TL



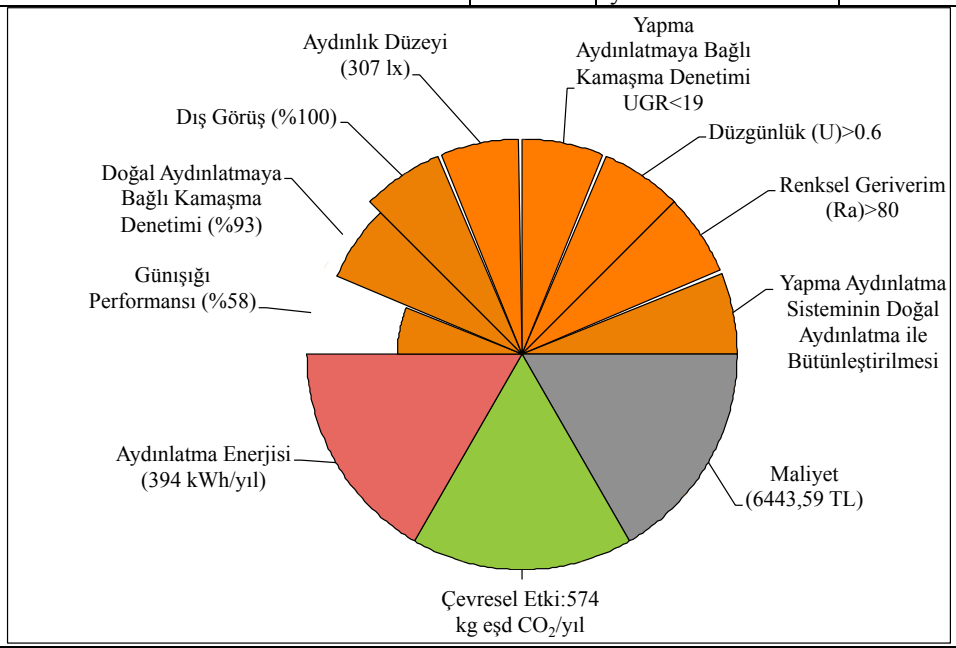
Çizelge F.16 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K1.

Senaryo Adı: D3_A2_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	514 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	750 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7042,83 TL



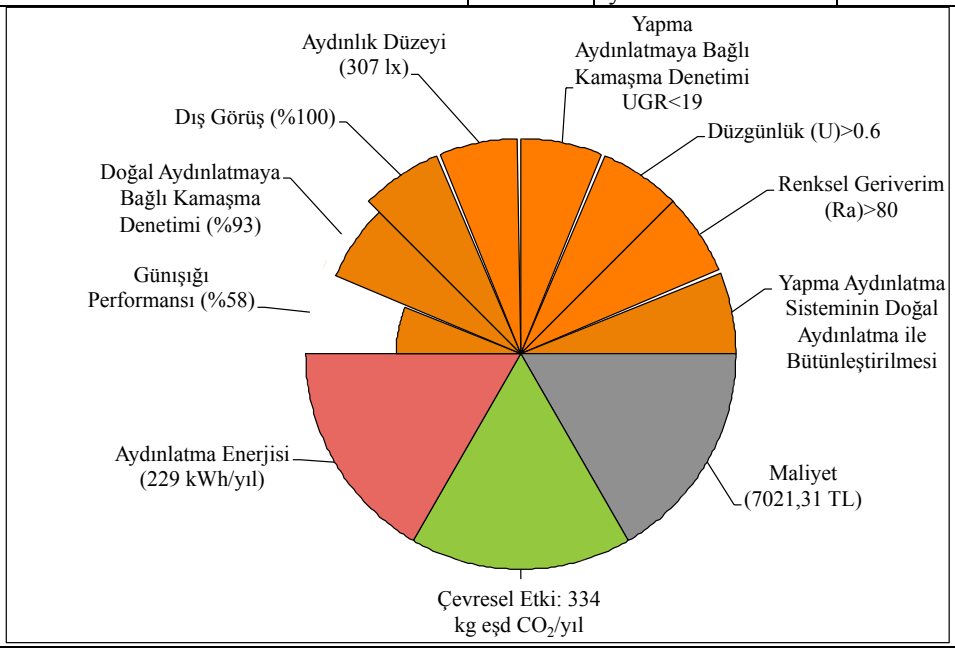
Çizelge F.17 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K2.

Senaryo Adı: D3_A2_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	394 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	575 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6443,59 TL



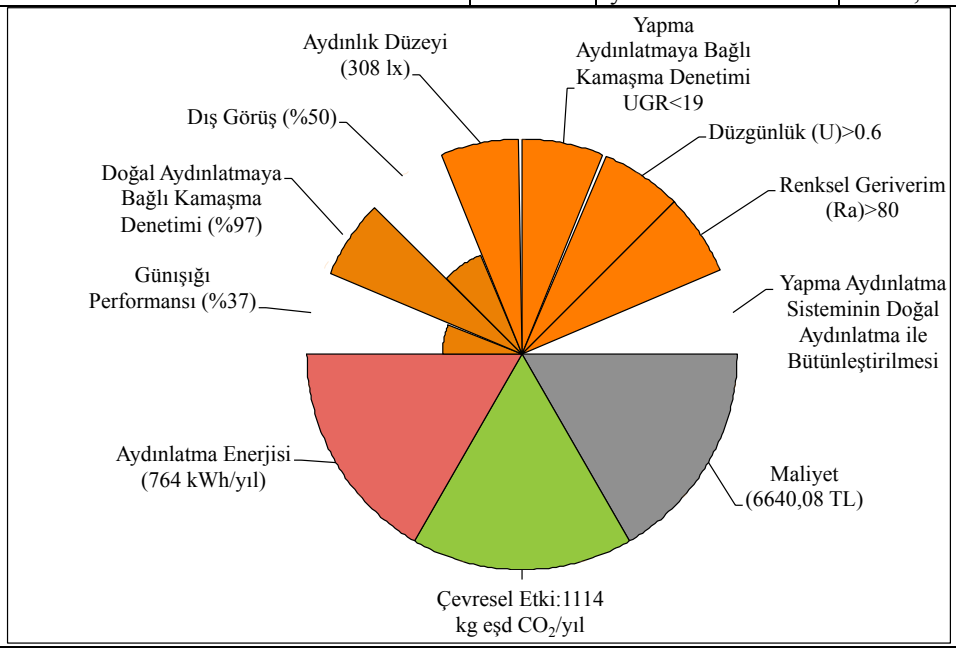
Çizelge F.18 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D3_A2_K3.

Senaryo Adı: D3_A2_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	58%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%6.74
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	229 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	334 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7021,31 TL



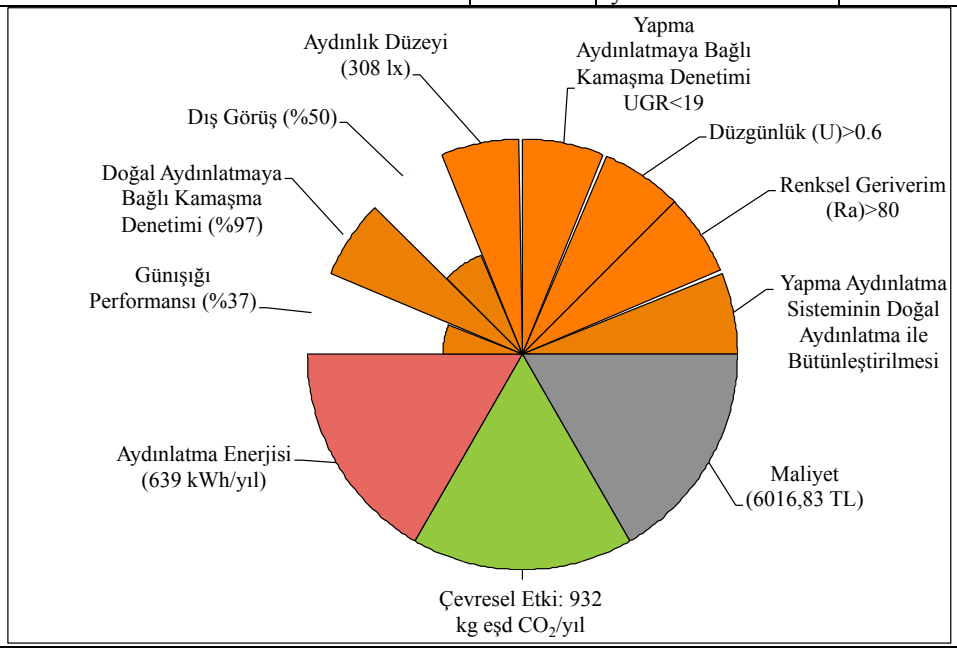
Çizelge F.19 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K1.

Senaryo Adı: D4_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



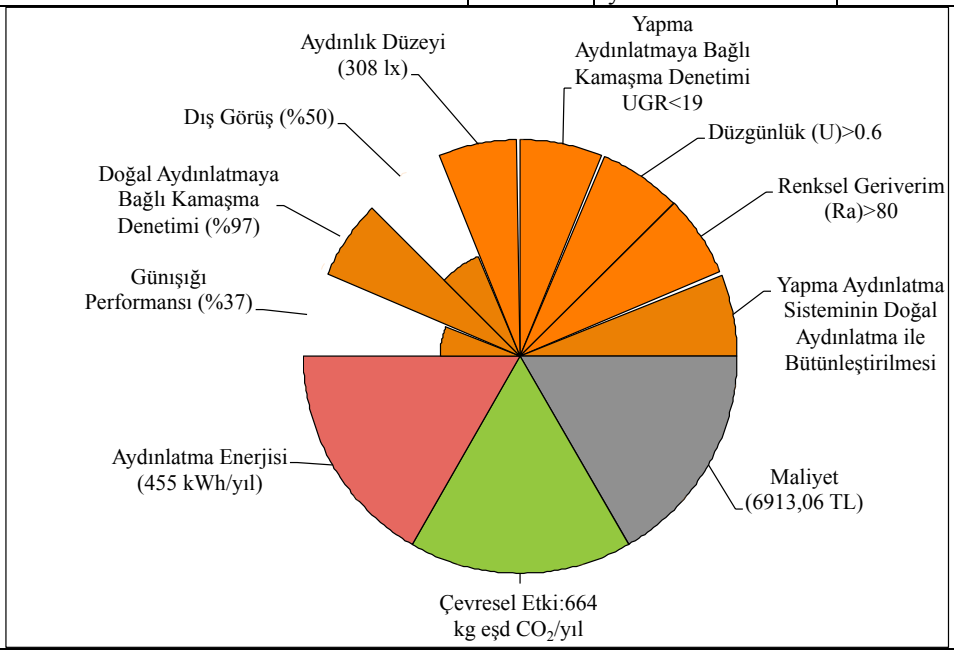
Çizelge F.20 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K2.

Senaryo Adı: D4_A1_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	639 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	932 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6016,83 TL



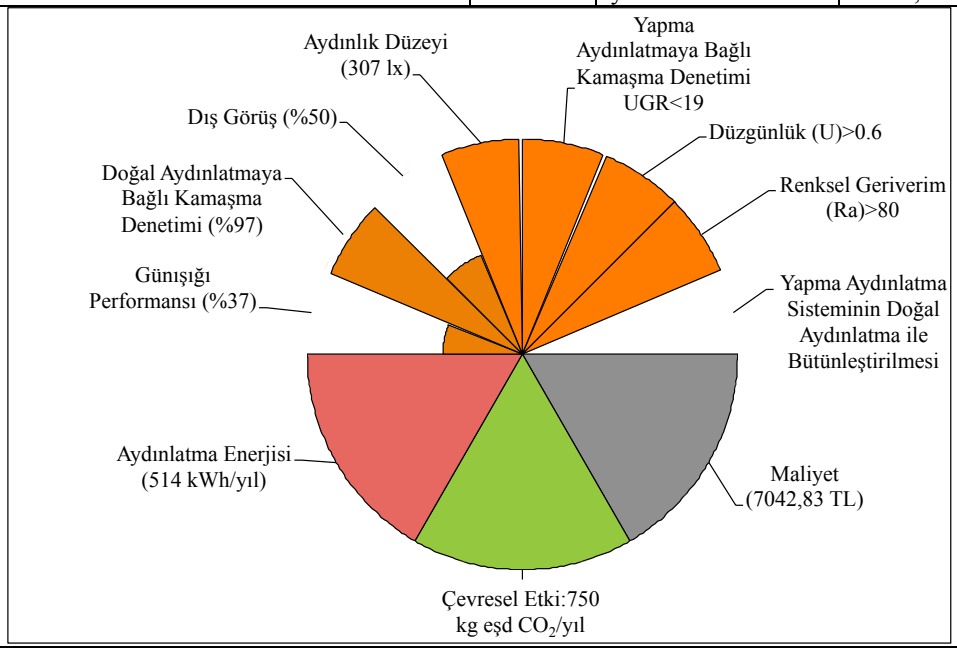
Çizelge F.21 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A1_K3.

Senaryo Adı: D4_A1_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	455 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	664 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6913,06 TL



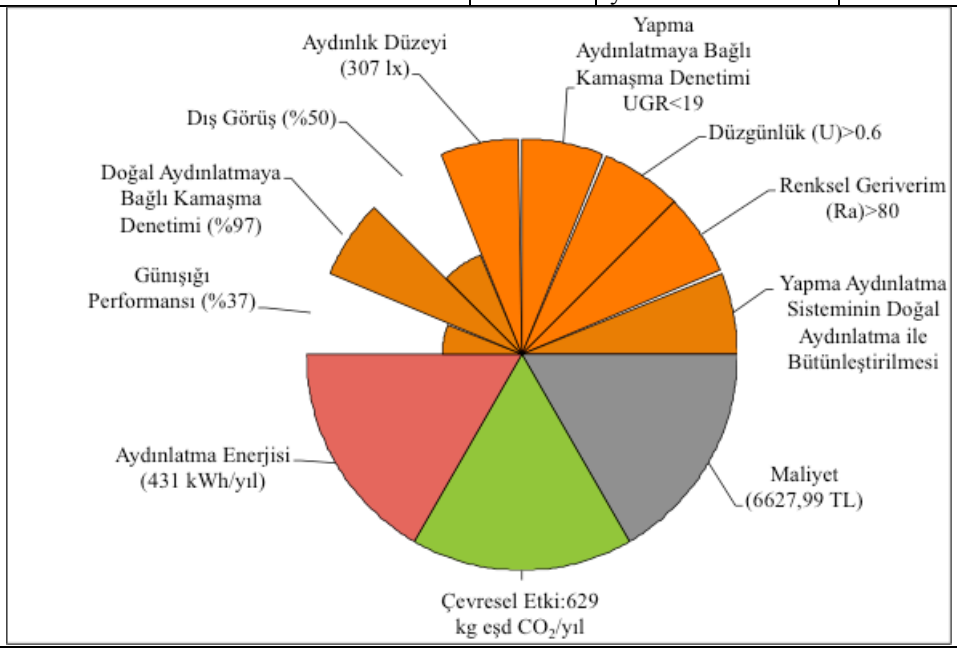
Çizelge F.22 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K1.

Senaryo Adı: D4_A2_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	514 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	750 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7042,83 TL



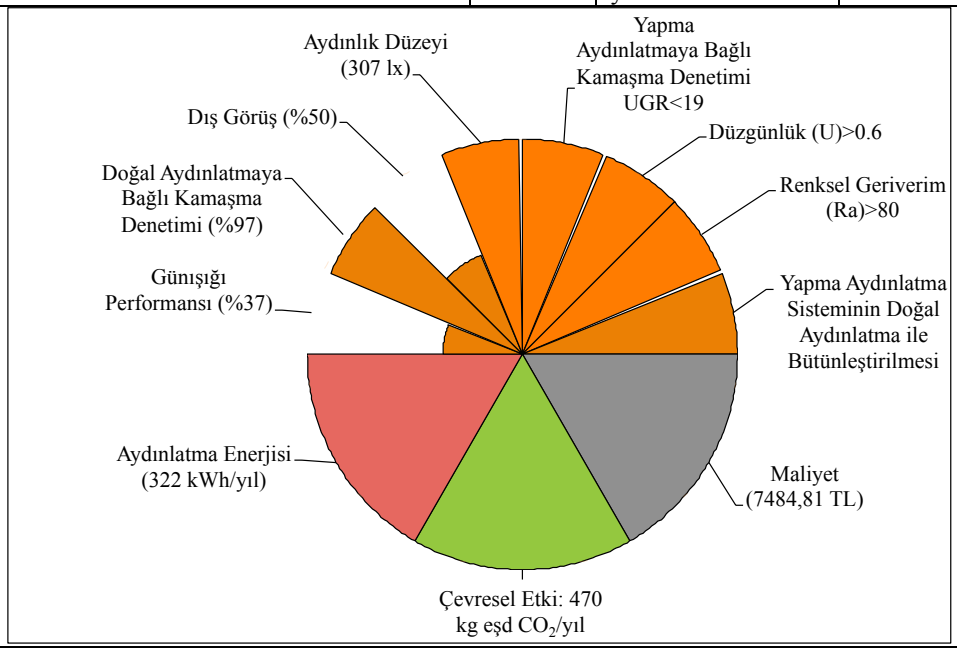
Çizelge F.23 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K2.

Senaryo Adı: D4_A2_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	431 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	629 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6627,99 TL



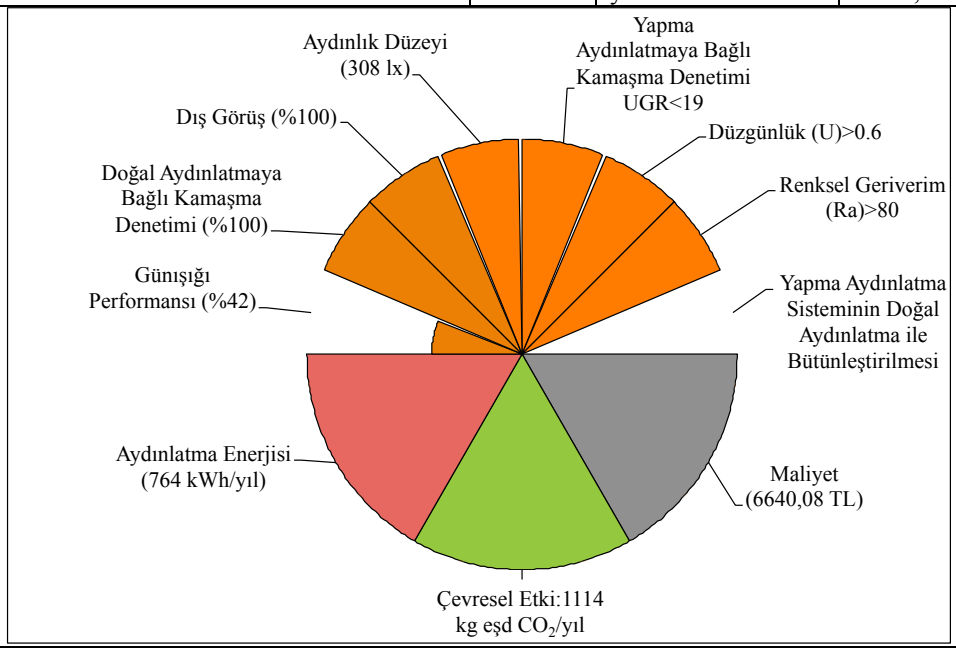
Çizelge F.24 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D4_A2_K3.

Senaryo Adı: D4_A2_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	37%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	%3.34
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	322 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	470 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7484,81 TL



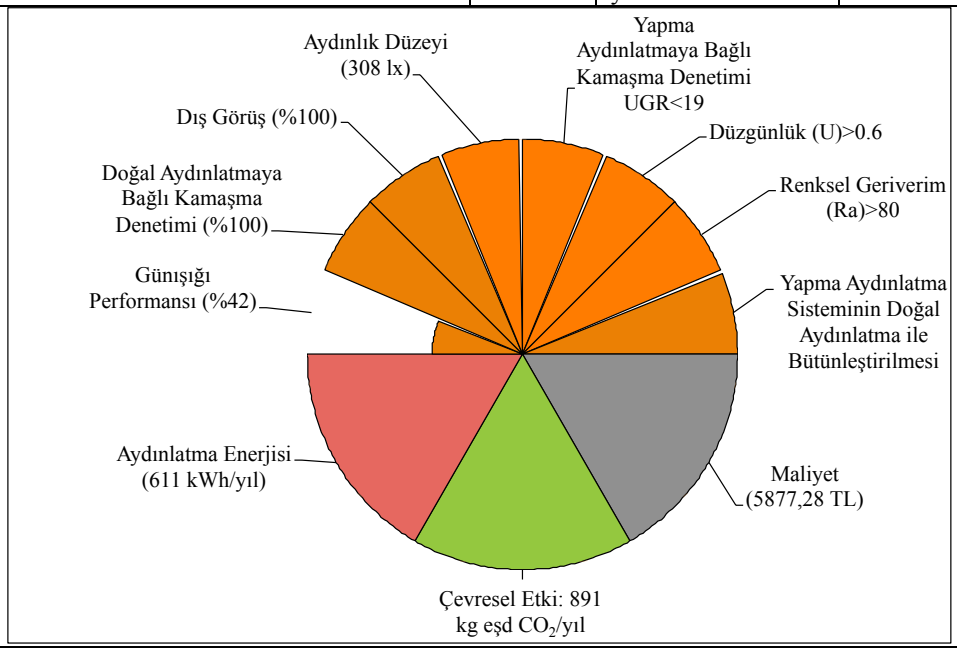
Çizelge F.25 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K1.

Senaryo Adı: D5_A1_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	764 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	1114 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6640,08 TL



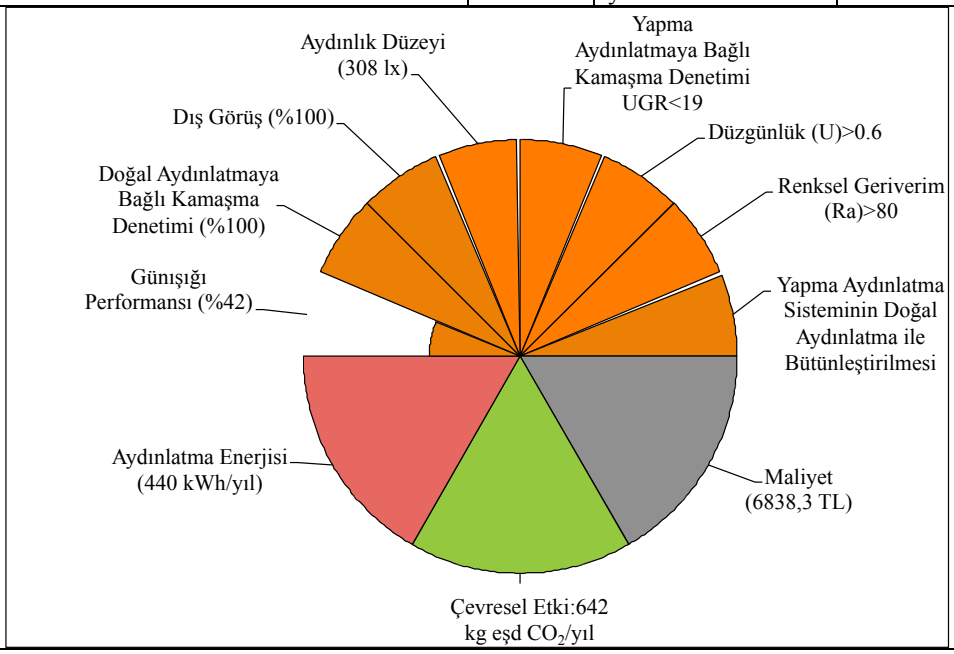
Çizelge F.26 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K2.

Senaryo Adı: D5_A1_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	611 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	891 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	5877,28 TL



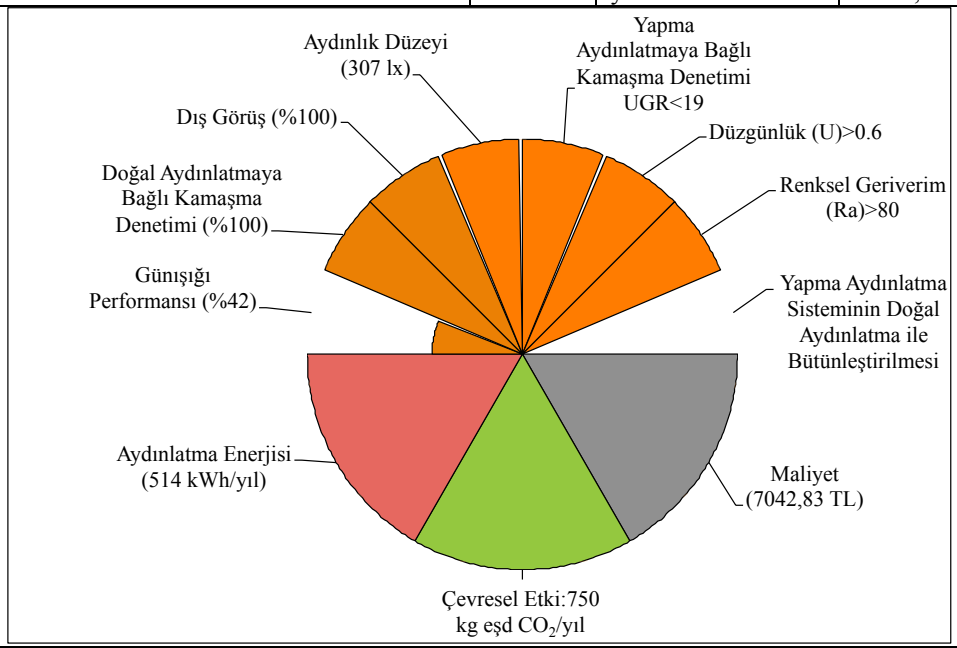
Çizelge F.27 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A1_K3.

Senaryo Adı: D5_A1_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	308 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,701
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	16,444
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	440 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	642 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6838,3 TL



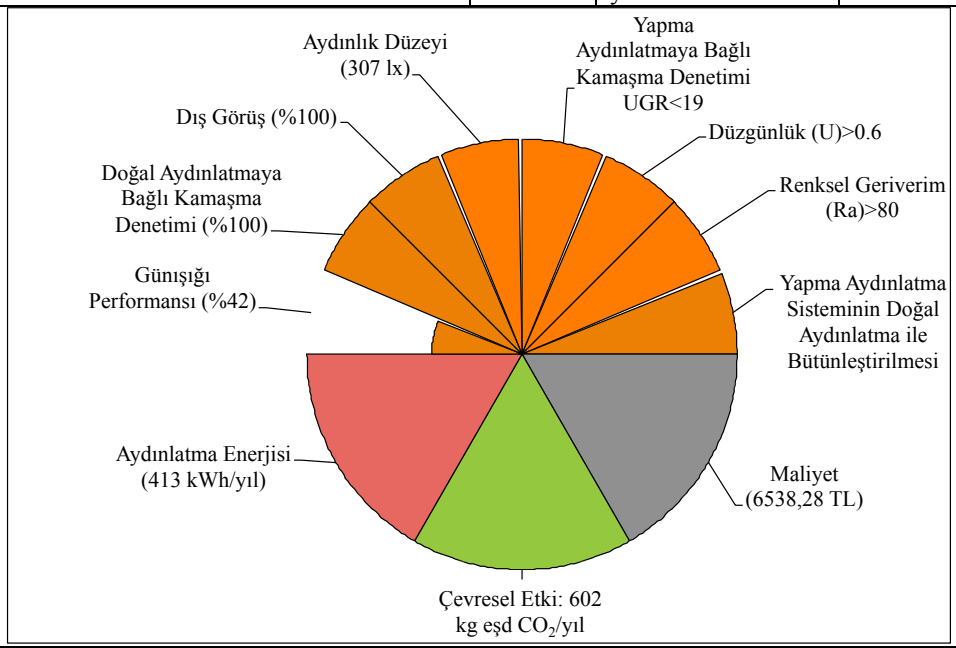
Çizelge F.28 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K1.

Senaryo Adı: D5_A2_K1			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	yok
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	514 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	750 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7042,83 TL



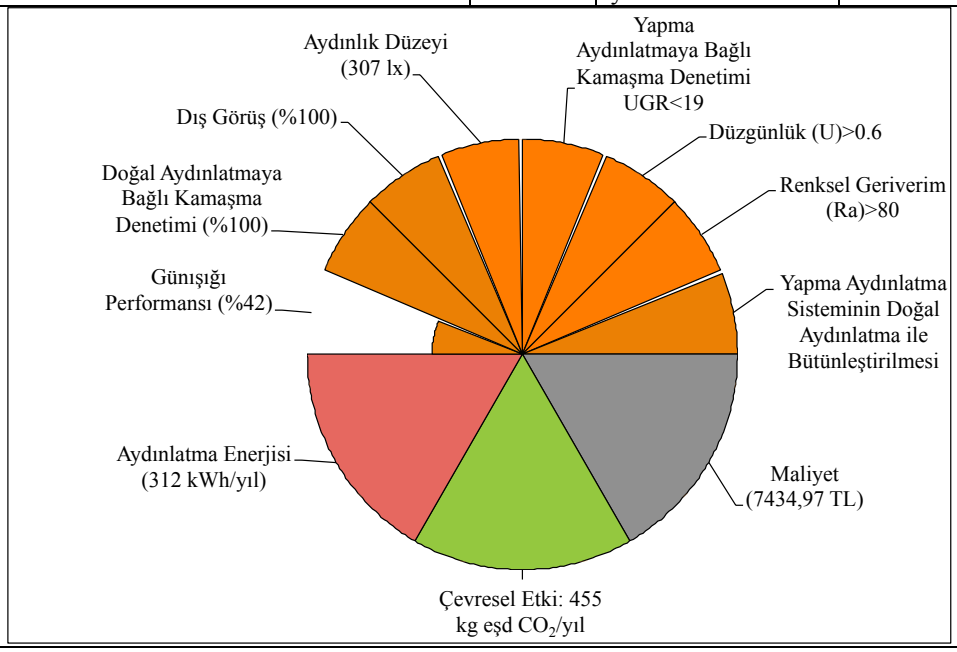
Çizelge F.29 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K2.

Senaryo Adı: D5_A2_K2			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	413 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	602 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	6538,28 TL



Çizelge F.30 : Aydınlatma tasarımı göstergesi, D5_A2_K3.

Senaryo Adı: D5_A2_K3			Kriter	Yöntem ve ilgili kaynak	Sonuç
Görsel konfor koşullarının sağlaması açısından değerlendirilme	Doğal Aydınlatma Sistemi	Günışığı Performansının Belirlenmesi	-	Sürekli Günışığı Otonomisi yöntemi	42%
		Doğal Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Olasılığı	<30 (%)	DGP yöntemi	0%
		Dış Görüşün Sağlanması	Günışığı Erişim Çizgisi	CIBSE LG10 ve BS 8206-2	uygun
	Yapma Aydınlatma Sistemi	Gerekli Aydınlık Düzeyinin Sağlanması	300 lx	EN 12464-1	307 lx
		Gerekli Düzgünlüğün Sağlanması	>0.6	EN 12464-1	0,712
		Yapma Aydınlatmaya Bağlı Kamaşma Denetimi	<19	UGR yöntemi (EN 12464-1)	13,666
		Seçilen Lambanın Renksel Geriverim İndisi (Ra)	>80	EN 12464-1	uygun
		Bütünleşik Aydınlatma Sistemi	-	EN 12464-1	var
Enerji Performansı Açısından Değerlendirme			-	Sürekli Günışığı Otonomisine bağlı yıllık enerji performans değerlendirmesi (kWh)	312 kWh
Çevresel Etki Açısından Değerlendirme			-	LCA ve EPD yöntemleri (EN-ISO 14040-14044 ve EN 15804)	455 (kg eşd CO_2/yıl)
Maliyet Açısından Değerlendirme			-	EN 15459 standardı net bugünkü değer yöntemi	7434,97 TL



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **:** Feride Şener Yılmaz

Doğum Yeri ve Tarihi **:** Bursa, 20.11.1984

E-Posta **:** fsener@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2006, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (Onur Derecesi)
- **Yüksek lisans** **:** 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2006- Devam Ediyor	Araştırma Görevlisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.
2012-2013	Misafir Araştırmacı, Building Research Establishment (BRE), Bina Teknolojisi Grubu, Aydınlatma Birimi, Watford, İngiltere.
2007-2008	Misafir Araştırmacı, Hochschule für Technik Stuttgart, Bina Fiziği Bölümü, Stuttgart, Almanya.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yılmaz F. Ş.,** Yener A.K., 2014. Lighting Energy Performance Determination for Turkey, *Lighting Research and Technology*, DOI: 10.1177/1477153514541455. (uluslararası makale).
- **Yılmaz F. Ş.**, Yener A. K., 2013. Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor, Enerji Performansı ve Çevresel Etki Değerlendirmesi. *7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 21-22 Kasım 2013, İzmir (ulusal bildiri ve sunum).
- **Şener F.**, Yener A. K., 2013. A Method for Environmental Assessment of Lighting System Design in Architecture. *CIBSE Technical Symposium*, 11-12 Nisan 2013, Liverpool, İngiltere (uluslararası bildiri ve sunum).

- **Şener F.**, 2013. Proposal of an Approach for Sustainable Lighting Design-Implementation to Turkey. *CIBSE Daylight Group- Research Review*, 6 Mart 2013, London Metropolitan University, Londra, İngiltere (uluslararası sunum).
- **Şener F.**, Yener A. K., 2012. Sky Model Determination based on Meteorological Data for Daylight Calculations In Architecture- an Application for Istanbul. *Balkanlight 2012*, 3-6 Ekim 2012, Belgrad, Sırbistan (uluslararası bildiri ve sunum).
- **Şener F.**, Yener A. K., 2011. Simulation Based Color Evaluations for Interior Lighting: Primary School Classrooms. *VII Conferenza Nazionale del Colore 2011*, 15-16 Eylül 2011, Roma, İtalya (uluslararası bildiri ve sunum).
- **Şener F.**, Yener A. K., 2010. Daylighting Design of Buildings with the Aspects of Visual Comfort and Energy Efficiency. *1st International Graduate Research Symposium on the Built Environment,* 25 Ekim 2010, Ankara, Türkiye (uluslararası bildiri ve sunum).

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Hazırladığı Tezler

- **Şener, F.** (2009). *Lighting in Museum Buildings and Investigation of a Case Study*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Tez danışmanı: Prof. Dr. Alpin Köknel YENER).

Uluslararası Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

- Yener, A.K., Güvenkaya, R., & **Şener, F.** (2010). Visual Comfort and Efficient Energy Use in Primary School Classrooms, *Arkitekt*, 524,78, 18-25, ISSN: 1301-6121.
- **Şener, F.**, Yıldırım, S. Ü., & Yener, A. K. (2012). Avaliação do desempenho energético da iluminação de edifícios, *Electricidade Moderna*, November 2012, 52-56, ISSN 0100-2104.
- **Yılmaz F. Ş.** & Yener A. K. (2014). Lighting Energy Performance Determination for Turkey, *Lighting Research and Technology*, DOI: 10.1177/1477153514541455.

Uluslararası Konferans Bildirileri

- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2008). Investigation of Library Buildings from Visual Comfort Points of view and Evaluation of a case study, 2008, *Balkanlight 2008 Conference*, 7-10 Ekim, Ljubljana, Slovenya.
- Yener, A.K., Güvenkaya, R., & **Şener, F.** (2009). Visual Comfort and Energy Efficiency in Primary School Classrooms - Investigation of a Case Study, *International Building Physics Conference 4, IBPC 4*, 15-18 Haziran, İstanbul, Türkiye.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2009). Dayligting in Primary Schools and a Simulation Based Evaluation of a case study Building, *Light and Lighting*

Conferance With Special Emphasis on LEDs, 27-29 Mayıs, Budapeşte, Macaristan.

- Yener, A. K., Uyan, F., & **Şener, F.** (2009). Environmental Assessment of Lighting Systems in Buildings, *Light and Lighting Conferance With Special Emphasis on LEDs*, 27-29 Mayıs, Budapeşte, Macaristan.
- **Şener, F.**, & Uyan, F. (2009). Architectural Lighting Design and Energy Conservation in Primary Schools, 2009, *Archild Architecture and Children*, 18-21 Kasım, Ankara, Türkiye.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2009). Lighting in Museum Buildings and Investigation of a Case Study, *Lux Europa*, 9-11 Eylül, İstanbul, Türkiye.
- Uyan, F., & **Şener, F.** (2010). Daylighting in High Rise Residential Buildings through a real case in İstanbul, *Clima 2010 10th REHVA World Congress*, 9-12 Mayıs, Antalya, Türkiye.
- Yener, A. K., Oral, G. K., & **Şener, F.** (2010). Optimization of Building Envelope in Office Buildings for Energy Efficiency, *Clima 2010 10th REHVA World Congress*, 9-12 Mayıs, Antalya, Türkiye.
- Yener, A. K., & **Şener, F.** (2010). Lighting Energy Performance in Primary School Classrooms, 14-17 Mart, ClE Lighting Quality and Energy Efficiency Conference, Viyana, Avusturya.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2010). Daylight Simulations of Office Spaces at Architectural Design Stage, *ClE Lighting Quality and Energy Efficiency Conference*, 14-17 Mart, Viyana, Avusturya.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2010). Daylighting Design of Buildings with the Aspects of Visual Comfort and Energy Efficiency, 51-56, *1st. International Graduate Research Symposium on the Built Environment,* 25 Ekim, Ankara, Türkiye.
- **Şener, F.**, Yıldırım, S. Ü., & Yener, A. K. (2011). Lighting Energy Performance Assesment Tools For Buıldıng Certification Systems In Europe, 2011, *27th Session of the CIE*, 10-15 Temmuz, Sun City, Güney Afrika.
- Yıldırım, S. Ü., **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2011). Adaptatıon of EN 15193 Standard for Turkey: Bep-Tr Methodology and Case Study Applıcatıons, 2011, *27th Session of the CIE*, 10-15 Temmuz, Sun City, Güney Afrika.
- Sümengen, Ö., **Şener, F.,** Uyan, F.**,** & Yener A. K. (2011). A Study on Landmark Lighting with Investigations from Istanbul, 2011, *27th Session of the CIE*, 10-15 Temmuz, Sun City, Güney Afrika.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2011). Simulation Based Color Evaluations for Interior Lighting: Primary School Classrooms, *VII Conferenza Nazionale del Colore 2011*, 15-16 Eylül, Roma, İtalya.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2012). Sky Model Determination based on Meteorological Data for Daylight Calculations In Archıtecture- An Application For Istanbul, 2012, *Balkanlight 2012*, 3-6 Ekim, Belgrad, Sırbistan.
- Sümengen, Ö., Uyan, F., **Şener, F.,** & Yener A. K. (2012). A Study on Lighting in Intelligent Residential Buildings in the frame of EU Directive 2010/31/EU,

Balkanlight 2012, 3-6 Ekim, Belgrad, Sırbistan.

- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2013). A Method for Environmental Assessment of Lighting System Design in Architecture, *CIBSE Technical Symposim*, 11-12 Nisan 2013, Liverpool, İngiltere.

Uluslararası Teknik Rapor

- King, S., Littlefair, P., Howlett, G., **Şener, F.**, & Ticleanu C. (2013). People Friendly Lighting Controls, IP 4/14, *BRE Information Paper*, Building Research Establishment Ltd, Garston, Watford, ISBN:978-1-84806-372-3.

Ulusal Dergilerde Yayınlanmış Makaleler

- Yener, A. K., & **Şener, F.** (2007). Müze ve Sergileme Mekanlarının Aydınlatılması, 2007, *Professional Lighting Design PLD,* 16, 51-52.
- Yener, A. K., & **Şener, F.** (2007). Çağdaş Müze Binalarında Doğal Işık, 2007, *Professional Lighting Design Dergisi PLD*, 25, 54-55.
- Yener, A. K., Güvenkaya, R., & **Şener, F.** (2008). İlköğretim Dersliklerinin Görsel Konfor Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, *İTÜ Dergisi*, Vol. 8, No. 1,200, 105-116.
- Yener, A. K., Güvenkaya, R., & **Şener, F.** (2009). İlkokul Sınıflarında Görsel Konfor ve Enerji Verimi", *TTMD Isıma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, Temmuz- Ağustos, 30-5 (Not:2009'da International Building Physics Conference 4, IBPC 4 kongresinde sunulan Visual Comfort And Energy Efficiency in Primary School Classrooms – Investigation of a Case Study adlı yayından elde edilmiştir.)

Ulusal Kongre Bildirileri

- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2008). Kütüphanelerde Aydınlatma İlkeleri ve İTÜ Mimarlık Fakültesi Kütüphanesinin Aydınlatma Kriterleri Açısından İncelenmesi, *7. Ulusal Aydınlatma Kongresi*, 27-28 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- Yener, A. K., & **Şener, F.** (2010). İlköğretim Dersliklerinde Görsel Konfor Koşullarının Değerlendirilmesi, *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye.
- Yener, A. K., Sümengen, Ö., **Şener, F.** & Uyan, F. (2010). Konutlarda Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı, *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*, İstanbul, Türkiye.
- **Şener, F.**, & Yıldırım, S. Ü. (2011). Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Bep-Tr Yöntemi ile Belirlenmesi: Örnekler, *Teskon*, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16 Nisan, İzmir.
- **Şener, F.**, & Uyan, F. (2011). Bina Aydınlatma Enerjisi Performansında Kullanıcı Davranışları, *8. Ulusal Aydınlatma Kongresi*, 14-15 Nisan, İstanbul, Türkiye.
- Yener, A. K., & **Şener, F.** (2011). Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesi Türkiye İçin Bir Yöntem, *8. Ulusal Aydınlatma Kongresi*, 14-15 Nisan, İstanbul, Türkiye.

- **Yılmaz F. Ş.** (2014). Mimari Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor ve Enerji Performansı Açılarından Ürün Seçimi Üzerine Bir İnceleme, 1. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 13-14 Mart 2014, İstanbul, Türkiye.
- **Yılmaz, F. Ş.** (2015). Mimari Aydınlatma Tasarımında Optimum Performans Modeli, *10. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 16- 18 Nisan*, İstanbul, Türkiye (kabul edilmiş bildiri özeti).

Ulusal Sempozyum Bildirileri

- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2007). Müzelerde Aydınlatma Kriterleri ve İstanbul Deniz Müzesi, *4. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 13-15 Aralık, İzmir, Türkiye.
- **Şener, F.** (2009). Mimaride Günışığı Kullanımı ve Simülasyon Programlarında Günışığının Yeri, *4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu,* 6-7 Kasım, Mersin, Türkiye.
- Yener, A. K., Uyan, F., & **Şener, F.** (2009). Binaların Sürdürülebilirliklerinin Değerlendirilmesinde Aydınlatma Sistemlerinin İncelenmesi, *5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 7-10 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- Yıldırım, S. Ü., **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2012). Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesinde Kontrol Sistemlerinin Rolü, 2011, *6. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 24-25 Kasım, İzmir, Türkiye.
- **Şener, F.**, Yıldırım, S. Ü., & Yener, A. K. (2011). Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesinde Yöreye İlişkin Özelliklerin Rolü, *6. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, 24-25 Kasım, İzmir, Türkiye.
- **Şener, F.**, & Yener, A. K. (2013). Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor, Enerji Performansı ve Çevresel Etki Değerlendirmesi, 2013, *7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*, İzmir, Türkiye.
- Kaçel, S., & **Yılmaz, F. Ş.** (2015). Müze ve Sergi Mekanlarında Aydınlatma Tasarımı Sürecine İlişkin Bir Yaklaşım, *Ulusal Müzecilik Sempozyumu* 20-22 Mayıs, İstanbul, Türkiye (kabul edilmiş bildiri özeti).