

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

OFİSLERDE GÖRSEL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİNE İLİŞKİN
AYDINLATMA TASARIM PARAMETRELERİ VE ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Elif ÖZTÜRK GÜL

TEMMUZ 2023
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**OFİSLERDE GÖRSEL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİNE İLİŞKİN
AYDINLATMA TASARIM PARAMETRELERİ VE ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR YAKLAŞIM**

Elif ÖZTÜRK GÜL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (MİMARLIK)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23/06/2023
Tezin Savunma Tarihi : 31/07/2023**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ

ÖNSÖZ

Aydınlatma tasarımı, mekânlarda yaşam kalitesini, enerji kullanımını ve mekânsal konforu son derece etkileyen bir konudur. Doğru tasarım kararları ile daha az enerji harcayan, insanların kendilerini konforlu hissettikleri mekânlar yaratmak mümkündür. Bu nedenle, aydınlatmanın, fiziksel bir çevre değeri olarak tasarımların ön evresinde düşünülmesi ve yönetilmesi son derece önemlidir. Lisans ve yüksek lisans eğitimimde, tasarımda bu derece önemli payı olan aydınlatma konusunda, bana çok önemli katkıları olan, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, Bilkent Üniversitesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'ndeki kıymetli hocalarıma gönülden teşekkür ederim.

Doktora eğitimim ve tez çalışması sürecinde, her türlü akademik desteğini ve yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, Sayın hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez İzleme komitesindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Nihan ENGİN ve Sayın Prof. Dr. Yelda AYDIN TÜRK'e verdikleri destek ve değerli önerileri ile tezimdaki katkıları için en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, istatistiksel analizlerde çalışmaya destek olan Sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi İbrahim YILDIRIM'a çok teşekkür ederim.

Doktora sürecinde bana her zaman manevi destek olan, moral veren, adlarını buraya sığdıramayacağım canım arkadaşlarıma, dostlarıma çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, desteklerini ve ilgilerini esirgemeyen annem Şükran ÖZTÜRK ve kardeşim Bilge ÖZTÜRK COŞKUN'a sonsuz teşekkür ederim. Akademik kariyer yapmam konusunda beni teşvik eden, aramızdan çok erken ayrılan, canım babam merhum İshak Kadir ÖZTÜRK'ü özlem ve rahmetle anıyorum.

Son olarak, bu sürecin tüm zorluklarını benimle yaşayan, her aşamada bana destek olan eşim İhsan Armağan GÜL'e ve canım kızım Eylül Serra GÜL'e hep yanımda oldukları için en içten sevgilerimi sunarım.

Elif ÖZTÜRK GÜL
Trabzon, 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum “Ofislerde Görsel Konfor ve Enerji Tüketimine İlişkin Aydınlatma Tasarım Parametreleri ve Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine bir Yaklaşım” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 31/07/2023

Elif ÖZTÜRK GÜL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
1.3. Araştırmanın Yöntemi	4
1.4. Literatür Araştırması.....	5
1.5. Ofis Tanımı ve Tasarım Ölçütleri.....	10
1.6. Aydınlatma Sistemleri	14
1.6.1. Doğal Aydınlatma Sistemi.....	14
1.6.1.1. Hacim İçi Güneşliliğini Etkileyen Değişkenler	15
1.6.1.1.1. Yapma Engellere İlişkin Değişkenler	17
1.6.1.1.2. Hacme İlişkin Değişkenler	18
1.6.1.1.3. Pencereye İlişkin Değişkenler	18
1.6.1.1.4. Güneş Kontrol Elemanları	22
1.6.1.2. Güneşliliği Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler	24
1.6.1.3. Binalarda Güneşliliği Standardı (TS EN 17037)	26
1.6.2. Yapay Aydınlatma Sistemleri.....	29
1.6.2.1. Lamba Seçimi	30
1.6.2.2. Aygıt Seçimi	31
1.6.2.3. Aydınlatma Kontrol Sistemleri.....	34
1.6.3. Aydınlatma Tasarımlarının Enerji Performansının Belirlenmesi	35
1.6.3.1. TS EN 15193-1+A1 Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri	37
1.6.4. Ofislerde Görsel Konfor Koşulları	40

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
2.1.	Yaklaşımın Tanıtılması.....	49
2.1.1.	Ofis Hacmi ve Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi.....	50
2.1.1.1.	Ofis Hacmi.....	51
2.1.1.2.	İç Yüzeylerin Yansıtma Çarpanları	52
2.1.1.3.	Yapay Aydınlatma Değişkenleri.....	52
2.1.1.4.	Doğal Aydınlatma Değişkenleri	60
2.2.	Yapay Aydınlatma ve Doğal Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi	63
2.2.1.	DIALux evo Simülasyon Programı	64
2.2.2.	Ofislerin Modellenmesi	65
2.2.3.	Ofis Hacimleri İçin Yapay Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi.....	68
2.2.4.	Ofis Hacimleri İçin Doğal Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi.....	69
2.3.	İstatistiksel Analizler ile Oluşturulan Formüller ve Çıkarımsal İstatistik Yöntemleri	71
2.3.1.	SPSS Programı	71
2.3.2.	Doğrusal Regresyon Analizi.....	73
2.3.3.	T-Test ve ANOVA Analizleri	74
2.4.	Ele Alınan Bütünleşik Aydınlatma Senaryolarına İlişkin Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Belirlenmesi	76
3.	BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	79
3.1.	Ofis Hacimleri İçin Yapay Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi.....	80
3.1.1.	Yapay Aydınlatma İçin Regresyon Analizi Yöntemi ile Görsel Konfor ve Enerji Performansı Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi	92
3.1.1.1.	Hacim 1 İçin (18,75 m ²) Geliştirilen İstatistiksel Modeller	95
3.1.1.2.	Hacim 2 (72,5 m ²) İçin Geliştirilen İstatistiksel Modeller	104
3.1.1.3.	Hacim 3 (168,75 m ²) İçin Geliştirilen İstatistiksel Modeller	111
3.1.2.	Yapay Aydınlatma Sisteminde Regresyon Analiz Değerlendirmeleri	118
3.2.	Ofis Hacimleri İçin Doğal Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi.....	122
3.2.1.	Doğal Aydınlatma İçin Regresyon Analizi Yöntemi ile Gün Işığı Performansı Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi.....	141
3.2.2.	Doğal Aydınlatma İçin Regresyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	144
3.3.	Çıkarımsal İstatistik Yöntemleri ile Yapılan Değerlendirmeler.....	145
3.3.1.	Hacim 1 İçin Geliştirilen Analizler.....	146
3.3.2.	Hacim 2 İçin Geliştirilen Analizler.....	149

3.3.3.	Hacim 3 İçin Geliştirilen Analizler.....	152
3.4.	Ele Alınan Bütünleşik Aydınlatma Senaryolarına İlişkin Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Belirlenmesi	155
3.4.1.	TS EN 15193-1+A1:2021 Hesap Yöntemine Göre Hacimlerde Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Hesaplanması	155
3.4.2.	Elde Edilen Toplam Aydınlatma Enerjisi Tüketim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	170
3.4.3.	Ofis Hacimlerinin Aydınlatma Enerji Sınıflarının Belirlenmesi	174
3.5.	Geliştirilen Aydınlatma Tasarım Parametreleri ile Görsel Konfor ve Enerji Performansı İlişkilerinin Değerlendirilmesi	176
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	180
5.	KAYNAKLAR.....	186
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

OFİSLERDE GÖRSEL KONFOR VE ENERJİ TÜKETİMİNE İLİŞKİN AYDINLATMA
TASARIM PARAMETRELERİ VE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR
YAKLAŞIM

Elif ÖZTÜRK GÜL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ
2023, 195 Sayfa

Ofis yapılarındaki iç mekânlarda çeşitli görsel eylemler gerçekleştirildiği için, bu mekânların aydınlatma tasarımında uygun düzenler oluşturularak görsel konforun sağlanması önem taşıyan bir konudur. Dünyada ve ülkemizde, aydınlatmada harcanan enerjinin büyüklüğü nedeniyle özellikle ofis yapılarındaki ana mekânlar gibi gün boyu ve uzun süreli kullanılan hacimlerde, etkin enerji kullanımı da son derece önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ofislerde doğal ve yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerini belirlemeye yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak Trabzon İli kapsamında, üç farklı boyutta ve farklı yüzey yansıtma katsayılarında ofis hacimleri DIALux evo simülasyon programında modellenmiştir. Ofis hacimlerinde aydınlatma tasarım parametrelerine ilişkin değişkenler, yapay aydınlatma için; ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi ve aygıtların yansıtıcılığı, doğal aydınlatma için; pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı ve yönlenme olarak belirlenmiştir. Geliştirilen senaryolar doğrultusunda simülasyon programında hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen veriler SPSS programına aktararak istatistiksel analizler yapılmıştır. Regresyon analizi yöntemiyle üç farklı büyüklükteki ofis hacimlerinde yapay aydınlatma için görsel konfor ve enerji etkinlik değerlerini, doğal aydınlatma sistemleri için mekânlarda günışığı performansını yaklaşık olarak tahmin eden regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. Veriler ayrıca çıkarımsal istatistik yöntemleri ile analiz edilerek değerlendirmeler yapılmış, optimum sonucu sunan tasarım parametrelerinin değer aralıkları belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda, kullanıcılar için uygun tasarım seçeneklerinin oluşturulması ya da bir aydınlatma düzeninin iyileştirilmesi sürecinde kullanılabilecek alternatifler sunulmuştur. Son aşamada, yapay ve doğal aydınlatma değişkenleri doğrultusunda bütünleşik aydınlatma senaryoları oluşturulmuş ve bu senaryolar için yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Aydınlatma, Doğal Aydınlatma, Ofis Yapıları, Görsel Konfor, Enerji Etkinliği, Regresyon Analizi, Yıllık Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi

PhD. Thesis

SUMMARY

AN APPROACH ON DETERMINING LIGHTING DESIGN PARAMETERS AND EFFECTS RELATING TO VISUAL COMFORT AND ENERGY CONSUMPTION IN OFFICES

Elif ÖZTÜRK GÜL

Karadeniz Technical University
Institute of Natural Science
Architecture Main Science
Advisor: Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ
2023,195 Pages

As office buildings are places where various visual actions take place, providing visual comfort by creating appropriate layouts in lighting design is an important issue. In the world and in our country, due to the size of the energy consumed in lighting, it is extremely important to use energy effectively, especially in volumes that are used throughout the day and for a long time, such as office buildings. In this study, it is aimed to develop an approach to determine the effects of lighting design parameters on visual comfort and energy consumption in offices. For this purpose, office volumes in three different sizes and different surface reflection coefficients, which are assumed to be in Trabzon, were first modeled in the DIALux evo simulation program. Variables related to lighting design parameters in office spaces, for artificial lighting; luminous flux, lamp power, efficiency factor, lamp type, lighting style, and reflectivity of devices, for natural lighting; window shape, light transmittance of glass, solar control element and orientation. In line with the scenarios developed with the determined variables, calculations were made in the simulation program to evaluate the visual comfort conditions of artificial lighting and daylight performance. $W/lm/m^2$ values were calculated to evaluate the energy efficiency of artificial lighting scenarios. The obtained visual comfort and energy efficiency data were transferred to the SPSS program and statistical analyzes were made. With the regression analysis method, equations that approximately estimate visual comfort and energy efficiency values for artificial lighting and daylight performance in spaces for natural lighting systems were obtained in office volumes of 3 different sizes. The data transferred to the SPSS program were also analyzed with inferential statistical methods, evaluations were made, and alternatives were presented for users. At the last stage, integrated lighting scenarios were created in line with artificial and natural lighting variables and annual lighting energy requirements were calculated for these scenarios. This study aims to make easy calculations in lighting designs with the data obtained as a result of the developed approach, to be usable in the process of creating suitable design options or improving a lighting scheme.

Key Words: Artificial Lighting, Natural Lighting, Office Buildings, Visual Comfort, Energy Efficiency, Regression Analysis, Annual Lighting Energy Requirement

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Hacmin yeterli günışığı alabilmesi için belirlenen pencere-parapet ölçüleri.....	12
Şekil 2.	Hücre planlı ofis örneği.....	12
Şekil 3.	Grup planlı ofis örneği	13
Şekil 4.	Açık planlı ofis örneği.....	13
Şekil 5.	Yapı üzerindeki açıklıklar	15
Şekil 6.	Gerçek gökyüzü koşulları ve modellenmiş günışığı dağılımları ile ilgili örnekler.....	16
Şekil 7.	Kat sayısına göre engel açısı değişimi	17
Şekil 8.	Yıl ve gün içerisinde güneş ışığı geliş açılarının gösterdiği farklılıklar	19
Şekil 9.	Saydamlık oranı örnekleri	20
Şekil 10.	Pencere konumlarına bağlı hacimde günışığı değişimi.....	20
Şekil 11.	Doğrama kalınlıkları nedeni ile pencere yüzeyindeki azalmalar	22
Şekil 12.	Hareketli dış ortam gölgeleme elemanları	23
Şekil 13.	İç ortam gölgeleme elemanları.....	24
Şekil 14.	Aydınlatma aygıtlarının ışık dağılımlarına göre sınıflandırılması	31
Şekil 15.	Işık akısı, aydınlık düzeyi, ışıklık ilişkisi	42
Şekil 16.	Renksel izlenim ilişkisi	44
Şekil 17.	Renk sıcaklıklarının şematik ifadeleri.....	45
Şekil 18.	Aynı nesnenin farklı R_a değerleri ile aydınlatılan görünüşleri	46
Şekil 19.	Işığın doğrultusu.....	47
Şekil 20.	Işığın doğrultusal yapısındaki değişim ile nesnenin algılanma etkisi.....	48
Şekil 21.	Önerilen yaklaşımın akış şeması	50
Şekil 22.	Oluşturulan ofis hacimleri.....	51
Şekil 23.	Yapay aydınlatma değişkenleri	53
Şekil 24.	Tasarlanan yatay gölgeleme elemanı	62
Şekil 25.	Yatay parçalı gölgeleme elemanları için belirlenen eğim açıları ve oluşturulan pencere kesitleri.....	63
Şekil 26.	Hacim 1 (2 kişilik ofis) görseli.....	66
Şekil 27.	Hacim 2 (8 kişilik ofis) görseli.....	66
Şekil 28.	Hacim 3 (18 kişilik ofis) görseli.....	67
Şekil 29.	Aygıt yerleşim planı	67

Şekil 30.	Binaların aydınlatma enerji performansının belirlenmesi.....	77
Şekil 31.	Dialux programında ofis hacimlerinin modellenmesi.....	79
Şekil 32.	Hacim 1 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri	172
Şekil 33.	Hacim 2 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri	173
Şekil 34.	Hacim 3 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri	174



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Hacim elemanları arasında olması gereken en az mesafeler.....	12
Tablo 2.	Cam türlerine ilişkin termal ve optik değerler	21
Tablo 3.	Sık kullanılan sabit dış gölgeleme elemanları.....	23
Tablo 4.	İç mekânda günışığı performansının değerlendirilmesine yönelik yöntemler.....	24
Tablo 5.	Düşey açıklığa sahip mekânlarda TS EN 17037 için günışığı performans Sınıflandırılması.....	27
Tablo 6.	Binalarda dış görüşün derecelendirilmesi	28
Tablo 7.	Günışığına bağlı kamaşmadan korunmaya ilişkin DGP değerleri	29
Tablo 8.	Lamba türleri ve özellikleri	30
Tablo 9.	Uygulama türlerine göre aydınlatma aygıt türleri	32
Tablo 10.	Aygıt yansıtıcı tipleri ve ekranlama araçları	33
Tablo 11.	Ofislerde sağlanması önerilen minimum aydınlık düzeyleri (TS EN 12464-1)	41
Tablo 12.	Işıklık karşıtlığı oranları	42
Tablo 13.	İç yüzeyler için önerilen yüzey yansıtma katsayıları	43
Tablo 14.	UGR kamaşma kategorisi aralıkları	44
Tablo 15.	Renksel geriverim değerleri	46
Tablo 16.	TS EN 12464-1'e göre ofislerde sağlanması gereken değerler.....	46
Tablo 17.	Oluşturulan ofis hacimleri boyutları	51
Tablo 18.	İç yüzey yansıtma çarpanı değişkenleri	52
Tablo 19.	Yapay aydınlatma aygıt özellikleri	54
Tablo 20.	Geliştirilen pencere alternatiflerine ait boyutlar ve yerleştirme.....	60
Tablo 21.	Oluşturulan ışık geçirme çarpanları	61
Tablo 22.	Oluşturulan yönlenme alternatifleri	61
Tablo 23.	TS EN 12464-1 uyarınca sağlanması önerilen aydınlatma koşulları	68
Tablo 24.	Ele alınan hesap tarihleri için belirlenen gök modeli sonuçları	70
Tablo 25.	Hesaplamalarda kullanılan temsili tarih ve saat bilgileri	71
Tablo 26.	İstatistiksel analiz türleri	72
Tablo 27.	Bütünleşik aydınlatma senaryoları	78
Tablo 28.	Yapay aydınlatma simülasyon sonuçları.....	81
Tablo 29.	Görsel konfor ve enerji etkinliğini sağlayan aygıtların özellikleri.....	89

Tablo 30.	Yapay aydınlatma değişkenlerine ait korelasyon analizi sonuçları	94
Tablo 31.	Hacim 1’de (18,75 m ²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model.....	97
Tablo 32.	Hacim 1’de (18,75 m ²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model 2.....	98
Tablo 33.	Hacim 1’de (18,75 m ²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model.....	99
Tablo 34.	Hacim 1’de (18,75 m ²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model 2.....	100
Tablo 35.	Hacim 1’de (18,75 m ²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model.....	101
Tablo 36.	Hacim 1’de (18,75 m ²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model 2.....	102
Tablo 37.	Hacim 1’de (18,75 m ²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model.....	103
Tablo 38.	Hacim 1 için geliştirilen istatistiksel modeller ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	104
Tablo 39.	Hacim 2’de (72,5 m ²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model.....	106
Tablo 40.	Hacim 2’de (72,5 m ²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model 2.....	107
Tablo 41.	Hacim 2’de (72,5 m ²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model.....	108
Tablo 42.	Hacim 2’de (72,5 m ²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model.....	109
Tablo 43.	Hacim 2’de (72,5 m ²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model.....	110
Tablo 44.	Hacim 2’de (72,5 m ²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model 2.....	111
Tablo 45.	Hacim 3’de (168,75 m ²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model.....	113
Tablo 46.	Hacim 3’de (168,75 m ²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model.....	114
Tablo 47.	Hacim 3’de (168,75 m ²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model.....	115
Tablo 48.	Hacim 3’de (168,75 m ²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model.....	116
Tablo 49.	Hacim 3’de (168,75 m ²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model 2.....	117
Tablo 50.	Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin aydınlık düzeyi üzerindeki etkileri.....	119
Tablo 51.	Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin aydınlık dağılımı üzerindeki etkileri	119

Tablo 52.	Elde edilen modellere ait yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin kamaşma üzerindeki etkileri.....	121
Tablo 53.	Elde edilen modellere ait yapay aydınlatma tasarım parametrelerinin enerji performansı üzerindeki etkileri	121
Tablo 54.	Yaz aylarını temsilen yapılan ölçüm sonuçlarına göre seçilen gölgeleme elemanları	123
Tablo 55.	Güneş ışığı aydınlığı simülasyon hesap sonuçları	124
Tablo 56.	Hacim 3 için doğu ve batı cephelerinde oluşturulan açıklıklar ile yapılan ölçümler	139
Tablo 57.	Hacim 3 için gerçekleştirilen farklı cephe açıklıkları ve mekânda sağladıkları güneş ışığı dağılımları	140
Tablo 58.	Minimum aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen istatistiksel model	142
Tablo 59.	Hedef aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen istatistiksel model	143
Tablo 60.	Elde edilen modellere ait tasarım parametrelerinin gün ışığı performansı üzerindeki etkileri	145
Tablo 61.	Hacim 1 için yapılan Anova ve T-test analizleri.....	148
Tablo 62.	Hacim 2 için yapılan Anova ve T-test analizleri.....	151
Tablo 63.	Hacim 3 için yapılan Anova ve T-test analizleri.....	154
Tablo 64.	Ele alınan senaryolara ilişkin hesaplanan toplam aydınlatma enerjisi tüketimi.....	158
Tablo 65.	Bütünleşik aydınlatma senaryoları ile yıllık toplam aydınlatma enerjisi arasındaki anlam ilişkileri	171
Tablo 66.	Asıl hacim ve referans hacimler için hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri.....	175
Tablo 67.	Enerji performans aralıkları	176
Tablo 68.	Oluşturulan aydınlatma parametreleri için yapılan korelasyon hesaplamaları.....	179
Tablo 69.	Kullanıcılar ve tasarımcılar için sunulan öneriler.....	190

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

BEP-TR	: Bina Enerji Performansı Türkiye Ulusal Hesap Modeli
CEN	: European Committee for Standardization
CIBSE	: The Chartered Institution of Building Services Engineers
CIE	: Commission Internationale de L'eclairage
CRI	: Color Rendering Index (Renksel Geriverim İndisi)
DGP	: Günüşiği Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability)
EN	: European Standard
IES	: Illuminating Engineering Society
IESNA	: Illuminating Engineering Society of North America
LPD	: Lighting Power Density (Aydınlatma Güç Yoğunluğu)
LED	: Lighting Emitting Diodes (Işık Yayan Diyotlar)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UGR	: Kamaşma Düzeyi (Unified Glare Rating)
Cd	: Kandela
cm	: Santimetre
E	: Aydınlık Düzeyi (lm/m^2)
E _{ort}	: Ortalama Aydınlık Düzeyi
E _{max}	: Maksimum Aydınlık Düzeyi
E _{min}	: Minimum Aydınlık Düzeyi
K	: Kelvin, ışık kaynağı için renk sıcaklığı
Kw	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt-saat
L	: Işıklık (cd/m^2)
Lm	: Lümen
Lx	: Lux
m	: Metre
m ²	: Metrekare
r	: Yansıtma Çarpanı
Ra	: Renksel Geriverim İndisi
TL-D	: Çubuk Flüoresan lamba
U _o	: Aydınlık Dağılımı (Düzgünlüğü)
U	: Camın Isı Geçirgenlik Katsayısı

VT : Camın Gnıı Geçirgenliği
W : Güç (Watt)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ofisler, insanların yaşamlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri çalışma ortamları olmaları açısından önem taşıyan mekânlardır. Bu nedenle kişilerin yaptıkları işlerin niteliklerine göre istekli ve verimli bir biçimde çalışmalarının sağlanabilmesi için uygun fizik ortam koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Ofislerde fizik ortam koşullarından biri olan mekânların aydınlatması çalışanların görsel konforu, performansı ve güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Uluslar arası Aydınlatma Komisyonu'nun (International Commission on Illumination, CIE) tanımına göre aydınlatma “nesnelere, bunların çevrelerine ya da bir bölgeye, bir kent bölgesine gereği gibi görülebilmeleri için ışık uygulaması” olarak tanımlanmaktadır. Mekânların işlevine bağlı olarak farklı eylemler için aydınlatma gereksinimleri birbirinden ayrımlar göstermektedir. Bu nedenle her mekânın ve her eylemin kendine özgü gereksinimleri doğrultusunda aydınlatma düzenleri oluşturulmalıdır.

Ofislerde, tipik olarak okuma, yazma, görsel ve işitsel iletişim kurma, bilgisayar kullanma, ya da görmeyle ilişkili daha detaylı işler yapma gibi birçok eylem gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple, ofis aydınlatılmasında öncelikle bir işin hızlı ve doğru yapılmasına olanak sağlayan görsel konforun yüksek tutulması gerekmektedir. Görsel konfor ise, aydınlatma tekniği yönünden iyi görme koşullarını sağlayacak düzenlerin oluşturulması ile gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu şekilde uygun bir aydınlatma düzeni ile mekânın kolayca algılanabilmesi ve rahat bir çalışma ortamı sağlanabilir. Kişilerin dikkatleri dağılmadan, daha etkin ve hızlı çalışarak iş veriminin artması ve kişilerin istekli bir biçimde çalışabildikleri ortamlar elde edilebilir. Ayrıca, görme eylemini uzun süre sürdürmekten dolayı, gözde oluşabilecek yanma, ağrı, vb. rahatsızlıklar önlenabilir.

Aydınlatmanın görsel konfor koşullarını sağlamasının yanı sıra, aydınlatma sistemi tasarımlarında uygun enerji kullanımı da önemli bir etmendir. Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan enerji maliyetleri nedenleriyle, enerji etkinliğinin gözetilmesi konusu öne çıkmıştır. Dünyada ve ülkemizde, aydınlatmada harcanan enerjinin büyüklüğü nedeniyle, özellikle ofis mekânları gibi uzun süreli ve günboyu kullanılan hacimlerde, uygun değerlerde enerji kullanımı önem verilmesi gereken

bir konudur. Binalarda aydınlatma enerjisinin etkin kullanımı bina enerji tasarrufunda önemli bir yere sahiptir. Aydınlatmada yapılacak etkili yöntemlerin kullanımı ile bina işletim maliyeti %10 azaltılabilmekte, %30'dan fazla enerji tasarrufu sağlanabilmektedir (Özdeniz, 2023). Aydınlatmada enerji tasarrufu, işleve uygun bir aydınlatma tasarımı için optimum koşullar oluşturularak, aydınlatma kalitesi düşürülmeden sağlanmalıdır. İyi bir aydınlatma için verimli yapay aydınlatma elemanlarının kullanımı önem taşımaktadır. Görsel konforun sağlanabilmesi içingerekli aydınlatma seviyesi, daha az enerji tüketimine olanak sağlayan doğru ve uygun aydınlatma elemanlarının kullanımı ile mümkün olabilmektedir (Perdahçı ve Hanlı, 2010).

Görsel konfor ve optimum enerji kullanımı yönünden uygun aydınlatma düzenlerinin gün boyunca kullanımında, enerji korunumu açısından, günışığından yararlanma konusu da büyük önem taşımaktadır. Doğal ışık, dinamik ve sürekli gelişen özelliği ile bina kullanıcıları için görsel olarak uyarıcı ve üretken bir ortam sunarken, toplam bina enerji maliyetlerini üçte bir oranında azaltabilmektedir (Kutlu, 2019). Aydınlatma enerji tüketiminin minimize edilerek enerji etkinliğinin artırılması ve yapma aydınlatma sisteminin kuruluş yükünün azaltılması, iç mekân gün ışığı etkinliğini çeşitli tasarım kararları ile artırarak mümkün olabilmektedir.

Sürdürülebilir binaların aydınlatma tasarımları ve mevcut binaların bu doğrultuda yenilenmesi, doğal ve yapma aydınlatma ürünlerinin uygun bir şekilde seçimi, analizi ve kullanımı ile oluşturulmaktadır. Ofisler günışığının etkin olduğu saatlerde aktif kullanılan, kullanıcı sağlığı, konforu ve verimi yönünden özenle tasarlanması gereken yapı tipleri'dir. Bu nedenle, ofis mekânlarında doğal ve yapay aydınlatma düzenlerinin işleve, eyleme uygun, enerji etkin tasarım ölçütleri dikkate alınarak, görsel konfor koşullarını karşılayacak biçimde kurgulanması gereklidir. Böylece, ofislerde optimum enerji kullanımı ile görsel konforun sağlanmasının ve kullanım süresince kullanım ve bakım giderlerinin azaltılmasının ülke ekonomisine ve iş kalitesinin artmasına katkısı da büyük olacaktır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Aydınlatma tasarımı, ofislerde fiziksel ortam koşullarının temel girdilerinden biridir. Günümüzde yaşadığımız ve tasarladığımız mekanlarda aydınlatma konusu tasarım girdisi olarak yeterince tasarım sürecine dahil olamamaktadır. Bu da toplam kalitenin düşmesine ve beraberinde maddi, iş gücü ve motivasyon kayıplarına neden olabilmektedir. Ofislerin

tasarım ve yapım süreçleri dikkate alındığında, fiziksel çevre değerleri yapım aşamasına yakın bir süreçte değerlendirme kapsamına dâhil edilmektedir. Fiziksel çevre konularının tasarımcılar tarafından fazla bilinmemesi ve tasarım süreçlerine geç dâhil olması beraberinde oldukça ciddi maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Kullanıcı memnuniyetinin yüksek olduğu, konforlu ve işlevsel mekânların yaratılması ve sorunların çözülmesi bu aşamada oldukça güç olmaktadır. Bu nedenle diğer fiziksel çevre değerleri ile birlikte aydınlatma konusunun da Erken Tasarım Evresinde tasarıma dâhil edildiği sistemler ile birlikte mekânlarda görsel konfor ve iş veriminin yükseleceği kesindir. Ofis yapılarında tüketilen aydınlatma enerjisinin, hem dünya ölçeğinde hem de Türkiye ölçeğinde etkin yer tutması, ofislerde aydınlatma enerji gereksinimleri konusundaki çalışmalara da ağırlık verilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu noktadan bakıldığında aydınlatma tasarımı sürdürülebilir mimari açısından oldukça önem taşımaktadır. Yaşam kalitesini, mekânsal konforu ve enerji kullanımını son derece etkileyen bu olgu, doğru tasarım kararları ile daha az enerji harcayan, insanların içinde kendilerini rahat hissettikleri mekânların yaratılmasına yardımcı olacaktır.

Ofislerde aydınlatma konusunun yeri ve önemini ortaya koyan bu değerlere bağlı olarak tez çalışmasında, ofislerin tasarım sürecinde kullanılabilecek aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerini belirlemeye yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma, doğal ve yapay aydınlatma sistemlerine ilişkin belirlenen değişkenler doğrultusunda görsel konfor ve enerji konularını kapsam içine alarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, Trabzon İli coğrafi ve iklimsel koşulları dikkate alınarak tasarlanan üç farklı boyuttaki ofis birimi için doğal ve yapay aydınlatma sistemlerine ait tasarım parametrelerinin görsel konfor ve aydınlatma enerji tüketimine ilişkin etkileri belirlenmiştir. Bu bağlamda ofis hacimlerinin simülasyonu sonucu elde edilen verilerin istatistiksel yöntemler ile analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda aydınlatma tasarım parametreleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak görsel konfor ve enerji tüketimi açısından karşılaştırmalar yapılarak en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen aydınlatma tasarım parametreleri ile oluşturulan senaryoların hedeflenen beklentileri karşılayabilmeleri için değerlendirilmeler güncel standartlar ve yönetmelikler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın kısıtları ise şu şekildedir:

- Önerilen modelin özellikleri tüm bina tiplerine göre değil yalnızca ofis yapılarına göre belirlenmiştir. Simülasyon ve yıllık aydınlatma enerjisi hesaplamalarında mekân kullanım detayları ve aydınlatma sistem detayları ofis yapısına bağlı olarak tasarlanmıştır.
- Yapılan istatistiksel analizler, çalışma kapsamında belirlenen aydınlatma tasarım parametrelerinin değişimine bağlı olarak geliştirilmiştir.
- Tezde önerilen yaklaşım, Trabzon İli iklim ve coğrafi koşullarına göre gerçekleştirilmiştir. Analiz verileri diğer iklim tiplerini içermemektedir.
- Elde edilen sonuçlar bu çalışma kapsamında boyutları belirlenen ofis hacimleri için değerlendirilmiştir.

1.3. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın geliştirilmesi amacıyla yöntem olarak aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

- Çalışma kapsamında hücresel ofis ve grup ofis tiplerini temsilen, bu değerleri sağlayabilecek hacim boyutları belirlenmiştir.
- Ofislerde, mekânlardaki aydınlık seviyesine ve ışığın dağılımına etki eden aydınlatma parametreleri doğrultusunda, yapay aydınlatma için ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi, aygıtların yansıtıcılığı ve yüzey yansıtma katsayıları, doğal aydınlatma için pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı ve yönlenme özelliklerinin varyasyonlarını içeren senaryolar geliştirilmiştir.
- Geliştirilen senaryolar, DIALux-evo simülasyon programında modellenmiş, yapay aydınlatma için mekanlarda görsel konfor koşullarını, doğal aydınlatma için günışığı performansını değerlendirmek üzere hesaplamalar yapılmıştır.
- Yapay aydınlatma senaryolarının enerji etkinliğini değerlendirmek üzere $W/lm/m^2$ değerleri hesaplanmıştır.
- Elde edilen sonuçlar tablolar halinde açıklamıştır.
- Yapay aydınlatma ve doğal aydınlatma için elde edilen veriler, SPSS programına aktarılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Regresyon analizi yöntemiyle

boyutları belirlenen 3 farklı büyüklükteki ofis hacimleri için yapay aydınlatma sistemlerinde, görsel konforu değerlendirmek için aydınlık düzeyi, düzgünlük ve kamaşma değerlerini yaklaşık olarak tahmin eden eşitlikler, enerji etkinliği için $W/lm/m^2$ değerlerini tahmin eden eşitlikler elde edilmiştir. Doğal aydınlatma sistemlerinde, gün ışığı performansını belirlemek üzere, hedef aydınlık düzeyinin ve minimum aydınlık düzeyinin mekânda günışığı ile sağlanma oranlarını tahmin eden eşitlikler geliştirilmiştir.

- Oluşturulan aydınlatma senaryoları çıkarımsal istatistik yöntemleri ile de analiz edilerek değerlendirmeler yapılmış, kullanıcılar için alternatifler sunulmuştur.
- Yapay ve doğal aydınlatma değişkenleri doğrultusunda bütünsel aydınlatma senaryoları oluşturulmuş ve bu senaryolar için yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Enerji etkinliği en yüksek olan senaryolar için aydınlatma enerji sınıfları belirlenmiştir.

1.4. Literatür Araştırması

Tez çalışması kapsamında, literatürdeki doğal, yapay ve bütünsel aydınlatma sistemlerinin tasarımına yönelik çalışmalar, aydınlatma sistemlerinin sahip olduğu görsel konfor koşullarını ve enerji tasarruf potansiyellerini kapsayan konular incelenmiştir. Yapılan literatür araştırması aşağıda özetlenmiştir.

Bostancı (1996) yaptığı çalışmada, değişik boyutlardaki büro hacimlerini doğal, yapay ve bütünsel aydınlatma düzenleri açısından değerlendirmeyi amaçlamıştır. Belirlenen altı farklı boyuttaki büro hacimlerinde üç farklı tip aydınlatma aygıtı kullanılmıştır. Hacimlerde aynı tip aygıtın farklı düzenlemeleri ve farklı tip aygıtın aynı düzenlemeleri birbirleri ile karşılaştırılmış, aydınlık düzeyi ve aydınlığın dağılımı açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Bütünsel aydınlatma düzenleri oluşturulurken, derinliklerin arttıkça hacimlerde azalan günışığını dengelemek amacı ile yanması gereken aygıtlar artırılırken, optimum enerji kullanımına önem verilmiştir.

Başkan ve Sözen (2006) yaptıkları çalışmada, derslik örneğinde, aydınlatma tasarım ölçütlerini belirleyerek, optimum enerji kullanımı ve görsel konfor koşullarına uygunluğunu ölçecek bir değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Derslik aydınlatması için uygun, değişik yansıtıcı ve yayıcı özelliklerine sahip aydınlatma aygıtları seçilerek, derslik hacminde 10

ayrı aydınlatma düzeni kurulmuştur. Bu düzenler, görsel konfor ölçütleri olan aydınlığın niceliği ve niteliği ile enerji etkinliği yönlerinden değerlendirilmiştir. Bütünleşik aydınlatma düzeni için önerilen aygıt, paletli (OLC) yansıtıcılı, 0.74 aygıt geri verimi, TL-5 28W lamba tipi ve elektronik balast tipi özelliklerinde olmuştur. Önerilen aydınlatma düzeni, yerinde ölçme ve kullanıcı anketleri ile değerlendirilmiştir. Anket sonuçlarına göre, önerilen düzenin öğrenciler tarafından daha uygun bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Ünver vd (2004) tarafından yapılan başka bir çalışmada, tasarımın erken evresinde, görsel, termal ve akustik konforu sağlayan bina kabuğunu tahmin etmeyi amaçlayan bir yaklaşım tanıtılmıştır. Bu kapsamda çalışmada İstanbul İlinde varsayılan üç farklı boyutta ofis hacmi, iki farklı saydamlık oranı, dört farklı yönlenme ve bina kabuğunda farklı malzeme seçenekleri ile oluşan on iki farklı senaryo için değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, konfor koşullarını sunan alternatifler belirlenmiş, mimarının erken tasarım aşamasında uygun bina kabuğunun belirlenmesinin yapı kalitesi açısından önemi vurgulanmıştır.

Kesten (2006) yaptığı çalışmada, eğitim binalarının enerji etkin aydınlatma tasarımının temel prensiplerine değinmiştir. Seçtiği bir derslikte var olan aydınlatma tasarımına alternatif bir aydınlatma sistemi önermiş ve mevcut durumla karşılaştırmıştır. Öneri durumunda dersliğe tepe ışıklıkları ve güneş kontrol elemanları eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre günışığından maksimum yararlanmak aydınlatma için harcanan enerji miktarını düşürmektedir.

Çelikkol (2012) yaptığı çalışmada Stuttgart Elektror Ofis Binasının mevcut aydınlatma sistemini görsel konfor ve enerji tüketim kriterleri açısından simülasyon programında değerlendirmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, aydınlık düzeylerini ve enerji tüketimini optimize edecek yeni bir aydınlatma sistemi hazırlanmıştır. Önerilen sistemde, mevcut sistemde kullanılan tüp flüoresan ve kompakt flüoresans lambalar yerine LED lambalar tercih edilmiştir. Dolaylı aydınlatma yerine dolaysız sarkıt tip aydınlatma seçilmiştir. Önerilen aydınlatma sisteminin mevcut sisteme göre tüm yıl boyunca %70 enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür. Enerji etkinliğini arttırmak doğrultusunda, günışığına duyarlı aydınlatma zonlaması önerilmiştir. Yapay aydınlatma, günışığına bağlı olarak kapatılmış ya da % 50 dimmer sistemi uygulanmıştır. Sonuçta, günışığına duyarlı önerilen sistem, mevcut sisteme göre %85,5 enerji tasarrufu sağlamıştır.

Yener vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, ilköğretim binalarının görsel konfor koşulları açısından değerlendirilmesi yapılarak, eksik ve yanlış uygulamaların ortaya

konması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında 4 özel ve 4 resmi okul olmak üzere 8 ilköğretim binasında toplam 18 derslik incelenmiştir. Ele alınan dersliklerde, yeterli aydınlık düzeyinin sağlanması, doğal ve yapma aydınlatma sistemlerinin bütünleştirilmesi, direkt güneş ışığının kontrolü ve yapma aydınlatma sisteminin genel olarak bakım durumuna ilişkin değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda dersliklerde bakım oranı %44 olarak bulunmuştur. Ayrıca sürdürülebilir bir çevre yaratmak açısından, dersliklerde yapma aydınlatma sisteminin günışığına bağlı bir otomasyon sistemi ile birlikte tasarlanması gerektiği vurgulanmıştır.

Erhart (2012) ‘Şehrsel Dokuya Bağlı Gün Işığı Katkısının Ofis Binalarındaki Enerji İhtiyacına Etkisinin Değerlendirmesi Amacıyla Kullanılabilecek Bir Yaklaşım’ başlıklı çalışmada şehrsel dokuda yer alan ofis hacminin günışığına bağlı aydınlatma enerjisi ihtiyacı tahmini için uzaklık parametrelerine bağlı bir denklem önermiştir. Önerilen yaklaşım ile şehrsel dokuda yer alan ofis binasının termal ve aydınlatma enerjisi ihtiyacı, çevresindeki binaların gölgeleme etkileri değerlendirilerek bütüncül olarak hesaplanabilmektedir. Örnek ofis ile ilgili yapılan çalışmalar, elektrik enerjisi için en önemli performans belirleyici faktörün ofis hacminin bulunduğu yükseklikle, engel binanın yüksekliği arasındaki farkın, binalar arasındaki uzaklığa oranının olduğunu ortaya koymuştur.

Yılmaz’ın (2014) yaptığı çalışma kapsamında ele alınmış bir ofis binası örneğinde, farklı lamba ve aydınlatma aygıtı seçimine dayanarak ve farklı teknolojiler kullanılarak elde edilmiş aydınlatma tasarım alternatiflerinin yıllık enerji gereksinimlerinin belirlenmesi ve görsel konfor koşullarının irdelenmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak uygun aydınlatma ürünleri ve kontrol sistemlerinin tercih edilmesi ile binalarda aydınlatma enerjisi performansının iyileştirilebileceği vurgulanmıştır.

Sümengen (2015) yaptığı çalışmada, EN 15193 ve yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği BEP-TR standardında o dönem kapsam dışı olan konut tipolojisine ilişkin yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Geliştirilen yaklaşım, konut hacimlerinde gerçekleşen eylemlere ilişkin görsel konfor koşullarının sağlanmasını hedef almakta ve buna bağlı olarak yapma aydınlatma gücünün belirlenmesi, hacimlerde farklı yönelme durumlarının günışığı aydınlığına ve enerji gereksinime etkisi ve konut kullanılma sürelerinin belirlenmesini sağlayan Konut-Kullanıcı-Mekân modeli olmak üzere 3 ana adımdan oluşmaktadır. Bu yaklaşım ile mevcut konut binalarında aydınlatma enerjisi gereksiniminin gerçekçi bir

biçimde hesaplanabilmesi ve aydınlatma enerjisi tasarruf potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bayram (2015) 'Eğitim Binaları İçin Enerji Etkin Aydınlatma ölçütleri Açısından Bir İyileştirme Modeli Önerisi' başlıklı çalışmada, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Binasında farklı yönlere bakan, farklı büyüklük, işlev ve cephe tasarımına sahip altı adet mekan için görsel konfor koşullarına uygun olarak optimum günışığı değerleri ile minimum enerji tüketimi için yapay aydınlatma tasarım parametrelerini araştırmıştır. Bu amaca yönelik olarak doğal ve yapay aydınlatma parametreleri üzerinden oluşturulan senaryolarda simülasyon programı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Uygulamada, gölgeleme otomasyon sistemine bağlı olarak çalışan akıllı sensörler yardımı ile günışığından optimum faydalanma ve minimum enerji tüketimi sağlanabildiği görülmüştür.

Yılmaz (2016) 'Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimari Aydınlatma ve Bir Örneklem' başlıklı çalışmada, aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimi ve öğrenme açısından önemli olduğu eğitim yapılarını göz önüne alarak, bir derslik hacmi ele almış, yapma aydınlatma tasarımlarında lambaların ışık verimleri, aygıt geriverimleri ve iç yüzey yansıtma çarpanlarına göre gösterdikleri değişimleri karşılaştırmalar ile ortaya koymuştur. Daha sonraki aşamada hacmin günışığı ile aydınlatılması değerlendirilmiş, derslikle ilgili görsel konfor ve ısısal konforu sağlamak adına bir güneş kırıcı tasarlanmıştır. Bu tasarımda sürdürülebilirlik bağlamında güneş enerjisinden yararlanmak üzere güneş kırıcılara PV sistem eklenmiştir. PV'ler aracılığı ile kazanılacak elektrik enerjisi hesaplanmış ve temiz enerji kullanımı ile CO₂ gazının atmosfere salınışında azalma saptanmıştır.

Çelik ve Ünver (2019) yaptıkları çalışma kapsamında, yeni yapılacak okul binalarının aydınlatma sistemlerinin tasarlanması, mevcut olanlarının ise durumunun değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik bilgi ve öneriler içeren, tasarımcılara yol gösterecek, kılavuz bir çalışma oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bu amaçla ilk olarak, mevcut aydınlatma sistemlerinin durumunun belirlenmesine yönelik 'Kullanım Sonrası Değerlendirme (KDS)' yöntemleri tanıtılmış ve değerlendirme araçları oluşturulmuştur. Aydınlatma sistemi seçimlerinde tasarımcıların karar verme süreçlerini hızlandırmak adına Analitik Hiyerarşi Sürecinden faydalanılmıştır. Okul binalarındaki farklı mekânların aydınlatma sistemlerinin tasarımlarına yönelik aydınlatma kılavuz çizelgeleri oluşturulmuş ve bu kılavuz yardımı ile mevcut bir ortaokul binasının aydınlatma sistemi için iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ramazanoğlu Ortaokulu'nda gerçekleştirilen değişik değerlendirme yöntemlerinin (gözlem,

benzetim) sonuçları birbirine benzerlik göstermiş, alan çalışması ile de yaklaşımın uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Yücel (2019) çalışmasında, İstanbul- Kadıköy’de yer alan bir ofis binasında, açık planlı bir ofis mekânına ilişkin mevcut yapay aydınlatma düzenini, sunduğu öneri yapay aydınlatma düzenleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Yapay aydınlatma düzeni açısından en olumlu olarak değerlendirilen seçenek, yayınlık ışık veren aygıt ile sandalye aksında ve bakış doğrultusundan yerleştirilmiş düzen olmuştur. Önerilen seçenek ile birlikte bir bütünleşik aydınlatma düzeni oluşturulmuştur. Söz konusu bütünleşik aydınlatma düzenine ilişkin simülasyon programı aracılığı ile yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda, aydınlatma kontrol sistemleri ve güneş kontrol sistemleri ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Onak ve Yıldırım (2020) görsel konfor koşullarını arttırmak ve enerji tüketimini azaltmak üzere uygun aydınlatma sistemlerinin seçimi ve kullanım biçimlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kocaeli Üniversitesi Mimarlık Bölümünde seçilen bir atölye simülasyon programında modellenmiş ve mevcut durumu iyileştirmek için iki öneri sunulmuştur. Yapılan simülasyonlar sonucu önerilerin mevcut duruma göre daha homojen ve istenilen bir aydınlık düzeyi sağladığı görülmüştür. Ayrıca, enerji tüketiminde de iyileştirme sağlanmıştır.

Atmaca vd. (2022) yaptıkları çalışmada depremde hasar gören ve taşıyıcı sistemi güçlendirilerek yenilenen yapılarda görsel konfor değişiminin saptanması ve iyileştirilmesi için bir yöntem önerisi sunmuşlardır. Bu doğrultuda mevcut bir eğitim binasının dersliklerinde, yapının güçlendirme öncesi ve sonrasındaki aydınlatma koşulları incelenmiş ve ilgili standartlar bağlamında değerlendirilerek, iyileştirme tasarımları yapılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular, yapı kabuğunda saydamlık oranının azaltılmış olması nedeniyle, doğal aydınlatmayı destekleyici yapay aydınlatmanın yani bütünleşik aydınlatmanın yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışmada yapılan inceleme yöntemleri ve önerilerin, güçlendirme yapılan binalardaki mekânlarda görsel konfor için uygun koşulların oluşmasına ve enerji etkinliğinin sağlanmasına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Literatürde, ofis, derslik vb. yapıların mekânlarında, fizik ortam öğelerinden biri olan aydınlatma tasarımlarının, ofis kullanıcılarının verimi, hoşnutluğu ve sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar da bulunmaktadır. Veitch ve Newsham (1998) dokuz farklı aydınlatma sistemlerinin uygulandığı açık ofis hacminde, 292 katılımcı ile

gerçekleştirdikleri çalışmada, ofis kullanıcıların performanslarını ve beğeni durumlarını değerlendirmişlerdir. Sonuçlara göre, iyi görme koşullarını sağlayan tasarımlar ile enerji etkin tasarımlar uyumlu bulunmuştur. Aydınlatma alternatiflerini arasından parabolik yansıtıcıli armatürler, gömme ve lensli armatürlere göre kullanıcılar tarafından daha olumlu değerlendirilmiştir. Katılımcıların görsel performans değerleri elektronik balastlı aydınlatmalarda daha yüksek sonuçlar sunmuştur. Veitch vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, bir ofis mekânının görsel konfor koşullarını olumlu olarak değerlendiren katılımcıların, aynı zamanda o mekânı daha çekici buldukları ve memnuiyet hislerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen istatistiksel verilere göre katılımcılar dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimini ve manuel kontrol durumunu tercih etmektedirler.

Yun vd. (2012), kullanıcıların konfor koşullarını araştıran bir çalışma amaçlamışlardır. 77 ofis çalışanın katıldığı anket sonuçlarına göre, çalışma düzlemi üzerinde ölçülen ortalama aydınlık düzeyi ile kullanıcıların görsel konforu doğrudan ilişkilidir. Ayrıca çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ofis kullanıcıların manuel aydınlatma kontrolü davranış biçimlerinin, aydınlatma enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Yüksek katlı yeşil binalarda, aydınlık seviyeleri, görsel konfor ve enerji etkinliği üzerine yapılan başka bir çalışmada kullanıcıların mekân konforu üzerine yaptıkları değerlendirmeler ele alınmıştır. Çalışmadan elde edilen anket sonuçlarına göre, bina kullanıcıları fazla cam yüzeylerden dolayı mekânda oluşan fazla aydınlık düzeyinin yarattığı kamaşmayı önlemek için güneş kontrol elemanı olarak stor perde kullanmaktadırlar. Bu tür cam binalarda aydınlatmada enerji etkin tasarımlar için, akıllı cam teknolojilerinin ve kontrol sistemlerinin kullanımları önerilmektedir (Kwong, 2020).

İlgili literatür incelemesinin sonucunda; çalışmalarda aydınlatma düzenlerinin, görsel konfor ve enerji etkinliği açısından değerlendirildiği görülmüştür. Çalışma alanı olarak, performansın ve iş verimin ön planda olduğu, gün boyu aktif kullanılan, eğitim ve ofis yapıları ele alınmıştır. Bu birimlerin tasarım aşamasında, fizik ortam koşullarından biri olan aydınlatma açısından ele alınması, sürdürülebilir, çevre dostu ve enerjiyi etkin kullanacak nitelikte bütüncül tasarımlar sunacaktır.

1.5. Ofis Tanımı ve Tasarım Ölçütleri

Ofis, büro yerine de kullanılan bir sözcük olup çok genel bir terimdir. Günümüzdeki çağdaş büro anlayışına ofis sözcüğünün daha uygun olduğu düşünülmektedir. Ofisler (büro)

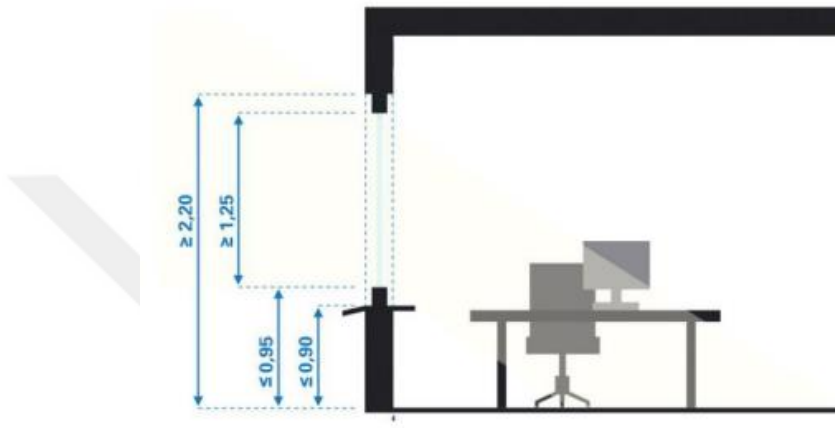
yazı, çizim ve yönetim işlerinin yapıldığı çalışma mekânları olarak tanımlanırlar (Hasol, 1990). Endüstrideki gelişmenin iş sayı ve çeşitlerini artırması, ofis fonksiyonlarının büyümesine sebep olmuştur. Daha güncel bir anlatımla, ofisler günümüzde bilgisayar ağları, iş akışı ve veri paylaşımı gibi nedenlerle bilginin paylaşıldığı ve iletişimin gerçekleştiği, çalışanın en verimli şekilde üretim yapabileceği yaşam mekânlarıdır (Çelebi, 2009).

Ofisler genelde görsel eylemin ağırlık kazandığı mekanlar olup, yapılan eylemler; okuma, yazma, çizim yapma, bilgisayar, printer, plotter, faks, telefon gibi ofis ekipmanlarını kullanma olarak sıralanabilir (Varlı, 2004). Ofis kullanıcılarının eylemlerini uzun süre verimli biçimde ve zorlanmadan yapabilmeleri, kendilerini fiziksel ve psikolojik olarak iyi hissetmeleri için ofis mekânının ergonomik açıdan doğru tasarlanması gereklidir. Bu bağlamda mekânların mimari tasarımları, donatı yerleşimleri ve yapı fiziği (ısısal, işitsel, görsel konfor) koşullarının birbiri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Ofislerin iç mekân düzenlemesini etkileyen faktörler; işletme ihtiyaçları, organizasyon ihtiyaçları ve kişisel ihtiyaçlardır. Gerek işletme kurumlarının gerekse çalışan kişilerin istek ve ihtiyaçlarını en uygun biçimde karşılayacak planlama yaklaşımlarının üzerinde önemle durmak gerekmektedir.

Ofislerin hacmini belirleyen en, boy ve yükseklik ölçülerinin yanı sıra; aks, parapet, pencere ölçüleri, çalışma masası yüksekliği, masa ve masalar arası ölçüler ve pencere ile masa arasındaki uzaklıklar gibi mekânsal niceliksel özellikler de önem taşımaktadır. Dikkatli planlanmış büro yapılarının aks ölçüleri 125cm, 135cm ve 150cm olarak belirtilmiştir. Minimum genişlikler 240-270 cm arasındadır. Dikdörtgen planlı bir büro mekânının, kenarlarının birbirine oranı 2:1 olabilmektedir. Derinlik için minimum boyut isteğe bağlı olarak değişebilse de en sık uygulanan minimum derinlik 3-4 m arasındadır (Bailey, 1990). Neufert'e göre çalışanların rahat hareket edebilmeleri için donatılar arasında mesafe bulunmalı ve tefriş bu mesafelere göre düzenlenmelidir. Koridorların iki kişinin yan yana geçebileceği genişlikte tasarlanması gereklidir. (Tablo 1). Çalışanların rahatça hareket edebilmeleri için de kişi başına düşen alan en az 8-10 m² olmalıdır. Bunların dışında hacimlerin yeterli gün ışığı alabilmesi için pencere ve parapet ölçülerine yönelik öneriler Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hacim elemanları arasında olması gereken en az mesafeler (Neufert, 1983)

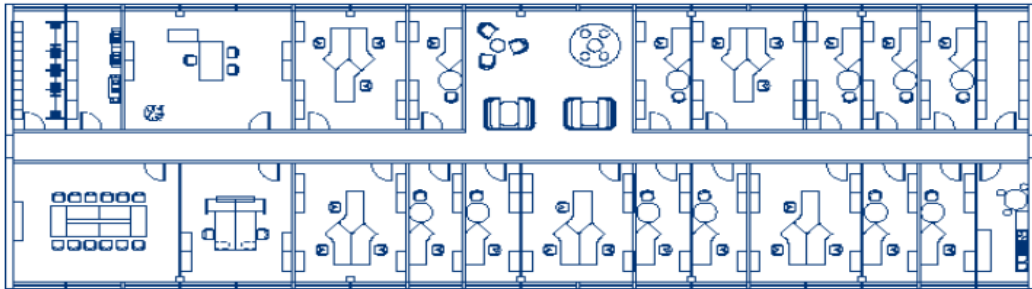
Tefriş Düzeni	Ölçüler (m)
Masa arkası duvar geçiş mesafesi	$\geq 0,95$
İki masa arası mesafe	$\geq 0,85$
Arkası birbirine bakan iki masa arası mesafe	$\geq 1,00$
Tek masa arkası dolap mesafesi	$\geq 0,80$
Masa ve pencere arkasındaki en az geçiş mesafesi	$\geq 0,55$



Şekil 1. Hacmin yeterli günışığı alabilmesi için belirlenen pencere-parapet ölçüleri (Çelebi, 2009)

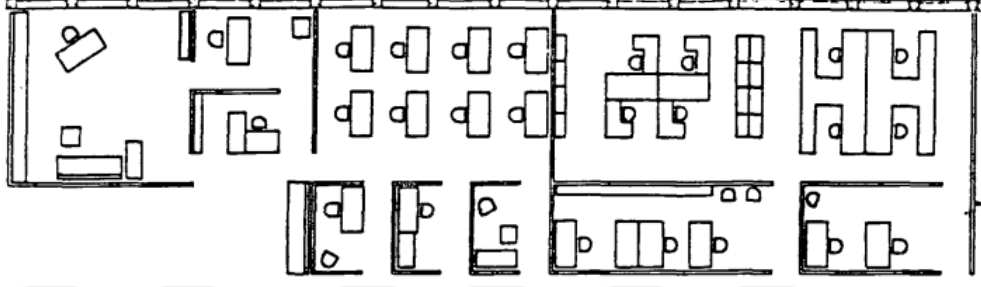
Kullanım amaçlarına göre çeşitli ofis sınıflandırmaları yapılmaktadır. Aşağıda, kullanım amaçlarına göre yapılan bir sınıflandırma yer almaktadır (Çelebi, 2009).

Hüresel ofisler: Genellikle 1-6 kişilik küçük hacimler olup pencere düzleminde; derinlik 4-5,5 m, genişlik 12-14 m, yükseklik ise ≤ 4 m olarak belirlenmiştir. Bu tip büroların alanları 10-50 m² arasında çalışan sayısına göre değişebilmektedir. Hücre planlı ofis örneği Şekil 2’de yer almaktadır.



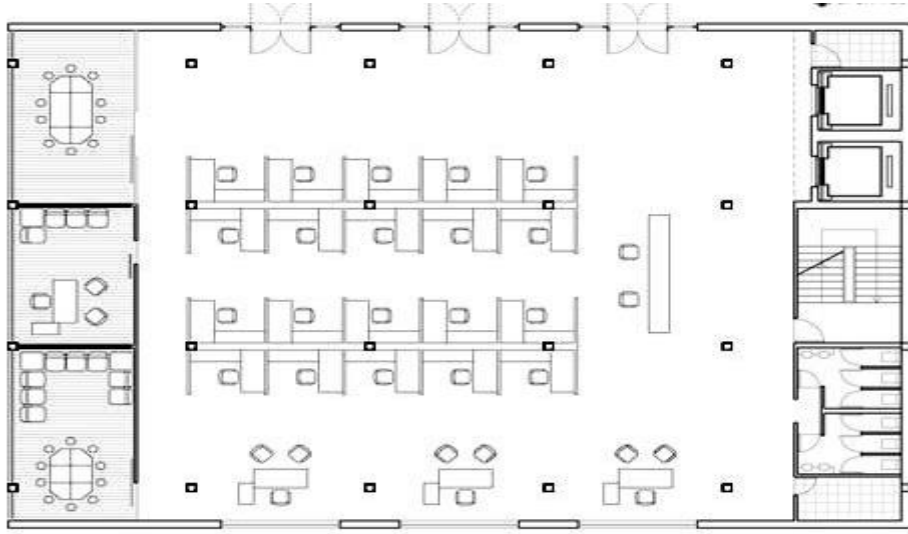
Şekil 2. Hücre planlı ofis örneği (Yücel, 2019)

Grup planlı ofisler: Bu tip bürolar, 8-25 kişilik çalışma grupları için düzenlenen orta büyüklükteki hacimlerdir. Derinlik pencere düzleminden itibaren 18m ye kadar olup alanları 40-150 m² arasında değişmektedir. Temelde büyük ofis mekânının parçalara ayrılmış hali olarak değerlendirilmektedir. Grup planlı ofis tipine ilişkin bir örnek Şekil 3’te yer almaktadır.



Şekil 3. Grup planlı ofis örneği (Bostancı, 1996)

Açık planlı ofisler: Çok sayıda kişi ya da çalışma gruplarının bulunduğu büyük hacimlerdir (25-100 kişi). Bu tip bürolarda derinlik daha fazla olup, 20 m ye kadar çıkabilmektedir. Hacim alanı çalışan kişi sayısına bağlı olarak 1200 m²’ye kadar çıkabilmektedir. Bu tipolojilerdeki ofislerde bölücü donatılar yer alabilmekle birlikte tamamen açık da tasarlanabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Açık planlı ofis örneği (URL-2, 2023)

Birleşik ofisler: Aynı düzende birçok büroyan yana sıralanarak tasarlanmaktadır.

Prestijli ofisler: Bu tip bürolarda yönetici vasfında olabilecek 1 kişi çalışmaktadır. Hacim alanları 25-100 m² arasında değişebilmektedir. Derinlik 5-10 m, genişlik ise 5-10 m arasında olabilmektedir.

Çizim (CAD) ofisleri: Bu tip bürolarda 6-30 kişi arasında çalışan bulunmaktadır. Hacim alanı çalışan sayısına bağlı olarak 80-500 m² arasında değişebilmektedir. Yükseklikler ise genel olarak 3.5m - 4.5m metre arasında uygulanmaktadır.

1.6. Aydınlatma Sistemleri

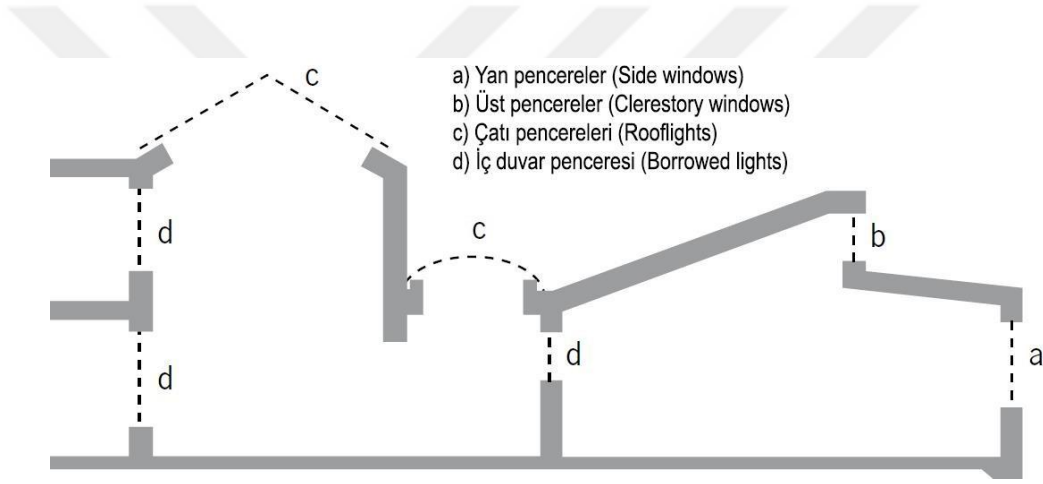
İnsan, dış dünya ve uzak - yakın çevre algısını %95 gibi büyük bir oranda görsel algılama ile sağlamaktadır. Görsel konforu sağlanması, görsel performansın ve buna bağlı olarak işteveriminin artırılarak göz sağlığının korunması, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerine karşılık veren bir aydınlatma tasarımı ile mümkün olmaktadır (Başkan, 2004). Görsel konfor gereksinimlerini karşılayan aydınlatma tasarımları aynı zamanda enerjiyi etkin kullanacak biçimde düzenlenmelidir. Bu nedenle yapı tasarımı ile bütünleşmiş ve uluslararası standartlara uygun bir aydınlatma sistemi tasarımı, görsel konfor ve etkin enerji kullanımı açısından temel prensip olarak ele alınmalıdır. Bu bölümde ışığın elde ediliş biçimine göre doğal ve yapay aydınlatma sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin özelliklerine değinilmiştir.

1.6.1. Doğal Aydınlatma Sistemi

Doğal aydınlatma için temel ışık kaynağı güneştir. İnsan fizyolojik yapısı gereği güneşin yaydığı ışıktan gün içinde mutlaka yararlanmalıdır. Yapılan çalışmalar, gün ışığının biyolojik ritmin düzenlenmesinde çok önemli olduğunu ve günışığı renginin insan fizyolojik yapısı için en iyi renk olduğunu ortaya koymuştur (Memiş ve Erken, 2019). Günışığının yapı içinde kullanılması hem yapay aydınlatma kullanımının ve dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılması hem de günışığının insan hormon ve sinir sistemi üzerindeki olumlu etkisi açısından oldukça önemlidir (Law, 1977).

Günışığı ile aydınlatma, yapı içindeki hacmin yapay aydınlatma bulunmaksızın yalnızca gün ışığı ile aydınlatılması ya da bir kısmının yapma aydınlatma ile desteklenmesi

şeklinde gerçekleşmektedir. Güneş ışığı yapı dışından sağlandığı için yapı içini aydınlatmada uygun yapı boşluklarına gereksinim duyulmaktadır. Yüzeylerin farklı alanlarında, farklı biçimlerde tasarlanabilen açıklıklar, yatay ve düşey düzlemde konumlandırılabilirler. Şekil 5'teki şematik kesitte, düşey pencereler, üst pencereler, çatı pencereleri ve avludan gelen güneş ışığından yararlanmak amacı ile kullanılan iç duvar pencereleri gösterilmektedir. Yapı kabuğundaki açıklıklardan giren güneş ışığından yararlanmada, güneş ışığının etkin kullanılması, dış ortam ile bağlantının kurulması, direkt gün ışığından korunarak kamaşma kontrolü sağlanması, yapma aydınlatma, ısıtma-soğutma yüklerinin azaltılması, yapı fiziki uygulamaları ile uyumlu tasarımların sağlanması gibi konular hedeflenmektedir (Yener, 2007).



Şekil 5. Yapı üzerindeki açıklıklar (Çelik, 2018)

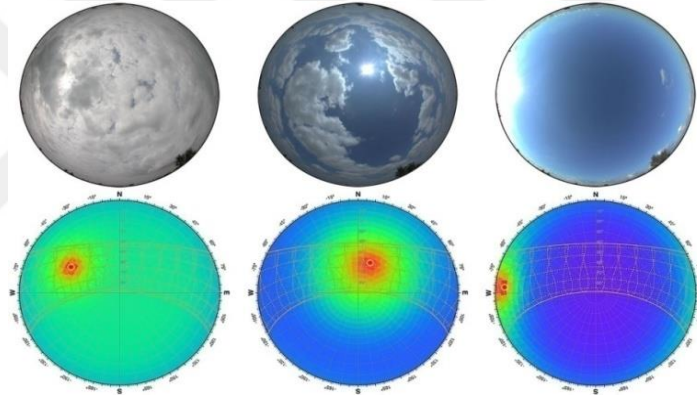
1.6.1.1. Hacim İçi Güneş Işığını Etkileyen Değişkenler

Güneşin yeryüzünde oluşturduğu aydınlık denetlenemez bir mimari tasarım değişkenidir. Hacimlerde doğal aydınlatmadan en üst düzeyde yararlanmak için güneş ışığı ile elde edilen aydınlığı etkileyen parametreler dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerin bir kısmı doğal tasarım parametreleri iken, bir kısmı ise yapma çevre ile ilgili olan fiziksel tasarım parametreleridir. Doğal çevreye ilişkin parametreler uzmanların kontrolü dışında olan parametrelerdir. Ancak yapma çevre elemanları ile kontrol altına alınabilirler. Bu grup içindeki tasarım parametreleri;

- Göğün parıltı dağılımı ve aydınlığı
- Güneşin pozisyonu, parıltı ve aydınlık etkisi

- Yer örtüsünün ışık yansıtma özellikleri
- Doğal engellerin, boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri, şeklinde sıralanmıştır.

Güneş ışığı ile aydınlatma, yapay aydınlatmaya oranla daha fazla denetim gerektiren bir iştir. Güneş ışığının bir yapı içinde oluşturduğu aydınlık düzeyi, güneşin dünyaya geliş açılarının ve atmosfer-gök koşullarının değişkenliğine bağlıdır. Güneş ışığının oluşturduğu aydınlığın nicelik ve niteliği, atmosfer özelliği, saat, gün, enlem, bulutların yoğunluğu, dağılımı vb. değişkenlere göre farklılık göstermektedir. Yapı içinde gün ışığı aydınlığı için gerçeğe en yakın hesaplamaları yapmak adına yılın istenen gün ve saatine göre belirlenmiş bazı kabuller bulunmaktadır. CIE tarafından belirli ışıklık dağılımlarına göre farklı referans gök modelleri yapılmıştır (Şekil 6). Referans gökler, güneş ışığı hesaplamalarında temel ölçüt olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2014).



Şekil 6. Gerçek gökyüzü koşulları ve modellenmiş güneş ışığı dağılımları ile ilgili örnekler (URL -3, 2023)

Yapma çevre ile ilişki olan tasarım parametreleri, mimarın ya da aydınlatma tasarımcısının kontrolünde olan değişkenlerdir. Bu parametrelerin aldığı değerler iç mekânda meydana gelen güneş ışığının görsel konfor etkenlerini belirlemektedir. Doğal aydınlatma tasarımına etki eden yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri ise;

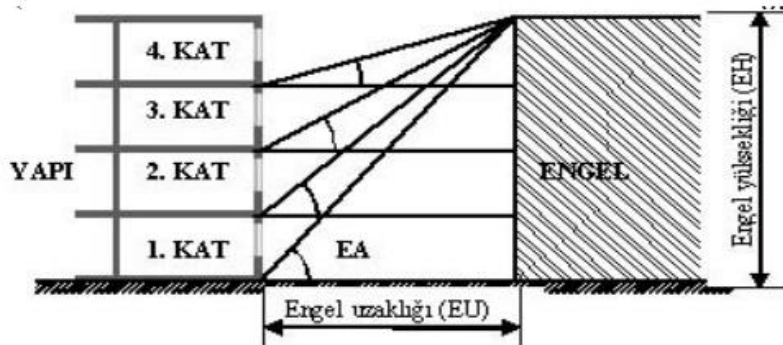
- Yapma engellerin (çevre bina vb. yapılar) boyut, konum ve ışık yansıtma özellikleri,
- Hacim boyutları,
- İç yüzeylerin ışık yansıtma özellikleri,
- Pencere yönü,
- Pencere boyut, biçim ve yerleştiriliş düzeni,

- Pencerelerin ışık geçirme özellikleri,
- Cam kirliliğine ilişkin düzeltme çarpanı,
- Doğrama nitelikleri,
- Güneş kontrolüdür (Güvenkaya, 2008).

Yapma çevreye ilişkin tasarım değişkenlerinin değerleri erken tasarım evresinde mimarlar ve tasarımcılar tarafından verilecek kararlara bağlıdır. Alınan kararlar doğrultusunda, günışığı etkinliğinin artırılarak görsel konfor koşullarının sağlanabildiği enerji etkin yapılar tasarlanabilmektedir. Belirtilen bu değişkenler, kısaca aşağıda açıklanmıştır.

1.6.1.1.1. Yapma Engellere İlişkin Değişkenler

Bina yükseklikleri ve binaların birbirlerine göre uzaklıkları ile konumları yerleşme dokusu özelliklerini oluşturmaktadır. Burada oluşan değerler, binaların birbirlerine engel oluşturarak günışığından faydalanma oranları açısından etkilidir. Günışığından en etkin biçimde yararlanmak için değişik yükseklik ve uzaklıktaki yapı dışı engellere yönelik değerlerin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir (Yener, 2005). Bu değerlendirmeler için yapı yüksekliği, engel yüksekliği (EH), yol genişliği, engel uzaklığı (EU) ve hacmin içinde yer aldığı katın yapı içindeki konumu (KK) da dikkate alınarak, engel açıları (EA) belirlenebilmektedir (Şekil 7). Burada engel uzaklığı küçüldükçe engel açısı artmakta, hacim içi aydınlık seviyesi ise azalmaktadır. Hacmin içinde bulunduğu katın yapı içindeki konumu yükseldikçe engel açısı küçülmekte ve hacim içi aydınlık düzeyi artmaktadır (Ünver, 2002).



Şekil 7. Kat sayısına göre engel açısı değişimi (Ünver, 2002)

Engel oluşturan binaların, dış yüzeylerinin ışık yansıtma katsayıları da bu yüzeylerden yansiyarak hacimlere giren günışığı miktarında etkili olmaktadır. Binalardan yansıyan ışığın niceliği, hacim içi günışığı aydınlığına dolaylı olarak katkıda bulunabilmektedir.

1.6.1.1.2. Hacme İlişkin Değişkenler

Hacimlerin genişlik, derinlik ve yükseklik olarak sıralanan boyutları ile bu büyüklüklerin birbirlerine oranları hacimlerde günışığı etkinliği üzerinde rol oynamaktadır. Bir hacimde derinliğin boyutu, pencereden uzaklaştıkça günışığı aydınlık düzeyinin azalması nedeniyle, doğal aydınlatma tasarımını doğrudan etkilemektedir (Yener, 2005).

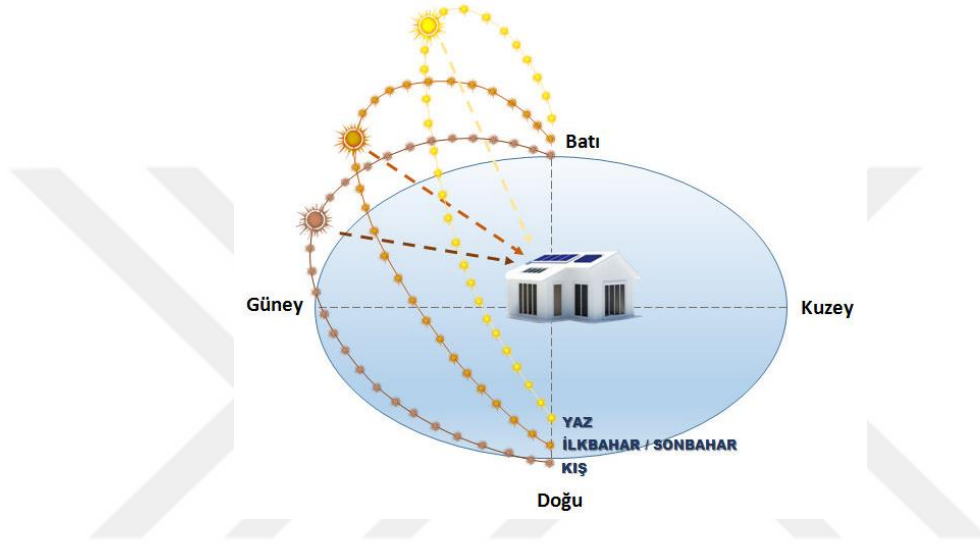
Ayrıca, hacimlerde tasarımcı tarafından belirlenebilen duvar, döşeme, tavan gibi iç yüzeylerin yansıtma çarpanları (açıklık-koyuluk) mekândaki aydınlık düzeyini ve dağılımını etkileyen tasarım etkenleridir. Mekânların iç yüzey yansıtma katsayılarındaki artış ile yüzeylerden yansıyan ışığın miktarında da artış sağlanmaktadır. Bu durum günışığı aydınlık düzeyinde de artış sağlamaktadır. Hacim içi yüzeylerin kirlenmeleri yüzeylerin yansıtıcılığını azalttığı için bu durum aydınlık düzeyinin düşmesine neden olmaktadır.

1.6.1.1.3. Pencereye İlişkin Değişkenler

Pencereler bina dış kabuğunda yer alan, güneş ve gökten dolaysız, yapı dışı engeller ile yer örtüsünden ise yansiyarak dolaylı gelen ışığın iç ortama alınmasını sağlayan yapı elemanlarıdır (Yener, 2005). Günışığının etkin kullanımında pencerelerin baktığı yön, boyut, biçim ve yerleştiriliş düzenleri ile pencerelerin ışık geçirme özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu değişkenler tasarımcılar tarafından denetlenebilen değişkenler olup tasarım çeşitlilikleri aşağıda açıklanmıştır.

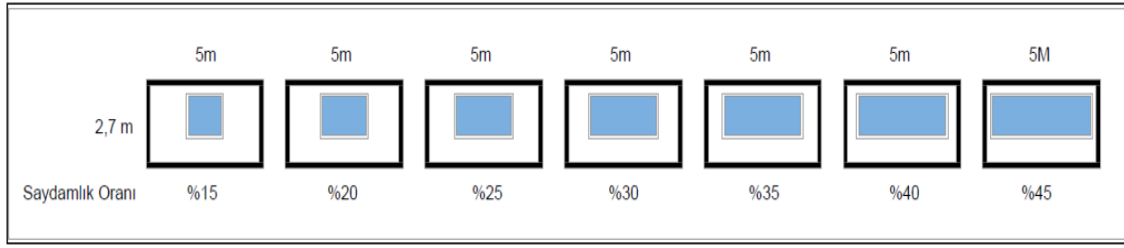
Pencerelerin Baktığı Yön: Günışığının etkin kullanılmasına yönelik uygulanan stratejilerden biri binanın yönlendirilmesi ve pencerelerin baktığı yöndür. Şekil 8’de olduğu gibi dünya üzerine gelen güneş ışınlarının açıları yıl içinde güneşin farklı pozisyonlarına ve gün boyunca güneşin gökyüzündeki hareketine göre değişmekte ve buna göre de cepheye gelen günışığı devamlı olarak farklılaşmaktadır. Bu durum pencerenin baktığı yöne göre günışığının hacim içinde oluşturduğu aydınlığı etkilemektedir. Bu bağlamda, bir binanın yönelimi iç mekânda meydana gelen günışığı performansını belirleyen bir faktör olmaktadır

(Philips, 2000). Tagliabue vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada 5x5x3 metre boyutlarında bir ofis mekânı için pencere açıklığının kuzey ve güney cephesinde olma durumu ile çatı ışıklığı seçenekleri görsel konfor ve toplam enerji tüketimi açısından değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kuzey cephesinde konumlanan pencerenin görsel konfor açısından daha uygun olduğu, enerji tüketimi açısından da diğer seçeneklere göre çok güçlü bir farkın olmadığı belirtilmiştir.



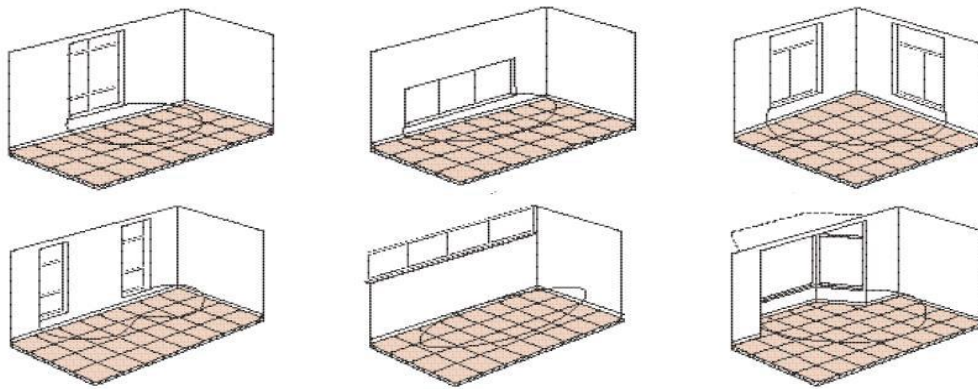
Şekil 8. Yıl ve gün içerisinde güneş ışığı geliş açılarının gösterdiği farklılıklar (URL-4, 2023)

Pencerelerin Boyutu: Pencere boyutları bir mekân içerisinde günışığı miktarının niceliğini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Mekân içinde gerekli aydınlık düzeyi miktarının sağlanması, ele alınan hacimde gerekli açıklık alanının belirlenmesine dayalı bir süreci gerektirmektedir. (CIBSE, 1999). Pencere alanının belirlenmesine yönelik birçok ölçüt bulunmaktadır. Çalışmalarda en çok kullanılan ölçüt, pencere alanının pencerenin yer aldığı duvar alanına oranı olarak tanımlanan “saydamlık oranı”dır (Şekil 9). Saydamlık oranı, mekâna günışığının ulaşmasının yanı sıra dış ortamın görsel olarak algılanması ve psikolojik konfor koşulları üzerinde de etkili olmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, saydamlık oranı %20’den küçük olduğu durumlarda insanların psikolojik açıdan rahatsız olduğu, %50’den büyük olduğu durumlarda ise herhangi bir etki olmadığı belirtilmiştir (Küçükdoğu, 1995). Yapılan başka bir araştırmaya göre enerji etkin bir tasarım için bu oranın %30 ile %45 arasında olması gerekmektedir (Francesco, 2016).



Şekil 9. Saydamlık oranı örnekleri (Tekin vd., 2018)

Pencerelerin Biçim ve Yerleştirilme Düzeni: Güneş ışığının hacim içine yeterli miktarda alınmasında pencerelerin şekli ve yapı kabuğu üzerindeki konumlarının belirlenmesi önemli bir etkidir. Mekâna alınan gün ışığı miktarı ve gün ışığı alan yüzey, pencerenin sahip olduğu genişlik-yükseklik oranları ve duvar yüzeyindeki konumlanması ile değişebilmektedir (Şekil 10). Hacmin işlevi göz önüne alınarak, pencerenin duvar üzerindeki pozisyonunun ve şeklinin belirlenmesi konusunda belirleyici temel ölçütler dış görüş, görsel konfor ve gün ışığının hacim içerisindeki dağılımı (düzgünlük) olarak sıralanmaktadır (Baker ve Steemer, 2002). Bu anlamda güneş ışığı etkinliğinin artırılmasına yönelik bir çalışmada kare pencerenin, boy pencereye ya da yatay pencereye göre daha fazla güneş ışığı sağladığı ifade edilmektedir (Acosta vd, 2015). Güneş ışığının mekan içinde homojen bir şekilde dağılım göstermesi bakımından ise çalışma düzlemi üzerinde yer alan pencerelerin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Lehner, 2015).



Şekil 10. Pencere konumlarına bağlı hacimde güneş ışığı değişimi

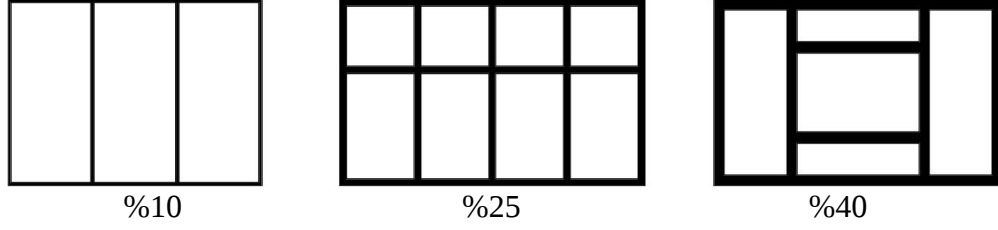
Pencerenin Işık Geçirme Özellikleri: Pencere camı ışık geçirgenlik değeri hacimlerde gerçekleşen güneş ışığı miktarının etkileyen önemli parametrelerden biridir ve doğal

aydınlatma tasarım sürecinde görsel konfor ve enerji etkinliği açılarından önemli role sahiptir. Gün ışığının cam yüzeyine ulaşmasından itibaren cama ait ışık geçirme özellikleri, iç mekâna alınan gün ışığı miktarını belirlemektedir. Mekân içerisinde yeterli gün ışığı aydınlık düzeyinin elde edilmesini sağlayan, kaliteli bir dış görüş sunan, aynı zamanda ısı kayıp ve kazançlarını azaltarak enerji etkin performans gösteren, dayanıklılık, hava ve su sızdırmazlığı sağlayan açıklıkların tasarlanması ve cam türlerinin buna göre seçilmesi önerilmektedir (Yener, 2007). Bu kriterlere göre doğru bir cam türü seçilebilmesi cam türlerinin iyi bilinmesi ve terimlerin iyi anlaşılması ile olanaklıdır. Işık geçirgenliği yüksek camlar kullanıldığında yapay aydınlatma enerjisinden, güneş enerjisinin içeriye alınması ile de ısıtma giderlerinden tasarruf sağlanacağı belirtilmektedir. (Sezer, 2005). Düzgün ve Yağmur (2019) tarafından yapılan bir çalışmada beş farklı cam tipi için günışığı performans değerlendirmeleri yapılmaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre çift cam ve low-e cam gibi bütünleşik camların doğal aydınlatma performansı akıllı camlara göre yüksek bulunmuştur. Bu bağlamda aşağıdaki tabloda bazı cam türlerinin termal ve optik özelliklerine karşılık gelen U değeri ve VT değerleri verilmektedir (Tablo 2) (Baker ve Steemer, 2002).

Tablo 2. Cam türlerine ilişkin termal ve optik değerler

Cam türü	Isı geçirgenlik katsayısı U değeri (W/m ² K)	Gün ışığı Geçirgenliği (%) (VT)
Standard-düz camlar	5.4	0.87
Isı korunumlu camlar (Çift cam)	2.8	0.75
Isı korunumlu camlar (Üçlü cam)	1.9	0.65
Tayfsal Seçici – Low-E camlar	1.8	0.74
Low-E Argon gazlı camlar	1.5	0.74
Çift katman Low-E Argon camlar	0.8	0.63

Doğramaya İlişkin Özellikler: Bir başka değişken olarak pencere sistemini cam ile birlikte oluşturan strüktürel dayanımı sağlayan doğramalar belirtilmektedir. Pencerelemin doğramaları opak yüzeyler olması sebebiyle herhangi bir ışık geçişine izin vermediği için beklenen yüzeyden daha yüksek olması camdan geçen ışık miktarını engelleyebilmektedir (Şekil 11). Bu sebeple mümkün olduğu kadar yansayan yüzeyin ince kesitli bir doğrama olması hem gün ışığı performansı hem de termal performans için daha etkili olmaktadır (Şerefhanoglu, 1972).



Şekil 11. Doğrama kalınlıkları nedeni ile pencere yüzeyindeki azalmalar (Şerefhanoglu, 1972)

1.6.1.1.4. Güneş Kontrol Elemanları

Binalarda mekâna alınan direkt güneş ışığının denetlenmesi ve mekânlarda istenen iklimsel-görsel konfor koşullarının sağlanması amaçları ile gölgeleme elemanları yaygın olarak kullanılan güneş kontrol yöntemidir. Güneş kontrol elemanlarının optimum tasarımı ve mimaride kullanımı, güneş ışığından en verimli şekilde faydalanmak, kamaşma sorunlarından kaçınmak ve gün ışınımı kaynaklı soğutma yükünü en aza indirmek gibi binalarda istenen konfor koşullarını ve enerji etkin kullanımını doğrudan etkilemektedir (Yılmaz, 2016; Keleş, 2016). Gölgeleme elemanları genel olarak pencere sisteminin iç ve dış kısmındaki yerleşimine göre sınıflandırılmaktadır.

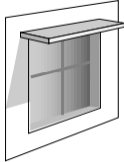
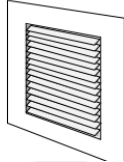
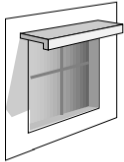
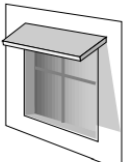
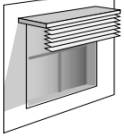
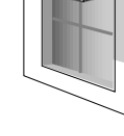
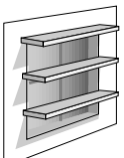
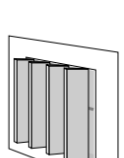
Dış Ortam Gölgeleme Elemanları: Pencere sisteminin dışında, cephede kullanılan gölgeleme elemanları hareketsiz (sabit) ya da hareketli olarak tasarlanabilmektedir. Sabit gölgeleme elemanlarının değişen zaman ve iklim koşulları gözetilerek güneş ışığının geliş açına göre tasarlanması gereklidir. Kuzey yarım küre için güney yönünde güneşin ışınları binaya daha dik ulaştığı için yatay, doğu ve batı yüzeyleri sabah ve öğleden sonra alçak açıdan gelen güneşi önlemek için düşey kayıtlara ihtiyaç duymaktadırlar (Baker ve Steemer, 2002). Tablo 3’de cephedeki biçimlerine ve etkilerine göre bazı yatay ve düşey gölgeleme elemanlarına yer verilmiştir.

Gelişen teknoloji ve malzeme bilimi sayesinde günümüzde farklı teknik özelliklere sahip hareketli dış ortam gölgeleme elemanları mimaride kullanılmaktadır. İklim koşulları ve güneşin hareketine bağlı olarak elle veya otomatik olarak hareket ettirilebilmeleri sebebiyle gün boyunca farklı durumlar için etkili olabilmektedirler (Yener, 1999). Yapı kabuğundaki biçimlenmelerine göre gölgeleme elemanları; yatay, düşey, markiz, jaluzi - panjur ve kinetik olarak gruplanmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Hareketli dış ortam gölgeleme elemanları (URL-5 ve 6, 2023)

Tablo 3. Sık kullanılan sabit dış gölgeleme elemanları (O'Connor vd., 1997; Ofloğlu, 2018)

1- 	Yatay konsol tipidir ve güney cephelerde tercih edilir.	5- 	Panjur tipi en az güneşin girişini sağlamaktadır.
2- 	Konsol ucuna yapılan ek, alçak açılardan gelen güneşin girişini engellenmektedir.	6- 	2 no'lu tip ile benzerlik göstermektedir. Konsolun açısı eğilerek aynı etki elde edilmektedir.
3- 	1 no'lu ve 2 no'lu etki sarkan panjur ile sağlanmaktadır.	7- 	Aralıklı elemanlarla 1 no 'lu çözüme kıyasla daha fazla güneşin girişine izin verilmektedir.
4- 	Parçalanmanın kullanıldığı ve ışık geçiriminin azaltıldığı kırıcı tipidir.	8- 	Binaların doğu ve batı cephelerinde kullanılan düşey kırıcı tipidir.

İç Ortam Gölgeleme Elemanları: Pencere sisteminin iç kısmında yer alan, bakımları dış ortam gölgeleme elemanlarına göre daha kolay ve kamaşma kontrolünde etkili olan iç ortam gölgeleme elemanları storlar, perdeler ve jalüziler olarak çeşitlenmektedir (Şekil 13).

Pencere sisteminin iç kısmında yer almalarından dolayı ısısal konfor açısından dış ortam gölgeleme elemanlarına göre daha düşük performans göstermektedirler. Özellikle ofislerde yaygın olarak kullanılan iç mekân jalûzilerin şerit açılarının kontrolünün güneş ışınlamalarının geliş açısına göre otomasyon ile gerçekleştirilmesi enerji ve konfor koşullarının sağlanması açısından etkin bir çözüm olmaktadır (Şahinoğlu, 2012; Kılıç, 2018).



Şekil 13. İç ortam gölgeleme elemanları (URL-8-9 ve 10, 2023)

1.6.1.2. Güneşli Performansının Değerlendirilmesine Yönelik Yöntemler

İç mekânda güneşli performansının analiz edilmesine imkân veren çeşitli güneşli değerlendirme yöntemleri ortaya konulmuştur. Geliştirilen bu yöntemler, tasarımcılara bilgi vermek ve çeşitli parametreleri karşılaştırmak amacıyla ölçme yöntemleri sunmaktadır. Yıllık, aylık ve günlük zaman dilimlerine göre yapılan bu analizler ile mekanlarda güneşli performansını optimum düzeyde sağlamak amaçlanmaktadır. Literatürde, statik ve iklime dayalı/dinamik yöntemler olarak ikiye ayrılan güneşli değerlendirme yöntemleri Tablo 4'te verilmektedir (Kılıç, 2018; Yılmaz, 2014).

Tablo 4. İç mekânda güneşli performansının değerlendirilmesine yönelik yöntemler

Statik Güneşli Değerlendirme Yöntemleri	İklime Dayalı/Dinamik Güneşli Değerlendirme Yöntemleri
Güneşli Faktörü (DF- DaylightFactor)	Güneşli Otonomisi (DA- DaylightAutonomy)
Ortalama Güneşli Faktörü (ADF- AverageDaylightFactor)	Sürekli Güneşli Otonomisi (DAcon- ContinuousDaylightAutonomy)

Tablo 4'ün devamı

Statik Günişliği Değerlendirme Yöntemleri	İklima Dayalı/Dinamik Günişliği Değerlendirme Yöntemleri
Bir Noktadaki Aydınlik Düzeyi (SPT- Single Point In Time)	Maksimum Günişliği Otonomisi (DAmax-Maximum DaylightAutonomy)
Ortalama Aydınlik Düzeyi Miktarı (Em -AverageIllumination Level)	Faydalı Günişliği Aydınllığı (UDI -UsefulDaylightIlluminance)
Dikey Aydınlik Düzeyi - Yatay Aydınlik Düzeyi Oranı (VH -TheVerticaltoHorizontalIlluminanceRatio)	Mekansal Günişliği Otonomisi (SDA-SpatialDaylightAutonomy)
	Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE- AnnualSunlightExposure)

Gün ışığı Faktörü: Bir mekânda çalışma düzlemi üzerinde yer alan bir noktanın aydınlık düzeyinin engelsiz ve kapalı gök koşulu altında oluşan dış aydınlık düzeyine oranı olarak tanımlanmaktadır. İç mekândaki günişliği performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan eski yöntemlerden biridir. Günişliği faktörünün, gök bileşeni, dış yansımış bileşen ve iç yansımış bileşen olmak üzere 3 bileşeni vardır ve Eşitlik 1 ile elde edilmektedir (CIE,1970).

$$GF = \frac{E_{iç}}{E_{dış}} \times 100 \quad (1)$$

$$E_i = GB + DYB + İYB \text{ (\%)}$$

GF: Günişliği Faktörü

GB: Gök Bileşeni, çalışma düzlemine düşen ışığın dış ortam aydınlık düzeyine oranı

DYB: Dış yansımış bileşen, dış ortamdaki çeşitli yüzeylere çarparak çalışma düzlemi üzerine düşen ışığın, dış ortam aydınlık düzeyine oranı

İYB: İç Yansımış Bileşen, iç ortamdaki çeşitli yüzeylere çarptıktan sonra çalışma düzlemine düşen ışığın dış ortam aydınlık düzeyine oranı.

Gün ışığı Otonomisi: Kullanıcının mekân içerisinde sadece günişliği ile eylemini gerçekleştirebilecek yeterli günişliği olup olmadığının göstergesi olarak kullanılmakta olup hesaplama için çalışma düzlemi ele alınmaktadır. Bu yaklaşım bir yıl içinde bir hacimde istenen aydınlık düzeyinin yalnızca doğal aydınlatma ile sağladığı saatlerin toplamının, yıl içindeki toplam kullanım saatlerine oranı olarak tanımlanmaktadır. (Kılıç, 2018; Yılmaz, 2014).

Sürekli Gün ışığı Otonomisi: Temel olarak gün ışığı otonomisi ile aynı prensibe dayanıyor olmakla birlikte bu yaklaşımın farkı, puanlama biçimidir. Ele alınan hacimde

sağlanması gereken aydınlık düzeyinin yalnızca doğal aydınlatma ile sağlanma durumu ve hacimdeki doğal aydınlatma miktarının ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyine olan yakınlığı dikkate alınarak bir puanlama sistemi geliştirilmiştir (Reinhart, Mardaljevic ve Rogers, 2006). Bu yaklaşım ile hesap noktalarında günışığı ile elde edilen aydınlık düzeylerinin örneğin derslik için gerekli aydınlık düzeyini (300lux) sağlaması durumunda ilgili noktadaki sürekli günışığı otonomisi değeri 1 olarak belirlenir. Aydınlık düzeyinin 300 lux'den az olma ve 300 lux'e yakın olma durumlarına bağlı olarak sürekli günışığı otonomisi 0-1 arasında değişen değerler almaktadır (Yılmaz, 2014).

Faydalı Günışığı Aydınlatması: Faydalı Günışığı Aydınlatması, Günışığı Otonomisi Yöntemi'ne bağlı olarak ortaya atılmış bir değerlendirme yöntemidir (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Bu yöntemde hedef değer ya da eşik değer olarak alınan belirli bir aydınlık düzeyi yerine hacimlerde oluşan günışığının faydalı olma aralıkları dikkate alınmaktadır. Literatürde yapılmış çalışmalar dikkate alınarak belirlenen bu aralıklar (Yılmaz, 2014);

- Yetersiz günışığı aydınlığı (< 100 lux)
- Faydalı günışığı aydınlığı (100 lux < x < 2000 lux)
- Sınırları aşan günışığı aydınlığı (> 2000 lux)'dır.

1.6.1.3. Binalarda Günışığı Standardı (TS EN 17037)

Binalarda pasif sistem olarak doğal aydınlatma kullanımına yönelik olarak performans ölçütlerinin tanımlandığı EN 17037 Binalarda Günışığı Standardı CEN/TC 169 'Light and lighting – Işık ve aydınlatma' teknik komitesi tarafından hazırlanmıştır (CEN: Avrupa Standartlar Komitesi). Türk Standartları Enstitüsü tarafından 2019 yılında Türk Standardı olarak kabul edilerek TS EN 17037:2019 olarak yayımına karar verilmiştir. Bu standart konut ve konut dışı binalarda günışığı performansının değerlendirilmesi hedefiyle belirlenen kriterleri ve günışığı performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek yöntemleri içermektedir (TSE, 2019). Yapılarda, iç mekân günışığının değerlendirilmesine yönelik yapılan birçok çalışmada TS EN 17037 standardında tanımlanan kriterler ele alınmaktadır (Bircan ve Yener, 2019; Uç ve Öztürk, 2022). Standartta yer alan günışığı performans kriterleri şu şekilde özetlenebilir:

Yeterli günışığı aydınlığının sağlanması: Bu standart, günışığının herhangi bir tipolojideki bir binanın aydınlatma gereksinimlerine önemli derecede katkısının olması gerektiğini vurgulamaktadır. Dış engeller, pencere ve hacme ilişkin özelliklerin yıl boyunca

yeterli g n     n  sa  lamak üzere uygun değerlere sahip olmaları gerektiği belirtilmektedir. (Yener, 2022). Standartta yeterli g n     n n sağlanması amacı ile G n     Faktörü ve Detaylı G n     Modellemesi tabanlı iki ayrı değerlendirme yönteminin kullanımı önerilerek sağlanması gereken g n     kriterlerine yer verilmiştir. İlgili yöntemler  u şekildedir:

G n     Faktörü: TS EN 17037 ‘Binalarda G n    ’ standardında mekânlarda çalışma düzlemi üzerinde oluşan g n     aydınlı ının, engellenmemi  CIE Kapalı g    altında e  zamanlı olarak dış yatay düzleminde oluşan aydınlığa oranı olarak tanımlanan G n     Faktörü değerinin ISO 15469:2004 yöntemi ile hesaplanması önerilmektedir. Avrupa Standartlar Komitesinin (CEN)  ye ülkelerin ba kentleri için Ev,d,med (gökten gelen yayınık ı ı ın yatayda oluşturduğu medyan aydınlık düzeyi) değerleri ve buna bağlı olarak hacimde sağlanması gereken minimum g n     faktörü değerleri verilmiştir. Buna göre Ankara İli için hacimlerde g n     saatlerinin %50’sinde 300 lux değerinin sağlanması için minimum g n     faktörü %1,6 ve 100 lux için % 0.5 olarak belirtilmiştir. G n     Faktörü yöntemine göre sağlanması beklenen ölçütler, yapıdaki açıklıkların düşey (pencereler) ya da yatay ( atı ı ıklıkları) olması durumlarına göre farklılık göstermektedir (Yılmaz, 2019).

Detaylı G n     Modellemesi: İ  mekânda oluşan g n     aydınlı ının, standart yıllık meteorolojik veriler kullanılarak, yıllık ve saatlik olarak hesaplanmasını temel almaktadır. Bu hesap yöntemi ile düşey a ıklılara sahip mekânlar için g n     performans değerleri sınıflandırması, hedef aydınlık düzeyinin mekânda sağlanması ve hedeflenen minimum aydınlık düzeyinin mekânda sağlanması kriteri uyarınca Tablo 5’de yer almaktadır (Yılmaz, 2019).

Tablo 5. Düşey açıklığa sahip mekânlarda TS EN 17037 için g n     performans Sınıflandırılması

G�n���� Performans Sınıflandırması	Hedeflenen aydınlık düzeyi E_H (lx)	Hedef aydınlık düzeyinin mekânda sa�lanma yüzdesi hesap düzlemi (%)	G�n���� Performans Sınıflandırması	Hedeflenen minimum aydınlık düzeyi E_{HM} (lx)	Hedef aydınlık düzeyinin mekânda sa�lanma yüzdesi hesap düzlemi (%)
Minimum	300	50	Minimum	100	95
Orta	500	50	Orta	300	95
Yüksek	750	50	Yüksek	500	95

Dış görüşün sağlanması: Dış görüşün sağlanması konusu mekân tasarımında önemli bir parametre olup, çevre ile görsel bağlantı ve dış ortama ilişkin bilginin çeşitliliği, bina kullanıcılarına fizyolojik ve psikolojik anlamda olumlu etkiler sağlamaktadır. Bu nedenle binalarda dış görüş için istenen ölçütlerin sağlanması esastır. TS EN 17037 standardında dış görüş için sağlanması istenen özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Saydam yüzeylerde kullanılan malzemelerin kolay algılanan bir dış görüş sağlaması,
- Kullanım alanlarında ele alınan referans noktalar için elde edilen toplam yatay görüş açısının istenen minimum koşulları sağlaması,
- Kullanım alanlarında görünür doğal/yapma çevreye uzaklığın istenen minimum koşulları sağlaması,
- Kullanım alanlarında en az bir katmanın (yapma/ doğal çevrenin) gün ışığı açıklıklarından görünürlüğünün sağlanması (Yılmaz, 2019).

Kullanıcının konumuna göre pencereden gördüğü dış ortam görüntüsü; gök, doğal ya da yapay manzara ve zemin olmak üzere 3 katman üzerinden değerlendirilmektedir. Tablo 5'te TS EN 17037 standardı kapsamında binalarda dış görüşün sağlanması için tanımlanan ölçütler dış görüş seviyesine bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 6. Binalarda dış görüşün derecelendirilmesi

Dış görüş değişkenleri	Minimum seviye	Orta seviye	Yüksek seviye
Yatay görüş açısı	>14°	>28°	>54°
Dış görüş mesafesi	>6 m	>20 m	>50 m
Alanın en az %75'inde görünmesi gereken katmanlar: Gök, manzara, zemin	Manzara katmanı görünür olmalı	En az iki katman görünür olmalı	Tüm katmanlar görünür olmalı

Yeterli güneşlenme süresinin sağlanması: Binalarda yeterli güneş ışığının iç mekâna alınması ve minimum güneşlenme süresi ölçütlerinin sağlanmasının önemi, sağlık yapılarındaki (hasta yatak odaları), eğitim binalarındaki (kreş oyun odaları) ve konut binalarındaki (kullanılır yaşam alanlarının en az birinde) belirli mekânlar başta olmak üzere güneş ışığı alımının önemli olduğu tüm mekânlar için vurgulanmıştır. Standarda göre 1 Şubat - 21 Mart tarihleri arasında seçilen bir gün için döşemeden 1.20 m yukarıda, pencere düzleminin orta noktasında direkt günışığı alımının saat bazında toplamının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre, güneş ışığından faydalanması beklenen bina tipolojileri için

sağlanması istenen güneşlenme süresi ölçütüne yönelik derecelendirme minimum (1,5 saat), orta (3 saat) ve yüksek (4 saat) olarak standartta verilmiştir (Yılmaz, 2019; Yener, 2022).

Kamaşma kontrolünün sağlanması: Hacim içindeki kamaşma pencereden gelen doğrudan gün ışığı, ışıklığı yüksek gök durumu ya da çalışma alanı ile dış ortam arasındaki ışıklık farkından meydana gelebilmektedir. Kamaşmanın kontrol altına alınması için TS EN 17037 Standardında DGP olarak nitelendirilen Günişığı Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability) yönteminin yıllık olarak kullanımı önerilmektedir. Bu yöntem kullanıcıların mekânlardaki aydınlatma koşullarına olan tepkisi ile mekânlarda ölçülen aydınlık ve parıltı değerlerini ilişkilendirmektedir. Bina kullanıcılarının günışığı kaynaklı oluşan kamaşmadan etkilenme durumları incelenmiş ve elde edilen veriler, mevcut günışığı kamaşma indisleri ile hesaplanarak sonuçlar karşılaştırmış ve DPG eşitliği elde edilmiştir (Wienold ve Christoffersen, 2006). DGP analizleri simülasyon programları aracılığıyla da hesaplanabilmektedir. Standartta göre günışığı kaynaklı kamaşmanın kontrol altında olması için belirlenen kriter, kullanım saatlerinin %5'inden fazlasında DGP değerinin 0,45'i aşmaması şeklindedir. Kamaşmanın önlenmesi için EN17037 standardına göresaglanması gereken değerler Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. Günişığına bağı kamaşmadan korunmaya ilişkin DGP değerleri

DGP korunma düzeyi	Minimum (çoğunlukla rahatsız edici)	Orta (çoğunlukla rahatsız edici değil)	Maksimum (Üst düzey korunma)
DGP Değerleri	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$	$\leq 0,35$

1.6.2. Yapay Aydınlatma Sistemleri

Doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı veya bulunmadığı durumlarda yapay aydınlatma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay aydınlatma tasarımında amaç; görsel konfor koşullarını sağlayacak, enerji etkinliği yüksek, az bakım gerektiren ve kullanım ömrü uzun (dayanıklı) düzenleri oluşturmaktır. Bu amaçla, lamba seçimi ve aydınlatma aygıtı seçimi etkin aydınlatma düzenleri gerçekleştirmek için dikkat edilmesi gereken hususlardır.

1.6.2.1. Lamba Seçimi

Belirli bir aydınlatma düzeninde ışık kaynaklarının yani lambaların uygun seçimi aydınlatma sisteminin performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Görsel konfor, enerji kullanımı, çevresel etki ile ilk yatırım ve işletme maliyeti konularında istek ve ihtiyaçları karşılayacak lamba tercihinin, doğru aydınlatma tasarımlarında önemli payı bulunmaktadır. Ayrıca, eğer kontrol sistemleri gibi uygulamaların kullanılması söz konusu ise lambaların bu sistemler ile uyumlu olması gerekmektedir. Her ışık kaynağının harcadığı elektrik enerjisine karşılık verdiği ışık akısı vardır (Lümen/Watt) ve bu değer lambanın ışık verimini tanımlamaktadır. Lamba seçiminde ışıksal verim (lm/W), renksel geriverim (Ra), lamba ömrü gibi özellikler dikkate alınmalıdır (Egan ve Olgyay, 2002).

Lamba seçiminde, Enerji Sınıflandırma Yönetmeliğince belirlenmiş enerji etiketleri bilgilerine de dikkat edilmelidir. Her lambada bilgilendirme amaçlı bulunan bu etiketlerde yer alan özellikler kullanım alanına ve eylem özelliklerine göre aydınlatma tasarımının başarısını etkilemektedir (Yılmaz, 2016). Bunun yanında, aydınlatma sistemi kurgulanırken doğru lamba seçimi için lambalar, aygıt ve mekân özellikleri ile birlikte düşünülmelidir (Ryckaert vd, 2012; Manav vd, 2013; Principi ve Fioretti, 2014). Tablo 8’de bazı lamba türleri ve özellikleri ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

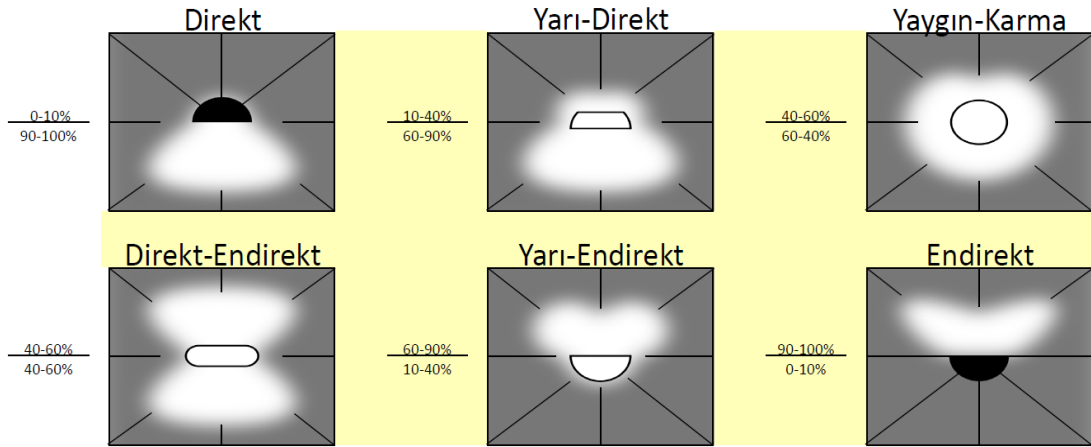
Tablo 8. Lamba türleri ve özellikleri (Çelik, 2018)

Lamba türü	Işıksal verim (lm/W)	Ömür (saat)	Renksel geriverim (Ra, 0-100)	Renk Sıcaklığı (K)	Tepki süresi	İlk Yatırım maliyeti	İşletme gideri	Kullanım alanı
Akkor	8-12	1000	90	2700-3000	hızlı	-	-	Genel aydınlatma
Tungsten halojen	16-19	2000-4000	90	2700-3000	hızlı	düşük	-	-
Cıva buharlı	40-60	12000	40-60	3200-4200	2-5 dk	Orta	Orta	Genel aydınlatma
Kompakt flüoresan	50-85	6000-12000	80-90	2700-4000	Hızlı	Düşük	Düşük	Genel aydınlatma
Flüoresan	70-110	10000-20000		2700-6000	Hızlı	Düşük	Düşük	Genel Aydınlatma
İndüksiyon	60-80	60000-100000	60-80	2800-6700	Hızlı	Yüksek	Düşük	Bakımı ve ulaşılması zor alanlar
Metal Halide	70-100	6000-12000	70-95	3000-7000	5-10 dk	Yüksek	Düşük	Alışveriş merkezleri, mağazalar
Yüksek basınçlı sodyum (standard)	70-150	10000-24000	22-80	2000-3000	2-5 dk	Yüksek	Düşük	Dış mekân, sokak, depo vb. alanlar
LED	80-160	20000-100000	60-97	2700-8000	Hızlı	Yüksek	Düşük	Tüm alanlar

1.6.2.2. Aygıt Seçimi

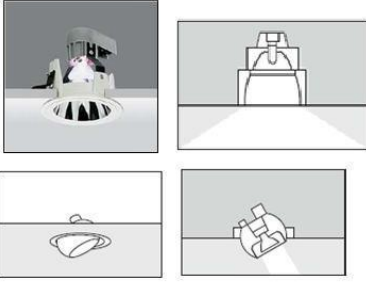
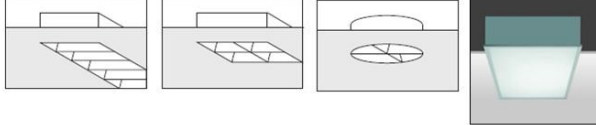
Aydınlatma aygıtı, lamba ya da lambaların ışığının dağılımını düzenlemeye, süzmeye, ya da değiştirmeye yarayan, lambaların dışında tutturucu, koruyucu tüm parçaları ve ayrıca yan devreleri ve şebeke bağlantısını sağlayan parçaları da içeren aygıt olarak tanımlanmaktadır (Sirel, 1997). Aydınlatma aygıtları uygulama alanları ve fotometrik özellikleri olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilir. Uygulama alanlarına göre iç ya da dış aydınlatma aygıtları olarak ikiye ayrılırlar. İç aydınlatmada kullanılan aygıtlar da yerine göre konutlar, ticari binalar ve endüstriyel binalar için olmak üzere 3 grupta toplanabilirler.

Fotometrik yapılarına göre sınıflandırılan armatürler ise üretilen ışığın armatür dışına dağılım biçimine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bir aygıtın ışık dağılımı (ışık şiddeti dağılımı) aygıt tarafından yayılan ışık akısının uzayın farklı doğrultularına nasıl dağıtıldığını tanımlamaktadır. Şekil 14'te ışık dağılımları bakımından aygıtlar, ışık yaydıkları düzlemler göz önünde bulundurularak sınıflandırılmışlardır (Onaygil ve Yurtseven, 2022). Aygıtlar ayrıca, montaj türlerine göre de (gömülü, yüzeye montaj, asılı vb) sınıflandırılabilir. Örnek olarak çeşitli aydınlatma aygıtlarına ilişkin uygulama türleri Tablo 9'da sunulmuştur.



Şekil 14. Aydınlatma aygıtlarının ışık dağılımlarına göre sınıflandırılması

Tablo 9. Uygulama türlerine göre aydınlatma aygıt türleri (Çetin, 2022)

1.Ayarlanabilir toplayıcı tavan armatürü	
2.Tavana gömme armatür	
3.Duvar yıkayıcı armatür	
4.Raya tespit armatür	
5.Sarkıt armatür	
6.Duvara monte armatür	

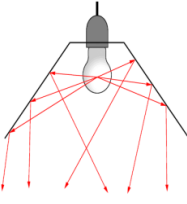
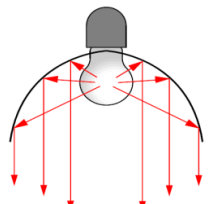
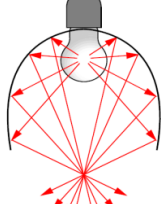
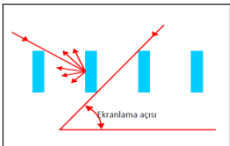
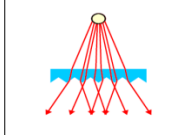
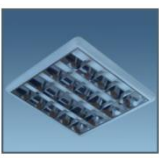
Aydınlatma aygıtlarının bir parçası olan ve lambalardan çıkan ışığın dağılımını düzenleme, süzme ya da değiştirme amaçlı kullanılan ışık denetim elemanları ya da diğer bir ifade ile ışığın kontrolü için kullanılan optik sistemler şu şekilde sıralanmaktadır:

- Yansıtıcı (reflektör)
- Kırıcı (refraktör) ve lensler
- Ekranlama araçları (louvre)
- Filtreler

Örnek olarak çeşitli yansıtıcı tipleri ve ekranlama araçları Tablo 10’da verilmiştir (Onaygil ve Yurtseven, 2022).

Ofis mekânları gibi uzun süre kullanılan hacimlerde, görsel konfor ve enerji etkinliği açısından aygıt seçimi önem taşımaktadır (Erkin vd, 2013; Yılmaz vd, 2019). Aygıt seçiminde aydınlatma tekniği yönünden gerekli koşullar; yüksek aygıt geriverimi, kamaşma kontrolü, uygun ışık akısı dağılımı, iç mimari kullanıma uygunluk, dayanıklılık ve kolay bakımdır. Burada aygıt geriverimi, aygıt dışına çıkan ışık akısının, içerisindeki lambaların toplam ışık akısına oranı olarak tanımlanır. Mekân işlevine göre seçilecek geriverimi yüksek aygıtlarla harcanan güç aynı kalırken daha yüksek aydınlık düzeyi elde edilmesi ile enerji etkin bir aydınlatma tasarımı sağlanabilmektedir.

Tablo 10. Aygıt yansıtıcı tipleri ve ekranlama araçları (Onaygil ve Yurtseven, 2022)

Yansıtıcı (Reflektör)		
		
Düzlemsel yansıtıcı	Parabolik yansıtıcı	Eliptik yansıtıcı
Ekranlama Araçları		
Düz louvre 	Parabolik louvre 	Prizmatik kırıcı panel 
		

1.6.2.3. Aydınlatma Kontrol Sistemleri

Binalarda, aydınlatma kontrol sistemlerinin kullanımı ile yeteri kadar ışık miktarının istenilen yerde ve zamanda sağlanması aynı zamanda konfor koşullarından ödün vermeden mümkün olabilmektedir. Uzun çalışma saatlerine sahip ofislerde, verimli aydınlatma sistemlerinin kullanımının yanı sıra kontrol sistemlerinin kullanımı ile daha fazla enerji tasarrufu yapılabilmektedir (CIBSE, 2001). Kontrol sistemleri ile bir mekândaki aydınlık, kullanıcıların gereksinimlerine göre kolayca düzenlenebilir ve yönetilebilir. Yapma aydınlatma sistemlerinin ve aydınlatma kontrolünün doğal aydınlatma ile uyumlu olarak tasarlanması beklenmektedir. Aydınlatma kontrol sistemlerinin yaygın olarak kullanılan türleri (CIBSE, 2012);

- Mevcut günışığına göre aydınlatma kontrolü,
- Bina kullanım yoğunluğuna göre aydınlatma kontrolü,
- Bir programlayıcı / zamanlayıcı ile aydınlatma kontrolü,
- Bölgeye göre aydınlatma kontrolü, olarak sıralanmaktadır.

Aydınlatma kontrol sistemlerinde kullanılan araçlar ise;

- Açma-kapama anahtarı,
- Kontrol düğmesi,
- Loşlaştırma düğmesi-dimmerleme,
- Zamanlayıcı,
- Varlık sensörü,
- Günışığı aydınlığı algılayıcı, olarak sıralanmaktadır.

Aydınlatma kontrol sistemlerinin binalarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar, uygun kontrol sistemlerinin, bina aydınlatma enerjisi tüketiminde önemli azalma sağladığını göstermektedir. İtalya’da gerçekleştirilen bir çalışmada aydınlatma kontrol sistemlerinin enerji tüketimine etkileri 10 adet ofis binası için incelenmiş, kontrol sistemleri ile %17 - %32 aralığında aydınlatma enerjisi tasarrufu elde edildiği belirtilmiştir (Aghemo ve Pellegrino, 2014). Güney Kore’de gerçekleştirilen başka bir çalışmada, iç mekânda uygun görsel konfor koşulları ihmal edilmeden, otomatik loşlaştırmanın kullanıldığı 4 ofis mekânında %43 oranında aydınlatma enerjisi tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir (Yun vd, 2012).

1.6.3. Aydınlatma Tasarımlarının Enerji Performansının Belirlenmesi

Günümüzde artan enerji ihtiyaçları ve maliyetleri, enerjiye olan bağımlılığı ortaya çıkarmaktadır. Binalarda harcanan enerji, dünya genelinde harcanan enerjinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle enerji etkin bina tasarımlarında amaç, doğal kaynaklardan optimum yararlanarak sürdürülebilir bir çevre yaratmaktır. Aydınlatma enerjisi gereksinimleri, bir binanın enerji performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Aydınlatma sistemlerinde enerji etkinliği, görsel konfor koşullarını sağlamak amacı ile harcanan enerjinin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu amaçla enerji etkin tasarım ve işletim stratejileri geliştirilmelidir (Yener, 2022). Binaların aydınlatma enerjisi performansı, yapma ve doğal çevre tasarım parametrelerine, tasarlanan aydınlatma sistemlerinin özelliklerine ve aydınlatma kontrol sistemlerinin özelliklerine göre değişim göstermektedir. Yapma aydınlatma sistemine ilişkin dikkat edilmesi gereken kriterler;

- Lamba, balast ve aygıt teknolojilerinin uygun seçimi,
- Aygıtların yerleştiriliş düzeni,
- Bölge aydınlatma yaklaşımının uygulanması,
- Bakım ve kullanım faktörünün dikkate alınması,
- Mekândaki hedef aydınlık düzeyinin belirlenmesi, olarak belirtilmiştir.

Bir mekân içindeki eyleme uygun olarak kurulan yapay aydınlatma düzenlerinde, kullanılan enerjinin bir bölümünde değişik aşamalarda kayıplar oluşabilmektedir. Bu kayıplar, elektrik enerjisinin ışığa dönüşümü, lamba ışığının yararlı ışığa dönüşümü ve aydınlığın yararlı ışığa dönüşümü sırasında çıkan kayıplar olmak üzere üç başlıkta toplanmaktadır (Başkan, 2004). Güneş ışığının etkin kullanımı ile aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin azaltılması, birçok çalışmada ele alınmış ve binalarda doğal aydınlatma stratejileri ile aydınlatma enerjisi performansına etkileri belirlenmiştir. Doğal aydınlatma sistemi tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler;

- Binanın yeri ve yönü,
- Hacim boyutları,
- Doğal aydınlatma sistemine ilişkin fiziksel özellikler,
- Gölgeleme elemanlarının etkisi,
- Yüzeylerin ışık yansıtma çarpanı, olarak belirtilmiştir (Yılmaz, 2014).

Belirlenen kriterler doğrultusunda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bir çalışmada, cephe tasarımının aydınlatma enerjisi tüketime etkileri incelenmiştir. Elde edilen

sonuçlara göre, otomatik kontrollü stor perde sistemleri sabit gölgeleme elemanlarına göre daha enerji etkin bir kullanım sunmaktadır (Kaçel ve Yener, 2008). Çatı penceresi kullanım önerisinin enerji tüketimi açısından yarattığı değişimin tartışıldığı bir başka çalışmada, önerilen çatı penceresinin toplam enerji yükünü arttırdığı görülmüştür (Cilasun, 2016). Farklı iklim bölgelerinde, ideal pencere alanının enerji etkinliği açısından araştırıldığı bir çalışmada ise dış aydınlık düzeyinin yüksek olduğu bölgede pencere alanındaki değişimin enerji performansını daha yüksek oranda etkilediği görülmüştür (Ghisi ve Tinker, 2005).

Birçok ülkedebinalardaki aydınlatma enerjisi performansının belirlenmesi üzerine çalışmalar ve standartlar geliştirilmiştir. Amerika’da aydınlatma enerjisi ile ilgili gerekli tavsiyeleri içeren standart ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) 90.1 mekanlarda sağlanması gereken aydınlık düzeyleri için harcanan enerjinin standardize edilmesine yönelik bir yöntem içermektedir. ‘Aydınlatma Güç Yoğunluğu’ (Lighting Power Density- LPD) yöntemi Zonal Cavity Methodu olarak nitelendirilmiş Lümen yöntemine dayanmaktadır. Metrekare başına aydınlatma kurulu gücünü (P_n) belirtmekte olup birimi W/m^2 ’dir. Bu yöntemde, mekânlarda istenen görsel konfor koşullarının sağlanması hedefi ile lambaların verimi, önerilen aydınlık düzeyleri ve aydınlatma tasarımına ilişkin bilgilere de yer verilmektedir (IESNA, 2000).

Avrupa’da 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yayınlanmıştır. (2002/91/EC). Bu yönetmenliği takiben binalarda aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin hesaplanması için EN 15193 Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri standardı hazırlanmıştır. 2021 yılında güncellenen yeni versiyonu EN 15193-1+A1 standardı, Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurulunun toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiş ve TS EN 15193-1+A1 standardı olarak yürürlüğe girmiştir. Standartta binaların aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesine yönelik bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem, mevcut binalar için, yeni veya yenilenecek binaların tasarımı esnasında değerlendirme amacı ile kullanılabilir. Literatürde bu bağlamda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Ünnü vd, 2021; Kılıç vd, 2021). Pompei vd (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, İtalya’da, 9 farklı bina tipolojisinde, aydınlatma enerji gereksinimleri EN 15193-1 standardına göre değerlendirilmiş ve LENI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, flüoresan yapay aydınlatma kaynağının LED sisteme dönüşümü, LENI değerlerini en fazla etkileyen değişken olmuştur.

1.6.3.1. TS EN 15193-1+A1 Binalarda Enerji Performansı - Aydınlatma Enerjisi Gereksinimleri

EN 15193 standardında binalarda tüketilen aydınlatma enerjisi miktarının belirlenmesi için 3 yaklaşım sunulmaktadır. Kısa yöntem, ön tasarım aşamasında, binaların aydınlatma sistemine ilişkin detaylı veriler henüz mevcut değilken kullanılmaktadır. Ölçüme dayalı enerji performansı belirlenmesi ise yalnızca mevcut binalarda uygulanabilmektedir. Ayrıntılı yöntem, yeni veya yenilenmiş binalarda, aydınlatma sistemine ilişkin detaylı verilerin mevcut olduğu durumlarda kullanılabilmektedir. Standartta verilen ayrıntılı hesap yöntemi aşağıdaki adımlarda açıklanmıştır.

Standard, binaların aydınlatma enerji gereksinimini yapma aydınlatma kurulu gücüne ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak mekânda sağlanan günışığı etkinliğine göre belirlenmesine imkân sağlamaktadır. TS EN 1593-1+A1 standardı kapsamında tanımlanan hesaplama yöntemine göre bir binada ele alınan herhangi bir hacim veya bölümde aydınlatma amacıyla tüketilen yıllık enerji miktarı aşağıda verilen Eşitlik 2 ile hesaplanabilmektedir.

$$W_{L,t} = \{ (P_n \times F_c) \times F_o [(t_D \times F_D) + t_N] \} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (2)$$

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

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

F_c : Sabit aydınlık faktörü

t_D : Gün saatleri kullanımı (h)

F_o : Kullanıma bağlı faktör

F_D : Günışığı bağımlılık faktörü

t_N : Gün saatleri dışında kullanım (h)

TS EN 15193 standardı kapsamında yapma aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesinde iklim, yönlenme, sabit ve hareketli güneş kontrol elemanı varlığının hesaplamalara dâhil edilmesi ile iç mekânda günışığı etkinliği detaylı bir şekilde belirlenebilmektedir. Kullanılan yöntemde yer alan günışığı bağımlılık faktörü (F_D), hacimlerin günışığından yararlanması durumunda gün saatleri içinde aydınlatma enerjisi gereksiniminde gerçekleşebilecek azalmayı ifade etmektedir. Bu değer günışığı sağlama faktörü ($F_{D,s}$) ve günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,c}$) değerlerine bağlı olarak belirlenmektedir.

Günlüğü sağlama faktörü ($F_{D,S}$): Günlüğü sağlama faktörünün belirlenmesi için çeşitli indislerin hesaplanması gerekmektedir. Ele alınan hacimdeki pencere boyutları, hacim boyutları, pencere önünde engel bulunması gibi durum özellikleri incelenerek, pencere açıklığına ilişkin günlüğü faktörü (D_c) hesaplanmakta ve bu değere göre günlüğü etkisi, “güçlü, orta, zayıf, hiç” olarak sınıflandırılmaktadır. Bu değer belirlenmesi amacı ile geçirgenlik indisi (I_{Tr}), derinlik indisi (I_{RD}) ve engel indisinin (I_{sh}) hesaplanması gerekmektedir. Geçirgenlik indisinin (I_{Tr}) hesaplanmasında pencere boyutu, konumu ve sayısı gibi değişkenler dikkate alınmaktadır. Derinlik indisi (I_{RD}) ele alınan bölgenin derinliği(m), lentonun yerden yüksekliği ve çalışma düzlemi yüksekliğini dikkate alınarak belirlenmektedir. Engel İndisi (I_{sh}) karşı bina engeli, yatay saçak, düşey gölgeleme elemanı, avlu veya atrium ve camlı çift cidarlı cephe için düzeltme faktörü değerleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu doğrultuda bir hacmin günlüğü faktörü Eşitlik 3 uyarınca bulunmaktadır.

$$D_c = (4.13 + 20.0 \times I_{Tr} - 1.36 \times I_{RD}) \cdot I_{sh} \quad (3)$$

TS EN 15193 Standardında cephede ayarlanabilir güneş kontrol araçlarının bulunması halinde de, cepheye güneş gelmiyor ve gölgeleme elemanları aktif değil ya da cepheye güneş geliyor ve gölgeleme elemanları aktif şeklinde iki durumun da incelenmesi gerekmektedir. $F_{D,S}$ değerinin belirlenmesinde yönlenmeye bağlı bu 2 farklı durumun gerçekleşme sürelerinin öngörülerek hesaplamalara katılması gerekmektedir. Eşitlik 4’te $F_{D,S}$ değeri hesaplanmaktadır.

$$F_{D,S} = \text{treIDSNA} \times \text{FDSSNA} + \text{treIDSA} \times \text{FDSSA} \quad (4)$$

FDSSNA: Cepheye güneş gelmiyor ve gölgeleme elemanı aktif değil

FDSSA: Cepheye güneş geliyor ve gölgeleme elemanı aktif

treIDSNA: Gölgeleme elemanını aktif olmadığı sürenin toplam kullanım saatlerine oranı

treIDSA: Gölgeleme elemanını aktif olduğu sürenin toplam kullanım saatlerine oranı

Gölgeleme elemanlarının aktif olmadığı süre için günlüğü sağlama faktörü, enlem, iklim ve yöne bağlı olarak gerekli tablodan belirlenebilmektedir. Gölgeleme elemanlarının aktif olduğu süre için ise günlüğü etkisinin “güçlü, orta, zayıf, hiç” olma durumu ve kullanılan gölgeleme elemanının türü göz önüne alınarak gerekli tablodan belirlenmektedir.

Bu noktada pencere ışık geçirgenlik değeri, pencere doğrama çarpanı, camın kirlilik faktörü gibi değerler günışığı sağlama faktörü ile etkileştirilmektedir. Standartta hacimlerde istenen aydınlık düzeyi 300-500-750 lx olarak gruplanmış ve hacimde istenen aydınlık düzeyine göre günışığı etkisine bağlı katsayılar tanımlanmaktadır.

Günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D, C}$) değeri, günışığı bağımlılık faktörüne (F_D) etki eden diğer bir faktördür. Yapma aydınlatma kontrol sisteminin sağlayacağı enerji etkinliğini belirten katsayıdır. $F_{D, C}$ değerleri, yapma aydınlatma kontrol sisteminin manuel veya otomatik olması durumuna ve günışığı etkisine bağlı olarak hesaplamalara katılmaktadır. Sonuç olarak F_D (*Günışığı bağımlılık faktörü*) değeri Eşitlik 5'e göre hesaplanmaktadır:

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \times F_{D,C}) \quad (5)$$

Yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimini (kWh) hesaplayan bu formülde yer alan t_D ve t_N değerlerinin belirlenmesi için binaların kullanım saatleri sırasında günışığının mevcut olup olmaması durumu incelenmektedir. Bina tipolojisine bağlı olarak değişen yıllık kullanım süreleri içinde günışığının mevcut olduğu süre t_D , ve günışığının mevcut olmadığı süre t_N değerleri TS EN 15193-1 standardında yer almaktadır.

Sabit aydınlık faktörü F_c değeri, hacimlerde sabit aydınlık düzeyi sağlayan loşlaştırılabilir bir kontrol sisteminin mevcut olması durumunda hesaba katılması gerekmekte, loşlaştırma yoksa $F_c = 1$ alınmaktadır.

Kullanıma bağlı F_o değeri, hacimlerin kullanımına ve aydınlatma sisteminin kontrolüne bağlı olarak belirlenerek hacimlerin kullanılmadıkları süreyi yüzde olarak ifade eden yokluk faktörü F_A 'ya göre verilmektedir. Yokluk faktörü F_A değeri, hacimlerin kullanılmadıkları süreyi yüzde olarak ifade etmektedir. Örnek olarak; tek kişilik ofisler için $F_A = 0.40$, 2-6 kişilik ofisler için $F_A = 0.30$ ve açık planlı ofisler için $F_A = 0.00$ olarak verilmiştir.

Sonuç olarak bir hacimde ya da binada yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi ($W_{L,t}$) belirlenen değerlerin yukarıda verilen Eşitlik (2)'de yerini alması ile hesaplanabilmektedir. Buna ek olarak bir binada otomatik kontrol ve acil durum aydınlatma sisteminin olması durumlarında bu sistemlere ilişkin parazit güçlerin de eklenmesi ($W_{P,t}$) ile yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimi ($W_t = W_{L,t} + W_{P,t}$) belirlenebilmektedir (Yener vd, 2019; TSE, 2021).

1.6.4. Ofislerde Görsel Konfor Koşulları

İnsanın görsel açıdan konforda olması, görsel performansın ve buna bağlı olarak yapılan işteki verimi artırılarak göz sağlığının korunması, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerini optimum düzeyde sağlayabilecek bir aydınlatma tasarımı ile mümkündür. Bu nedenle temel prensip olarak farklı bina ve hacim türleri için gerekli görsel konfor koşulları, yapı tasarımı ile bütünleşmiş ve uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterler doğrultusunda ele alınmalıdır.

Dünyada, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu), IESNA (Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Birliği), SLL (Society of LightandLighting- İngiltere), CIBSE (The Chartered Institution of Building Service Engineers- İngiltere) gibi kuruluşlar binaların doğru şekilde aydınlatılması için çeşitli tavsiyeler yayınlamaktadır. Ayrıca, Avrupa Birliği- AB genelinde yayınlanan EN 12464 Işık ve Aydınlatma başlıklı standart Avrupa için geçerli olup, Türkiye’de de bu standardın kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Ülkemizde yürürlükte olan “TS EN 12464-1:2021- Işık ve Aydınlatma-Çalışma yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm1: Kapalı Çalışma Alanları”, başlıklı standartta, farklı işlevlere göre mekanlarda kullanıcı görsel konforunun sağlanmasında etkili olan aydınlatma tasarım ölçütleri şu şekilde sıralanmıştır;

- Aydınlık düzeyi (E)
- Aydınlığın Dağılımı (U_0)
- Parıltı (Işıklık) Dağılımı
- Kamaşma(UGR)
- Işığın Renksel Özellikleri
- Işığın Doğrultusal Yapısı

Aydınlik Düzeyi (E): Bir yüzeyin birim alanına birim zamanda düşen toplam ışık akısı miktarı olarak tanımlanmakta olup birimi lux dır (Sirel, 1997). Aydınlik düzeyi yüzeyin ışık akısının o yüzeyin alanına bölümüne eşittir ($E: \text{lm}/\text{m}^2$, lux). Aydınlatma tasarımındaki en temel büyüklüklerden biridir. Aydınlatma tasarımı, söz konusu çalışma düzleminde sağlanması gereken ortalama aydınlık düzeyinin belirlenmesi ile başlamaktadır. Aydınlik düzeyi gereksinimleri, aydınlığa ihtiyaç duyulan alanın konumuna, geometrik biçimine, yapılan eylem ve kullanıcı özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, yatay çalışma alanlarında yatay aydınlık düzeyi (E_h) önemliyken, tahta, pano gibi düşey

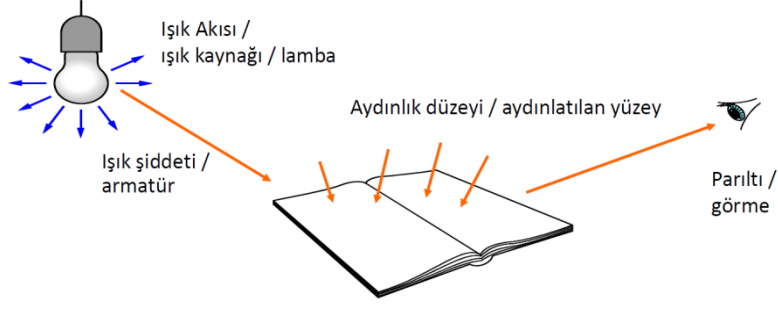
elemanlarda düşey aydınlık düzeyi (E_v) değerlerinin sağlanması gerekmektedir (Ünver, 2022). Avrupa Normu EN 12464-1 standardına göre görme konusunun söz konusu olduğu çalışma bölgesinde sağlanması gereken minimum ortalama aydınlık düzeyi hacim tipi, konu ya da etkinliğe göre Tablo 11’ de yer almaktadır.

Tablo 11. Ofislerde sağlanması önerilen minimum aydınlık düzeyleri (TS EN 12464-1)

Hacim tipi, Konu ya da Etkinlik	$E_m(lx)$
Dosyalama, kopyalama, dolaşım alanları vb.	300
Yazma, daktilo ile yazma, okuma, veri işleme	500
Teknik çizim	750
CAD çalışma yerleri	500
Konferans ve toplantı hacimleri	500
Resepsiyon bankosu	300
Arşivler	200

Aydınlığın Dağılımı: Bir yüzeyde en düşük aydınlık düzeyinin (E_{min}), ortalama aydınlık düzeyine (E_{ort}) oranını gösteren büyüklük **Aydınlığın Dağılımı** olarak tanımlanmaktadır ($U_o: E_{min}/E_{ort}$) (Ünver, 2011). Eylemlerin gerçekleştiği alanlarda aşırı aydınlık değişimleri dikkati dağıtabilmekte ve görsel performansı düşürebilmektedir. Bu nedenle, ofislerde mekânın her bölgesinde işlevin, dolayısıyla aydınlık gereksiniminin benzer olduğunu gösteren aydınlığındüzgün bir dağılıma sahip olması istenmektedir. **Aydınlığın düzgün dağılımı** aşırı aydınlık farklarını önlemek için ofislerde gereken bir ölçüttür. En az aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranının 0.6’dan büyük olması durumunda aydınlık düzeyi düzgün yayılmış varsayılmaktadır ($E_{min} / E_{ort} \geq 0.6$).

Parıltı (L) (Işıklık): Parıltı terimi, yüzey yansıtma faktörüne dolayısıyla yüzeyin yapısına bağlı bir büyüklüktür. Parıltı, bir yüzeyin birim alanından, belirli bir doğrultuda yayılan ışık şiddetidir ($L: cd/m^2$). Parıltı, görmemizi sağlayan bir büyüklüktür (Özdeniz, 1992). Cisimler ancak parıltı ile gözde görme işlevini sağlayan hücreleri uyarabilmektedir. Şekil 15’te lambadan çıkan ışık akısı, aydınlık düzeyi ve ışıklık kavramları bir düzlem üzerinde ilişkilendirilmiştir.



Şekil 15. Işık akısı, aydınlık düzeyi, ışıklık ilişkisi (Onaygil, 2022)

İç mekânlarda, hacim yüzeylerindeki parıltı dağılımı görsel konfor açısından önem taşımaktadır. Parıltı dağılımlarının neden olduğu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması ve görsel algılama açısından uygun bir çevrenin oluşturulabilmesi için görme alanına giren değişik yüzey ve nesnelerin ışıklıkları arasında belli oranların olması ve bunların belirli sınırlar içinde kalması gerekmektedir (Yağmur ve Sözen, 2016). Sağlanması gereken karışıklık oranları Tablo 12’de gösterilmektedir. Bu değerlerin istenilen sınırlar arasında bulunmaması, kamaşma olayını beraberinde getirmektedir (IESNA,2011).

Tablo 12. Işıklık karışıklığı oranları

Görme açıları-alanları	Işıklıklar arasındaki oran
Bakılan alan (1^0)- Merkez alan (30^0)	1-1/3
Bakılan alan (1^0)-Dış alan (90^0)	1-1/10
Bakılan alan (1^0)- Bütün alan (120^0)	1-1/40

Hacim yüzeylerinin parıltıları, sağlanan aydınlık düzeyinin yanında yüzeylerin yansıtma faktörlerine bağlı olarak da değişmektedir. Yüzeylerin renkleri ve yansıtma biçimleri mekânlardaki aydınlığı önemli ölçüde etkilemektedir. Çalışma düzlemindeki yeterli aydınlık düzeyinin elde edilmesinde iç yüzeylerdeki yansımaların katısı büyüktür. Bu nedenle tavanların beyaz, duvarların ise açık renk olması önerilir. Fakat bununla birlikte, iç yüzeylerde yasıma yapacak cilalı ve parlak yüzeylerden kaçınılmalıdır. Bu bağlamda, görsel konforun sağlanabilmesi için TS EN 12464-1: 2021 standardında önerilen belirli bir hacmin yüzey yansıtma faktörleri Tablo 13’de verilmektedir.

Tablo 13. İç yüzeyler için önerilen yüzey yansıtma katsayıları

TAVAN	0.7- 0.9
DUVARLAR	0.5 - 0.8
DONATILAR	0.2- 0.7
DÖŞEME	0.2- 0.6

Kamaşma: Hacimlerdeki ışıklıkların uygun olmayan dağılımları ya da aşırı bir karışıklık sonucu, nesnelerin ve sahip oldukları ayrıntılarının ayırt edilmesinde bir yetenek eksikliği, bir sıkıntıya yol açan görme koşulları olarak tanımlanmaktadır (Sirel,1997). Başka bir anlatımla 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 (Özkaya, 2004). Görme alanına giren ve ışıklığı yüksek olan yapay ya da doğal ışık kaynakları kamaşmaya neden olabilmektedir. Yetersizlik ve konforsuzluk kamaşması olmak üzere iki tür kamaşma bulunmaktadır. Yetersizlik kamaşması, göze giren ışık miktarı ile ilgili olup görme yeteneğinin bozulmasına ya da geçici olarak kaybolmasına neden olmaktadır. Konforsuzluk kamaşması ise yüksek parıltıya sahip yüzeylerin, armatürlerin ya da pencerelerin görme koşullarında rahatsızlık oluşturması durumunda ortaya çıkmaktadır (IESNA, 2011; Boyce, 2003).

Kamaşma özellikle gün boyu kullanılan ve görsel işlerin gerçekleştirildiği hacim türlerinde kullanıcıların göz sağlığını olumsuz etkileyen, görsel işte verimin düşmesine neden olan bir problemdir. Görsel konforun sağlanabilmesi için hem lamba veya aydınlatma aygıtlarının neden olduğu doğrudan kamaşmadan hem de parlak yüzeylerde yüksek ışıklıkların yansıması sonucu oluşan kamaşmadan kaçınılması gerekmektedir. Günümüzde, iç aydınlatma kalite kriterleri içerisinde tanımlanmış konforsuzluk kamaşması, birleşik kamaşma değeri (UGR: Unified Glare Rating) hesaplanarak değerlendirilmektedir. CIE tarafından geliştirilen UGR'nin hesaplanmasında Eşitlik 6 kullanılmaktadır (CIE,1995).

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_f} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \left[\frac{cd}{m^2} \right] \quad (6)$$

L_f : fon parıltısı

L : gözlemciye göre her bir armatürün parıltısı [cd/m^2]

ω : gözlemciye göre her bir armatür için ayrı ayrı hesaplanan uzay açısı [sr]

p : her bir armatür için Guth pozisyon endeksi (bakış doğrultusundan sapma açısına göre)

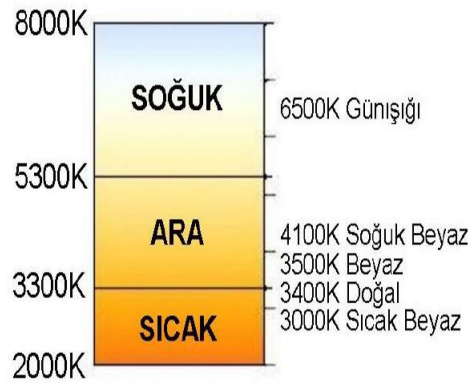
Kamaşma değerleri, farklı amaçlar ile kullanılan hacimler için farklı limit değerlerde tanımlanmıştır. Örneğin, 500 lux aydınlık düzeyinin sağlanacağı bir ofis hacmi için UGR değeri 19 ile sınırlandırılmıştır. 750 lux aydınlık düzeyinin sağlanması gereken başka bir ofis hacmi için, UGR değerinin 16 ile sınırlandırılması gerekmektedir. UGR kamaşma kategorisi değer aralıkları Tablo 14’te verilmektedir (Jakubiec ve Reinhart, 2010).

Tablo 14. UGR kamaşma kategorisi aralıkları

Kamaşma Kategorisi	UGR
Hissedilmeyen kamaşma	<13
Hissedilebilir kamaşma	13-22
Rahatsızlık verici kamaşma	22-28
Katlanılmaz kamaşma	>28

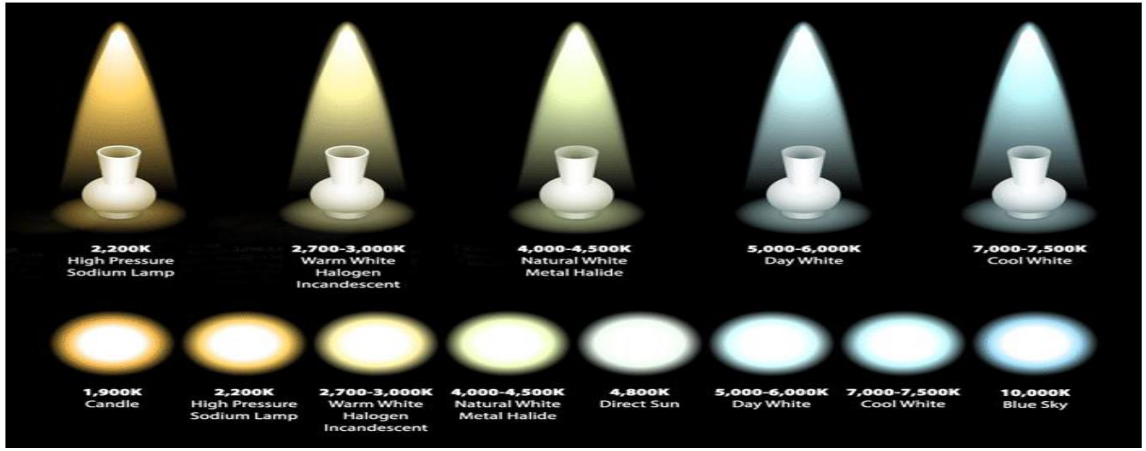
Işığın Renksel Özellikleri: Işık kaynaklarının rengi, Renk Sıcaklığı (CCT, CorrelatedColorTemperature) ve Renksel Geriverim Endeksi (CRI, ColorRendering Index) olmak üzere iki temel özellik ile tanımlanmaktadır (Sirel,1992).

- Renk Sıcaklığı:** Bir ışığın renk sıcaklığı (T_c) kısaca, aynı renksellikte bulunan kara cismin sıcaklığı olarak tanımlanır ve birimi Kelvin (K)’dir. Işık kaynaklarının ışık rengi, tayflarındaki ışınım yoğunluklarının farklı şekilde olmalarına bağlıdır. Işık kaynaklarının renksel izlenimleri TS EN 12464-1 tarafından belirtilen biçimde üç bölüme ayrılmıştır (Şekil 16).



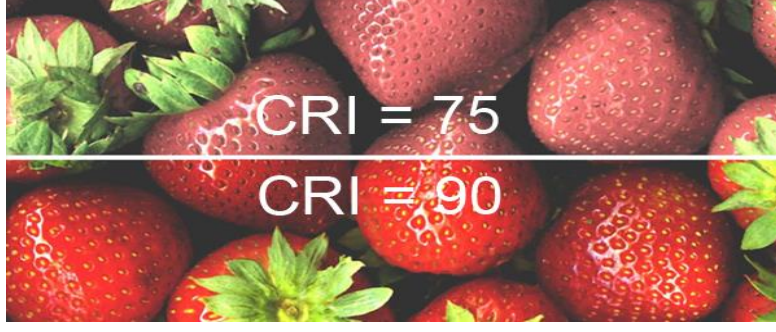
Şekil 16. Renksel izlenim ilişkisi (Ünver, 2022)

Hangi ortamlarda hangi renk sıcaklığının tercih edildiği konusundaki çalışmalara literatürde oldukça sık rastlanmaktadır. Genel bir yaklaşımla, 500 lx'ten düşük aydınlık düzeyleri için sıcak, 500-3000lx arası için ılık, 3000 lx den büyük aydınlıklar için ise soğuk ışık kaynakları önerilmektedir (Kruithof, 1941). Ofis aydınlatmasında kullanılan lambaların renk sıcaklıkları değişkendir. Yapılan çalışmalarda renk sıcaklığındaki değişimlerin ofis mekânlarında performans ve mekân algısı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Manav, 2007; Manav ve Küçükdoğan, 2006). Bunlarla beraber, çalışanların dikkat ve konsantrasyonu için 4000K ve üzeri renk sıcaklığına sahip ışık kaynakları önerilmektedir.



Şekil 17. Renk sıcaklıklarının şematik ifadeleri (Ünver, 2022)

- b. Renksel Geriverim Endeksi: Işık kaynaklarının aydınlattığı nesnelerin öz rengini ne oranda gösterebildiğini ifade etmektedir. Renksel geriverim endeksinin birimi yoktur ve (R_a) ile gösterilir. Bir referans kaynak ile çeşitli ışık kaynaklarının renksel geriverimleri ölçülebilmektedir. Bu ölçümlerde sürekli tayfa sahip olan gün ışığı referans alınmaktadır. Bir ışık kaynağı 100 değerine sahipse ($R_a=100$) referans kaynak ile aynı olduğu anlamına gelmektedir. Yani güneşin altında görünen renkler, renksel endeksi $R_a=100$ olan ışık kaynakları altında da aynı şekilde algılanabilecektir. Şekil 18’de farklı R_a değeri olan ışık kaynakları ile aydınlatılan aynı nesnenin görünüşleri örneklenmiştir.



Şekil 18. Aynı nesnenin farklı R_a değerleri ile aydınlatılan görüşleri (URL-13, 2023)

Literatürde, farklı amaçlara hizmet eden aydınlatma tasarımları için kullanılabilen ışık kaynaklarının R_a değerleri eşleştirilmiş ve buna bağlı olarak Tablo 15’de görülen R_a değeri ile ilgili tavsiyeler oluşturulmuştur (CIBSE,1984). Ofis binalarındaki birçok hacim için renksel geriverimi 80’in üzerinde (Kademe 1A ve 1B) olan ışık kaynaklarının kullanılması istenmektedir (Tablo 16) (TS EN 12464-1).

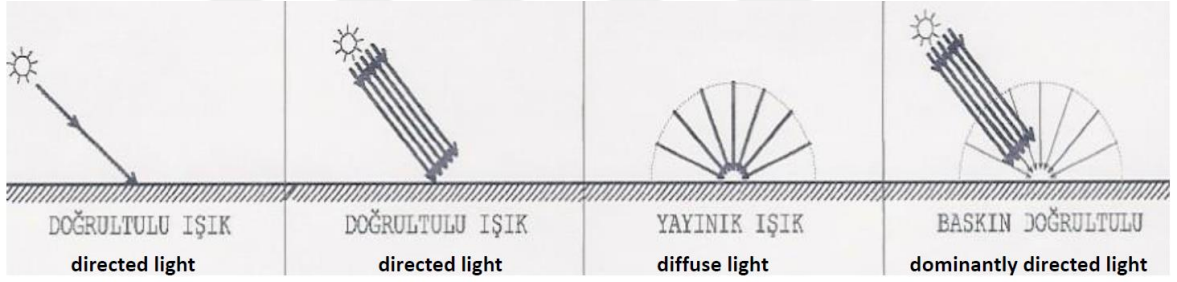
Tablo 15. Renksel geriverim değerleri (CIBSE,1984)

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

Tablo 16. TS EN 12464-1’e göre ofislerde sağlanması gereken değerler

Ref.No	Eylem türü	E_m (lx)	UGR_L	U_o	R_a
5.26.1	Dosyalama, kopyalama vb.	≥ 300	≤ 19	$\geq 0,40$	≥ 80
5.26.2	Yazma, okuma, veri işleme	≥ 500	≤ 19	$\geq 0,60$	≥ 80
5.26.3	Teknik çizim	≥ 750	≤ 16	$\geq 0,70$	≥ 80
5.26.4	CAD çalışma istasyonu	≥ 500	≤ 19	$\geq 0,60$	≥ 80
5.26.5	Konferans ve toplantı odaları	≥ 500	≤ 19	$\geq 0,60$	≥ 80
5.26.7	Danışma masası	≥ 300	≤ 22	$\geq 0,60$	≥ 80
5.26.8	Arşiv	≥ 200	≤ 25	$\geq 0,40$	≥ 80

Işığın Doğrultusal Yapısı: Belli bir düzlem üzerine düşen ışık, tek bir doğrultudan gelebildiği gibi, birkaç ya da sonsuz doğrultudan gelebilmektedir. Bu özellik ışığın doğrultusal yapısını tanımlamaktadır (Şekil 19). İç yüzey yansıtma çarpanları ve aydınlatma biçimi (dolaylı, yarı dolaylı, yayınlık, vb) bu doğrultusal yapıyı belirlemede etkin rol oynamaktadır (Sirel,1992). Mimari mekânlarda ya da üç boyutlu nesnelerde, ışığın doğrultusal yapısına göre değişik biçimde ve özellikte gölgeler oluşmaktadır. Bu gölgeler görsel algılamının iyi ya da kötü olmasında büyük rol oynamaktadır. Gölgeler, sert-yumuşak gölgeler ve saydam-kara gölgeler olarak nitelendirilir. Örneğin normal büyüklükte bir hacimde (*oda, salon vb.*) çıplak akkor lambalar, minispotlar vb. ile yapılan aydınlatmalarda sınırları keskin olan sert gölgeler oluşabilmektedir. Bulutlu sisli havalardaki gün ışığı aydınlığı yayınlık bir ışık oluşturmaktadır. Bu durumda gölgeler belirgin olmamaktadır (Sirel, 1992).



Şekil 19. Işığın doğrultusu (Ünver, 2022)

Işığın doğrultusal yapısı görsel algılamada konforu sağlayan önemli bir etken olup nesnelerin doğru algılanması için gereklidir. Nesnelerin ya da insanların doku, biçim ve derinliğinin (üç boyutsal özelliklerinin) algılanmasında aydınlatmanın etkisi ‘modelleme’ olarak tanımlanmaktadır. TS EN 12464-1’e göre belirli bir noktadaki silindirik aydınlığın yatay aydınlığa oranı modelleme indeksi olarak tanımlanmaktadır. Bu değer iç aydınlatmada 0,3-0,6 değerleri arasında belirlenmiştir. Modelleme özelliği, doğrultu ve yayınlık aydınlatma arasında dengeyi kurarak nesnelerin doğru algılanmasını sağlamaktadır. Şekil 20’de ışığın doğrultusal yapısındaki değişime göre aynı nesnenin algılanma etkisi gösterilmiştir.



Şekil 20. Işığın doğrultusal yapısındaki değişim ile nesnenin algılanma etkisi (Ünver, 2022)

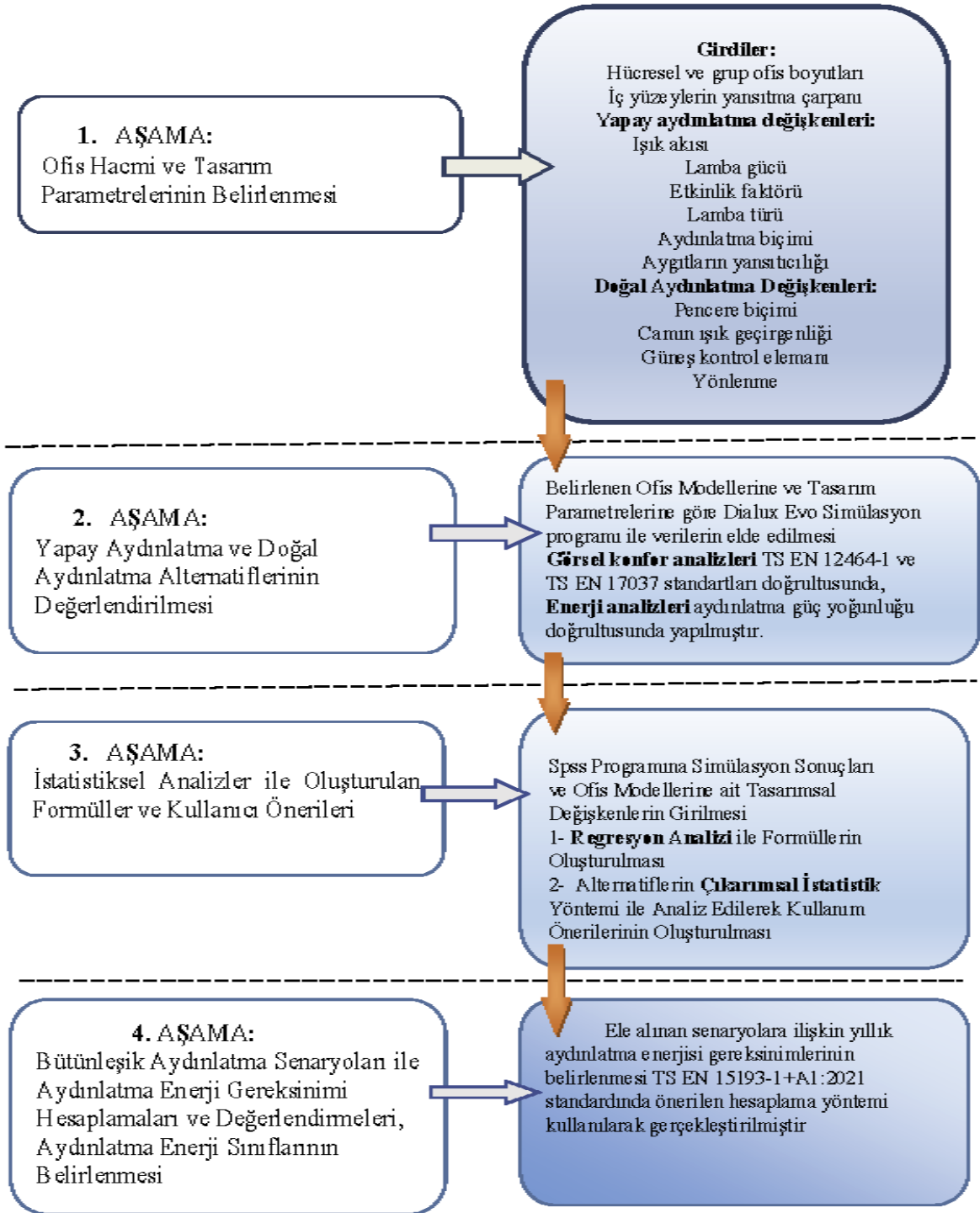


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde ofislerde görsel konfor ve enerji tüketimine ilişkin aydınlatma tasarım parametreleri ve etkilerinin belirlenmesi üzerine geliştirilen yaklaşım tanıtılmıştır. Ofis hacmi ve aydınlatma tasarım parametrelerinin seçimi, modellemeler, simülasyon analizleri, istatistiksel analizler ve enerji hesaplamaları ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı olarak ele alınmıştır.

2.1. Yaklaşımın Tanıtılması

Bu tez çalışmasında ofislerde aydınlatma tasarım parametrelerinin, görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerini değerlendiren ve optimum tasarım kararının elde edilmesini hedefleyen bir yaklaşım önerilmiş ve geliştirilen yaklaşım Trabzon İli koşulları için uygulanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen yaklaşım tanıtılmaktadır. Bu amaçla, geliştirilen yaklaşımı tanıtan bir iş akış şeması oluşturulmuştur. Bu iş akış şeması altı ana aşamadan oluşmaktadır: 1) Ofis Hacminin ve Tasarım Parametreleri Belirlenmesi, 2) Yapay Aydınlatma ve Doğal Aydınlatma Alternatiflerinin Değerlendirilmesi 3) İstatistiksel Analizler ile Oluşturulan Formüller ve Kullanıcı Önerileri, 4) Bütünleşik Aydınlatma Senaryoları ile Aydınlatma Enerji Gereksinimi Hesaplamaları (Şekil 21).



Şekil 21. Önerilen yaklaşımın akış şeması

2.1.1. Ofis Hacmi ve Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

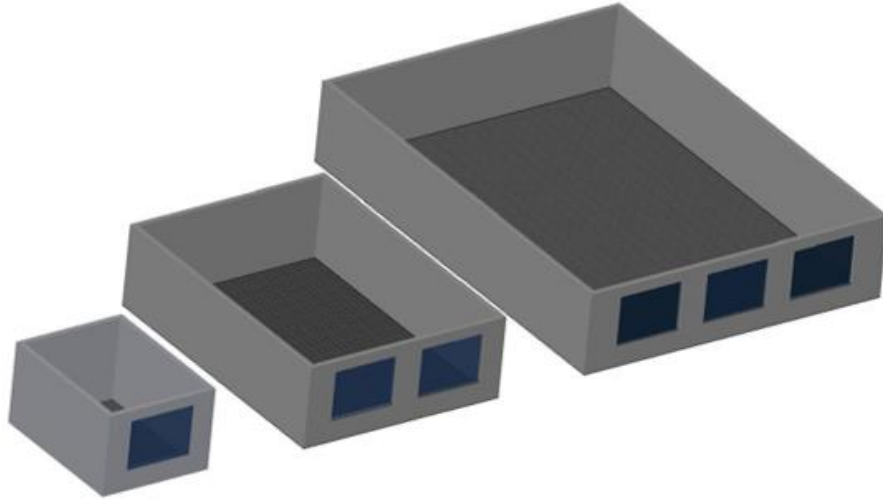
Bu bölümde çalışmada kullanılan ofis hacmi, yapay aydınlatma ve doğal aydınlatmaya ait tasarım parametreleri detaylı şekilde ele alınmıştır.

2.1.1.1. Ofis Hacmi

Çalışma kapsamında küçük, orta ve büyük ofis hacimlerinin temsil edilmesi amacı ile bu değerleri sağlayabilecek hacim boyutları belirlenmiştir. Hacimlerin boyutları, Bölüm 1.5.1.'de belirtilen büro tipleri ve mimari tasarımda kullanılan aks ölçüleri dikkate alınarak ve daha önce Bostancı (1996) tarafından yapılan 'Büro Hacimlerinin Aydınlatma Düzenleri açısından İncelenmesi' adlı yüksek lisans çalışması referans alınarak 1.25 lik modül boyutu kullanılarak oluşturulmuştur. (Tablo 17). Hacimler bu modülün katları doğrultusunda büyütülmüştür. (Şekil 22). Temiz tavan yüksekliği 3 metrede sabit tutulmuştur. H1 hacmi hücresel büro sınıfına, H2 ve H3 hacimleri ise grup ofis plan tipine örnek oluşturmuştur. Tanımlanan ofis hacimleri için yapay ve doğal ve aydınlatma düzenleri kurulup, incelenmiştir.

Tablo 17. Oluşturulan ofis hacimleri boyutları

Hacim	Genişlik	Derinlik	Yükseklik	Alan	Kişi Sayısı
H1	3.75m	5m	3m	18.75 m ²	2
H2	7.5m	10m	3m	72.5 m ²	8
H3	11.25m	15m	3m	168.75 m ²	18



Şekil 22. Oluşturulan ofis hacimleri

2.1.1.2. İç Yüzeylerin Yansıtma Çarpanları

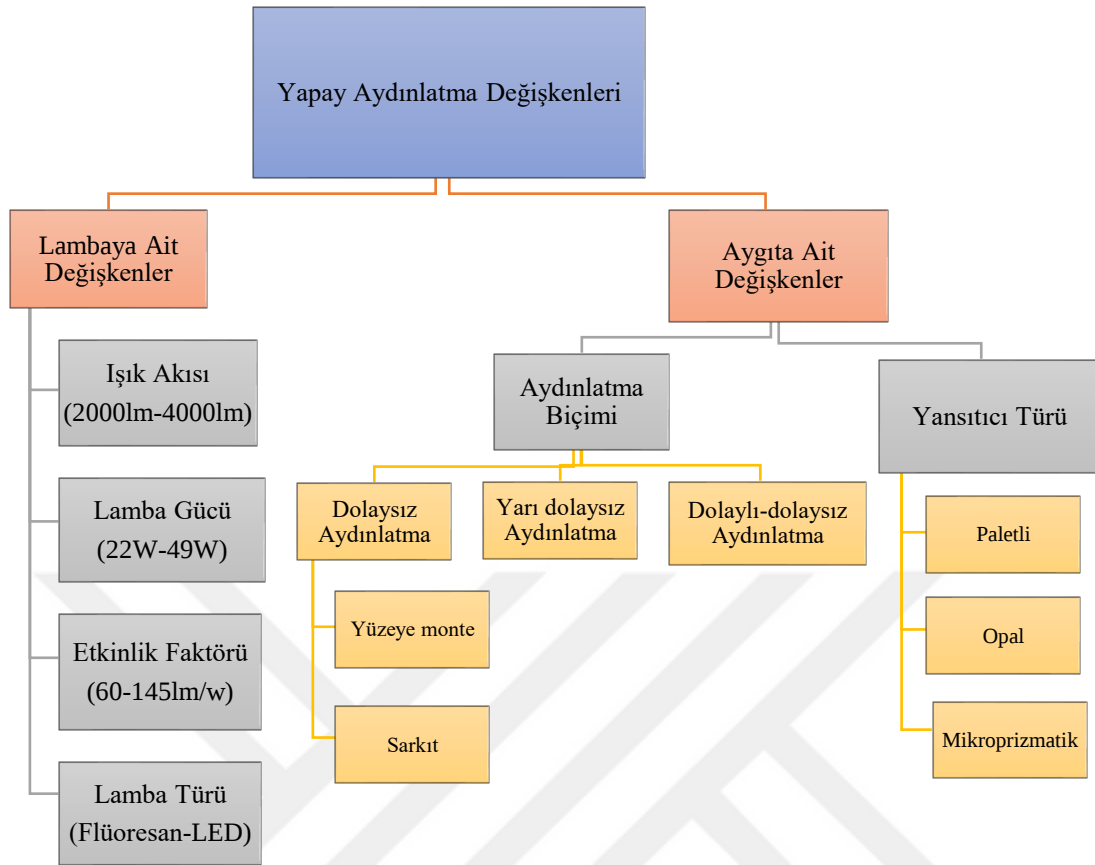
Bir aydınlatma düzeni kurulurken göz önüne alınan tasarım parametrelerinden biri de hacmin iç yüzey yansıtma çarpanlarıdır. Bu aşamada iç yüzey yansıtma çarpanlarının görsel konfor ve enerji performansına etkileri değerlendirilmektedir. Bölüm 1.6.4’de yer alan Tablo 13’de, görsel konforun ve gerekli aydınlatma seviyesinin sağlanabilmesi için çalışma mekânlarında önerilen iç yüzey yansıtma faktörleri verilmiştir. Buradan referans alınarak alt ve üst sınırlar çerçevesinde üç farklı alternatif değerlendirilmek üzere belirlenmiştir (Tablo 18). Donatıların ışık yansıtma çarpanının 0.45 ve ışık yansıtma biçimi bakımından mat özellikte olduğu, ayrıca izotrop yayımlık yansıma yaptığı varsayılmıştır.

Tablo 18. İç yüzey yansıtma çarpanı değişkenleri

	Yansıtma çarpanları		
	Döşeme	Duvar	Tavan
R1	0.10	0.30	0.60
R2	0.30	0.50	0.70
R3	0.50	0.70	0.90

2.1.1.3. Yapay Aydınlatma Değişkenleri

Aydınlatma konusunda bir mekâna ilişkin yapay aydınlatma koşulları belirlenirken aygıt türleri ve lamba türleri teknik açıdan ayrıntılı olarak incelenmeli, değerlendirilmeli ve uygun olanlar seçilmelidir. Burada ölçüt olarak, lambaya ait değişkenler; ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü (ışıksal verim), lamba türü olarak belirlenmiştir. Değişkenlerin sahip olduğu değerler, karşılaştırmaların güvenilir olması adına belirli sınır aralıklarında tutulmuştur. Işık akısı açısından 2000 lm ile 4000 lm değer aralıklarından ürünler seçilmiştir. Lamba gücü açısından 22 W ile 49 W değer aralıklarında ürünler seçilmiştir. Lamba türü açısından ofislerde yaygın olarak kullanılan çubuk flüoresan ve LED olmak üzere iki seçenek belirlenmiştir. Aygıtı ait değişkenler; aydınlatma biçimi (dolaysız yüzeye monte, yarı dolaysız, dolaylı-dolaysız, dolaysız sarkıt) ve aygıtların yansıtıcı türü (paletli, opal, mikroprizmatik) olarak alınmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Yapay aydınlatma değişkenleri

Ele alınan değişkenlerin ofis uygulamalarında sıklıkla kullanılan özellikte olmasına özen gösterilmiştir. Renksel geriverim ve renk sıcaklığı değerleri eşdeğer tutulmuş, 4000K renk sıcaklığında ve renksel geriverimi değeri 80 R_a ve üzerinde olan ürünler seçilmiştir.

Aygıt formu boyutları benzer olacak şekilde ofislerde yaygın olarak kullanılan lineer tip aygıt olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda oluşturulan değişkenler doğrultusunda simülasyon programı içeriğinden çeşitli güncel firma kataloglarına ulaşarak, yapay aydınlatma alternatifleri oluşturulmuştur. Söz konusu aygıtların özellikleri Tablo 19’da detaylı olarak sunulmuştur. Tabloda seçilen aygıtlara ait ışık yeğilink dağılımlarına, aygıtın görseline ve aygıtın firma model ismine de yer verilmiştir.

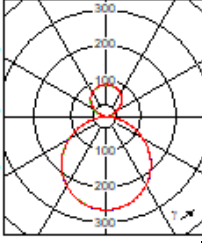
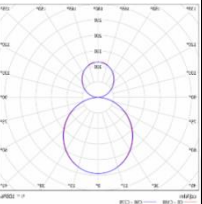
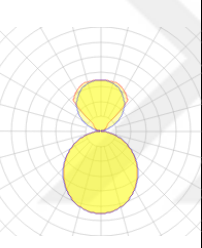
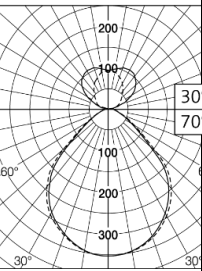
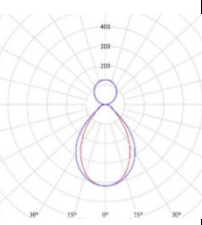
Tablo 19. Yapay aydınlatma aygıt özellikleri

	Işık yeğirlik dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktör	Lamba Türü
Dolaysız yüzeye monte aydınlatma- paletli yansıtıcı			Philips TCS260 1xTL5-35W HFP C6	2422	35	63,7	Flüoresan
			Philips TCS460 1xTL5-35W HFP C8	2527	35	66,4	Flüoresan
			Fagerhult Closs LED Direct Grey 1200 Beta Opti CLO 1xLED 22 W	2903	22	131,9	LED
Dolaysız yüzeye monte aydınlatma- opal yansıtıcı			Philips RC127V W30L120 1x LED 36S/840 OC	3600	36	100	LED
			Philips SM150C L1440 1x LED37S/840	3700	35	105,7	LED
			Regiolux LBAK T5 1x49W IP40 EVG multi vw	3429	49	70	Flüoresan

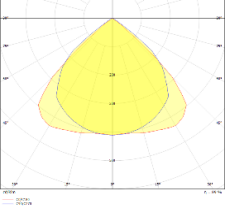
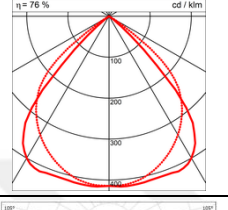
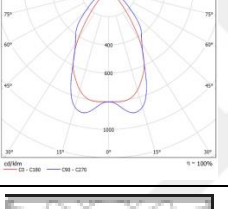
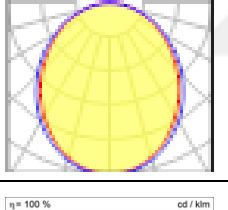
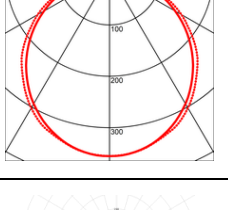
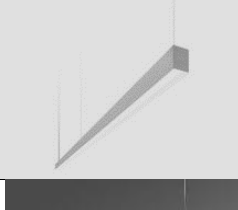
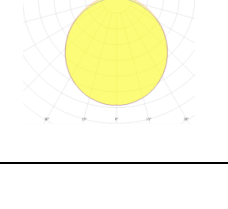
Tablo 19'un devamı

	Işık yeğnlik dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktörü	Lamba Türü
Dolaysız yüzeye monte aydınlatma- mikrop prizmatik			Zumtobel LF3 E 3600-940 M600L12 LDE KA WH [STD]	3600	28	129	LED
			8- Zumtobel Mlevo EA LED3600-840 M600L12 LDO KA WH [STD]	3540	30	115	LED
			RIDİ WL 221P	2688	45	60	Flüoresan
Yan dolaysız aydınlatma- paletli yansıtıcı			10- Philips TPS682 1x TL5-35W HFP C8	2330	35	61.3	Flüoresan
			11- Fagerhult Closs Terazza Direct/indirect 1x T16 35W	2556	35	67.5	Flüoresan
			12- Halla Zuli 121-501M- 20GEE/840	3770	28	137.6	LED

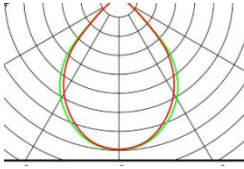
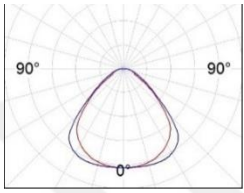
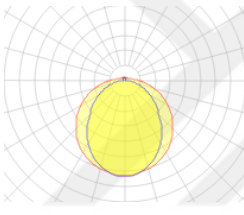
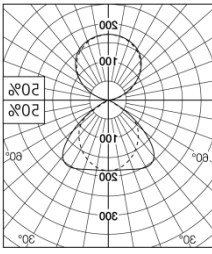
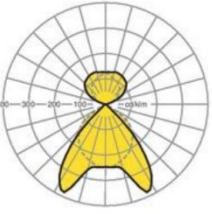
Tablo 19'un devamı

	Işık yoğunluk dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktörü	Lamba Türü
Yarı dolaysız aydınlatma- opal yansıtıcı			13-Philips SP342P PSD L1200 1x 36S/940 0	3600	29	124	LED
			14-Halla Lina 45- 501K- 20GGE/840, S	3500	36	97	LED
			15-Regiolux HLHIG T5 / Satin-finished diffuser 1x 49W EVG DALI multi sg	2599	49	53	Flüoresa n
Yarı dolaysız aydınlatma- mikroprizmatik y.			16 - Fagerhult Notor 78 Delta 70-30 white 3K 1x LED 30 W	3400	30	113.3	LED
			17- Halla Lina 45- 45-501I - 20GGE/840,S	3230	36	89.7	LED

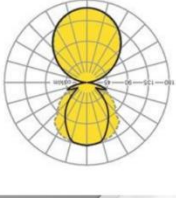
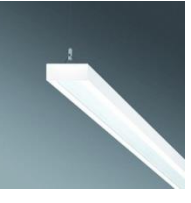
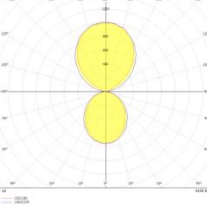
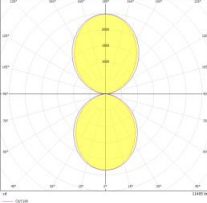
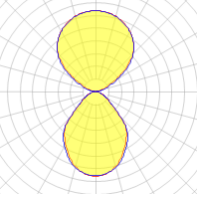
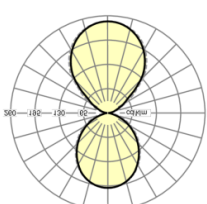
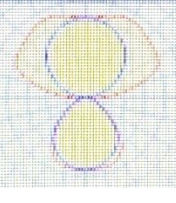
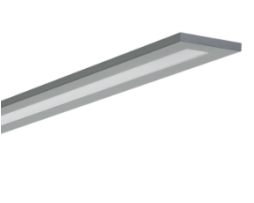
Tablo 19'un devamı

	Işık yegünlük dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktörü	Lamba Türü
Dolaysız sarkıt aydınlatma-paletli yansıtlı			18- Philips TPS680 1x TL5- 35W HFP C8	2456	38	6.46	LED
			19- Philips TCS 4601xTL5- 35W HFP C8	2527	38	66.4	Flüoresan
			20- Halla Zuli 121- 500M- 25GEE/840 , W	3580	26	138.2	LED
Dolaysız sarkıt aydınlatma-opal yansıtlı			21- Philips SP140P L1135 1x LED38S/840	3800	40	95	LED
			22-Philips SP531P L1410 1x LED31S/840 NO	3100	31	96.8	LED
			23- Regiolux HLHG T5- 1x 49W EVG DALI multi sg	2454	49	50	Flüoresan

Tablo 19'un devamı

	Işık yegînlîk dağlılmı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktörü	Lamba Türü
Dolaysız Sarkıt Aydınlatma- Mikropizmatik yansıtıcı			24- Philips SP340P PSD L1200 1 x36S/940 MLO	3584	35	102.4	LED
			25- LAMP PLAT G3 1200x300 3400 NW PRIS IP40 WH	3393	31	109	LED
			26- RIDİ WL 221P	2688	45	60	Flüoresan
Dolaylı -dolaysız Aydınlatma- Paletli yansıtıcı			27-Fagerhult DTI LED type 2 Beta Optic 4K DALI CLO 1x LED 21W	3020	21	143.8	LED
			28- Regiolux RSADIC T5- 1x 35W EVG DALI multi vw	3236	35	92.5	Flüoresan

Tablo 19'un devamı

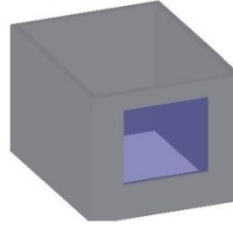
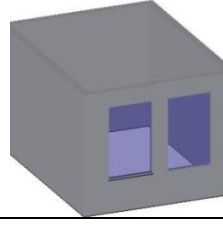
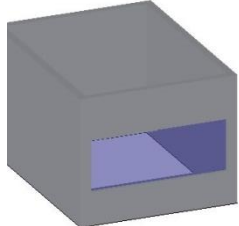
	Işık yegînlîk dağılımı	Aygıt resmi	Aygıt modeli İsim	Işık aksısı	Lamba Gücü	Etkinlik faktörü	Lamba Türü
Dolaylı -dolaysız Aydınlatma-Opal yansıtıcı			Regiolux CUHIG T5 1x 35W EVG DALI multi sg	2212	35	63.2	Flüoresan
			Ligman Nybro 9 Pendant Luminaries NYB-90111- P-W40	2884	29	99	LED
			Bright NOTUS 17 UP DOWN LINEAR LED 881mm 830	3880	34	114	LED
Dolaylı-dolaysız Aydınlatma-Mikroprizmatik yansıtıcı			Fagerhult Notor 65 Delta Dir-ind 1200 start LL white 4K 1x LED 30W	3500	30	116.6	LED
			Regiolux SHPI/1200-2 LED 4100 29W 840 DALI sg	4000	28.5	143.4	LED
			RIDİ F-LINE 135/49/80 MPS	2667	39	68.4	Flüoresan

2.1.1.4. Doğal Aydınlatma Değişkenleri

Çalışma kapsamında doğal aydınlatma değişkenleri; pencere biçimi ve yerleşim düzeni, camın ışık geçirgenliği, yönlenme ve güneş kontrol elemanı parametreleri olarak ele alınmış ve geliştirilen alternatifler aşağıdaki başlıklarda detaylı olarak sunulmuştur.

Pencere Biçim ve Yerleşim Düzeni: Doğal aydınlatma tasarımına etki eden yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleri arasında yer alan pencere boyut, biçim ve yerleştiriliş düzeni iç mekânda gerekli gün ışığı miktarının sağlanması, gün ışığının hacim içindeki dağılımı (düzgünlük) ve dış görüş konularını üzerinde etken olan önemli bir parametredir. Çalışma kapsamında, literatürde yer alan farklı pencere biçim ve duvardaki konumlandırılmalar incelenerek üç farklı tip belirlenmiştir (Phillips, 2000). Parapet yüksekliği, ofislerdeki psikolojik konfor koşulları düşünülerek dış görüşe olanak verecek şekilde 85 cm olarak belirlenmiştir. Saydamlık oranı sabit tutulmuş ve %40 oranı oluşturulmuştur. Bu bağlamda pencere boyutları, hacim boyutu ve saydamlık oranları göz önüne alınarak Tablo 20'deki veriler çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Tablo 20. Geliştirilen pencere alternatiflerine ait boyutlar ve yerleştirme

	Boyut	
P1	240w x180h (tek parça)	
P2	120w x 180h (iki parça)	
P3	360w x 120h (tek parça)	

Camın Işık Geçirgenliği: Işık geçirme çarpanı yüzde ile ölçülen bir değerdir. Cama gelen ışığın gözle görünen dalga boyu kısmının (yaklaşık 380 - 720 nanometers arasındaki kısım) camdan geçen yüzdesidir, yani camdan ne kadar çok ışık geçtiğini göstermektedir. Günümüzde farklı teknolojilerde üretilen çok çeşitli cam türleri bulunmaktadır. Bölüm 1.6.1.1.3.'de Pencereye ilişkin değişkenler başlığı altında, Tablo 2' de bazı cam türlerine ilişkin ısı geçirgenliği ve ışık geçirgenliğine (VT) ilişkin değerler verilmektedir. Bu bağlamda çalışmada alt ve üst sınır değerleri göz önüne alınarak üç farklı alternatif, simülasyon programının sunduğu seçenekler arasından belirlenmiştir (Tablo 21).

Tablo 21. Oluşturulan ışık geçirme çarpanları

	Işık Geçirgenliği (VT)
G1: 2 kat ısı koruyucu cam	%65
G2: tek kat ısı koruyucu cam	%78
G3: kaplamasız düz cam	%90

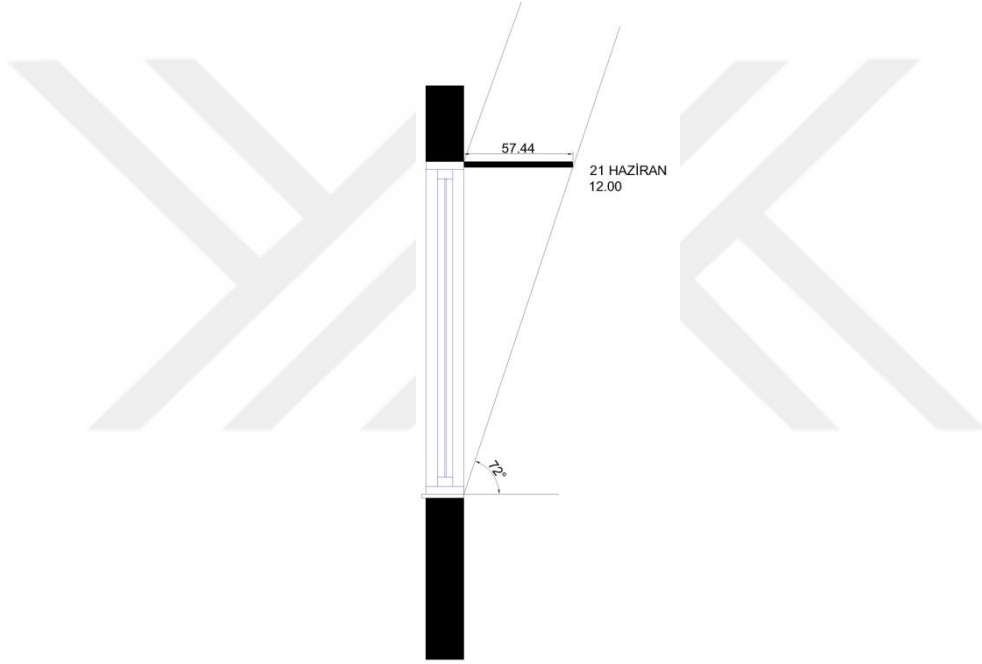
Yönlenme: Bir bina cephesinin yönelimi ve bağıntılı olarak açıklıkların yönelimi günışığının mekân içerisindeki dağılımında önemli bir etkiye sahiptir. Her bir farklı yönün sahip olduğu ortam şartları ve güneş etkisi de farklılık göstermektedir, bu nedenle herhangi bir açıklığın yönelimi, iç mekândaki günışığı performansını etkilemektedir. Bu bağlamda bu çalışma için oluşturulacak hacimlerin Trabzon İlinde yer alacağı düşünülerek pencere açıklıkları için kuzey ve güney cephesi olarak iki farklı alternatif düşünülmüştür (Tablo 22).

Tablo 22. Oluşturulan yönlenme alternatifleri

	Yönlenme	Konum	Engel Durumu
Y1	Güney	Trabzon	Engelsiz
Y2	Kuzey	Trabzon	Engelsiz

Güneş Kontrol Elemanı: Günışığının iç mekâna alındığı durumlarda, görsel ve ısısal konforu sağlamak için güneş ışınlarının kontrol edilmesi temel gereklilik olmaktadır. Genel olarak güneş ışığının mekân içerisindeki dağılımına yönelik en iyi kontrol gölgeleme elemanlarının kullanımı olarak tanımlanmaktadır. İyi tasarlanmış bir gölgeleme elemanı pencereden giren direkt güneş ışınlarını engelleyerek, iç mekânda görsel konforu olumsuz etkileyen parıltıyı önleyebilmektedir. Bu bağlamda güney cephesi için güneş kontrol

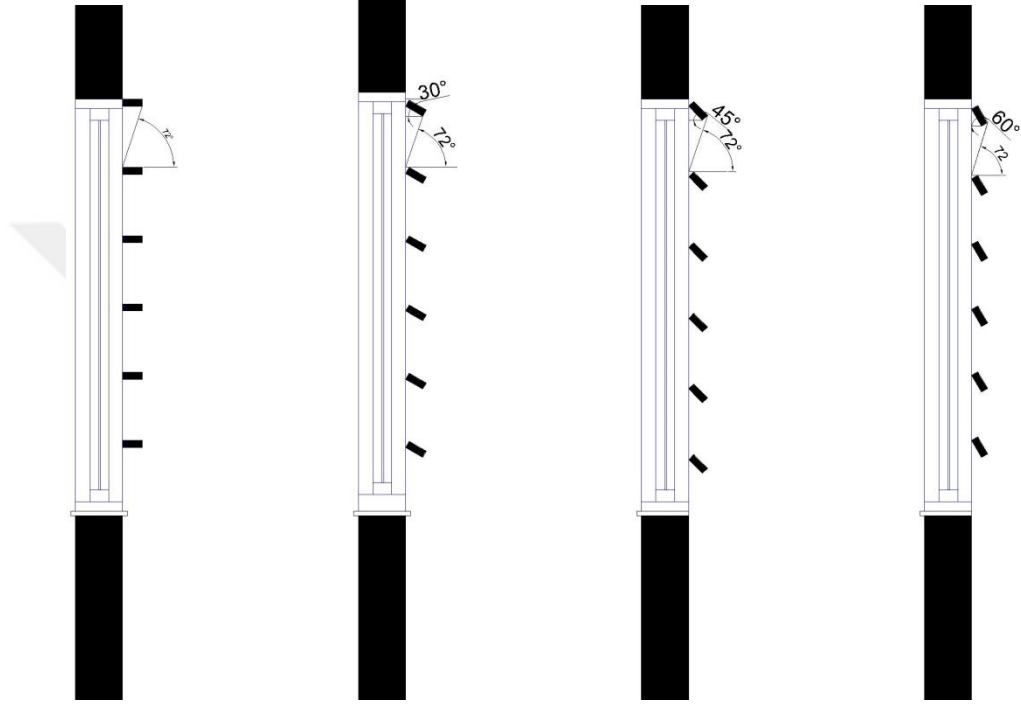
elemanları tasarlanmıştır. Bu tasarımlarda, güneş ışınlarının ofis hacimlerinin bulunduğu Trabzon'a en dik geldiği gün ve saatten yararlanılmıştır. Bunun için, 21 Haziran saat 12.00'de Trabzon'da güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısına ait veriler Kandilli Rasathanesi Güneş Fiziği bölümünden alınmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda Trabzon İli için gölgeleme istenen tarihlerde profil açısı 72°C olarak belirlenmiştir. Bu profil açısına göre yapılan çizimler sonucunda yatay gölgeleme elemanın boyutuna 57.5 cm olarak karar verilmiştir. Şekil 24'de kesiti verilen yatay gölgeleme elemanı beton olup %50 yansıtıcılık değerine sahiptir.



Şekil 24. Tasarlanan yatay gölgeleme elemanı

Yatay saçak gölgeleme elemanına alternatif olarak cephede parçalı şekilde konumlanan yatayla yaptığı açı 0°C, 30°C, 45°C ve 60°C olacak şekilde 4 adet senaryo oluşturulmuştur. Bu gölgeleme elemanları geliştirilirken sağlanması gereken 72°C profil açısı her bir eğim için aranmıştır. Bu anlamda 72°C profil açısının sağlanabilmesi için yatay elemanlar düşeyde uygun aralıklara göre yerleştirilmiştir. Oluşturulan yatay elemanların boyutları 3cm x 8cm x 120 cm olarak belirlenmiş, yatayda 26 cm aralıklarla konumlandırılmışlardır. Alüminyum malzeme olarak seçilen yatay elemanlar %52 ışık yansıtıcılık değerine sahiptir (Şekil 25). Bunların dışında iç mekânlarda yaygın olarak kullanılan iç gölge elemanları da dış gölgeleme elemanlarına alternatif olarak eklenmiştir.

Burada özellikle ofislerde yaygın olarak kullanılan jaluzi ve stor uygulamaları tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan simülasyon programının içeriğinde yer alan güncel iki firma kataloğundan jaluzi ve stor perde seçimleri yapılmıştır (URL-14,15). Sonuç olarak belirtilen dış yatay gölgeleme elemanları ve iç gölgeleme elemanları ile toplam yedi farklı gölgeleme elemanı senaryosu oluşturulmuştur.



Şekil 25. Yatay parçalı gölgeleme elemanları için belirlenen eğim açıları ve oluşturulan pencere kesitleri

2.2. Yapay Aydınlatma ve Doğal Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi

Ofis hacmi ve tasarım parametrelerine ait detayların belirlenmesi aşamasından sonra ofis modellerinin oluşturulması ve tasarım parametrelerine ait geliştirilen alternatiflerin değerlendirilmesi kapsamında DIALux evo simülasyon programı kullanılmıştır. Bu bölümde ilk olarak DIALux evo simülasyon programı ve burada oluşturulan ofis modelleri tanıtılmaktadır. Geliştirilen yaklaşımda aydınlatma sistemi tasarımlarının görsel konfor açısından değerlendirilmesi için uluslararası standartlarda tanımlanmış kriterler dikkate alınmıştır. Görsel konfor ve enerji performansına ilişkin yapılan değerlendirme, yapay ve doğal aydınlatma sistemleri için ayrı başlıklarda gerçekleştirilmektedir.

2.2.1. DIALux evo Simülasyon Programı

Tasarlanan aydınlatma sistemlerinin etkinliğinin belirlenmesi amacı ile günümüzde çeşitli aydınlatma simülasyon programları kullanılmaktadır. Mimari aydınlatma tasarımı konusunda simülasyon programlarının kullanımı sayesinde projenin ilk aşamasından itibaren doğal ve yapma aydınlatma tasarımlarına ilişkin doğru kararların alınması sağlanmaktadır (Çelebi, 2007). DIALux evo, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIE 171:2006 : “Aydınlatma Programlarının Doğruluğunu Belirlemeye Yönelik Testler” adlı yayın uyarınca akredite edilmiş simülasyon araçlarından biridir. DIALux evo iç ve dış mekân aydınlatma tasarımlarında kullanılabilen, aydınlatma aygıtları ve lamba özellikleri, sayısı ve mekânın yüzey yansıtma çarpanlarına göre aydınlık düzeylerini hesaplayabilen, bu hesapları rapor halinde sunan, ücretsiz bir yazılımdır. Üretici konumdaki yüzlerce aydınlatma firması DIALux armatür kataloglarını internet sitesinden kullanıcılarla paylaşmaktadır. Diğer aydınlatma hesap programından farklı olarak üç boyutlu perspektifler sunabilmekte, raytrace eklentisi ile render imkânı vermektedir (Yılmaz, 2021). Program içinde bina planlaması seçeneği ile yeni, boş bir proje yaratılabilir ya da DWG/DXF içe aktar seçeneğine tıklayarak Autocad proje çizimleri DIALux’e aktarabilmektedir. Bir aydınlatma aygıtını projeye eklemek için herhangi LDT, veya IES formatlı fotometrik bir dosya program içine sürükleyip, bırakılmaktadır. Bunun dışında program içinde üretici firmaların çevrimiçi katalogları görülmektedir, buradan seçilen bir armatür programa yüklenebilmektedir. Böylece dosya program içerisine aktarıldığında, aktif lambanın fotometrik çizimi, model numarası, ışık akısı ve bağlantı gücü gibi bilgiler ekranda görünmektedir. Daha sonra, projenin oluşturulma esnasında belirtilen bölge ve uygulama tipine göre hedef belirlenen aydınlık düzeylerini sağlayacak şekilde ve istenilen düzende bir aydınlatma planı oluşturulabilmektedir.

Bu programda günışığına dayalı aydınlatma tasarımı gerçekleştirilirken, mekânların yer aldığı coğrafi konum, enlem ve boylam, ülkelerin kullanmış oldukları zaman dilimleri ve yapının yöneliş bilgileri programa veri olarak girilebilmektedir. Pencerelelerin detaylandırılmasında saydam bileşenlerin optik özellikleri, kirlilik katsayıları, çerçeve malzemesi ve çerçeve katsayıları hesaplamalara dahil edilebilmektedir. Programda CIE açık, kapalı ve ortalama gök modeli olmak üzere üç gök modeli seçeneği bulunmaktadır.

Programda oluşturulan düzenlemeler için aydınlık düzeyi hesabı noktasal ölçümler ile gerçekleştirilmektedir. Hesaplama çıktıları olarak Emin, Emax, Eort, Emin/Eort ve Emin/Emax

değerleri verilmektedir. Burada Emin/Eort hesabı ile Bölüm 3’de verilen tanımlama doğrultusunda Aydınlığın dağılımı ölçülmektedir. Oluşturulan aydınlatma sistemlerine ilişkin kamaşma değerleri UGR yöntemi ile hesaplanmaktadır. Modellerde hem bölgesel hem noktasal analizler gerçekleştirilebilmektedir.

2.2.2. Ofislerin Modellenmesi

Geliştirilen çalışma doğrultusunda aydınlatma tasarımında hacim etkisini değerlendirmek üzere üç farklı boyutta ofis hacmi belirlenmiştir. Bu doğrultuda 18,75 m² için 2 kişilik, 72,5 m² için 8 kişilik, 168,5m² için 18 kişilik ofis hacimleri oluşturulmuştur. 2 kişilik hacim hücresel ofis sınıfına, 8 ve 18 kişilik hacimler ise grup ofis sınıfına girmektedir. Boyutları belirlenen ofis hacimlerinin Autocad programında plan çizimleri yapılmıştır. Büro tipleri ve kullanıcı sayıları doğrultusunda ofis donatıları yerleştirilmiştir. Autocad programında oluşturulan plan çizimleri analizler yapılmak üzere DIALux evo aydınlatma simülasyon programına aktarılmıştır. Bu çizimler üzerinden DIALux evo kütüphanesinden seçilen ofis donatıları ile ofis mekânlarının ihtiyaçları doğrultusunda modellemeler yapılmıştır (Şekil 26, 27, 28). Ofis donatılarının seçiminde aydınlatma tasarımı kapsamında malzeme yansıtıcılık değerlerinin standartlarda belirlenmiş %20-45 oranında olmasına dikkat edilmiştir (IESNA, 2000). Kullanılan renklerde ofisler için tavsiye edilen, kroma oranı düşük, pastel tonlar tercih edilmiştir (Birren,1988).

Yapay aydınlatma düzeni, Şekil 29’da verilen örnek plan üzerinde görüldüğü gibi masaların kesişim aksında ve koridor akslarında, pencere aksına ve çoğunlukla bakış doğrultusuna paralel olarak tasarlanmıştır. Sarkıt aygıtların yerden yüksekliği 2.60 cm olarak belirlenmiştir. Yapay aydınlatma düzeni, mekânda gerçekleştirilen eylemler doğrultusunda simülasyon programının sunduğu ofis alanları için otomatik düzenlemeler seçeneği doğrultusunda gerekli aydınlık düzeyi dikkate alınarak tasarlanmış ve her hacim için aydınlatma aygıtı sayısı bütün senaryolar için sabit tutulmuştur. Hesaplamalar için çalışma düzlemi yüksekliği dikkate alınmış ve 0,80 m olarak belirlenmiştir. Uygulanan simülasyon kapsamında kamaşma analizleri için UGR yöntemi kullanılmaktadır. Bu noktada, ele alınan hacimler için izleyici bakış doğrultusu ve buna bağlı olarak ilgili noktaların ya da bölgenin tanımlanması gerekmektedir. Kamaşma hesaplamaları için çalışma alanlarını kaplayacak bölgesel analizler yapılmış, göz seviyesi 1.20 m olarak tanımlanmış ve açı alanı 180° olarak belirlenmiştir.



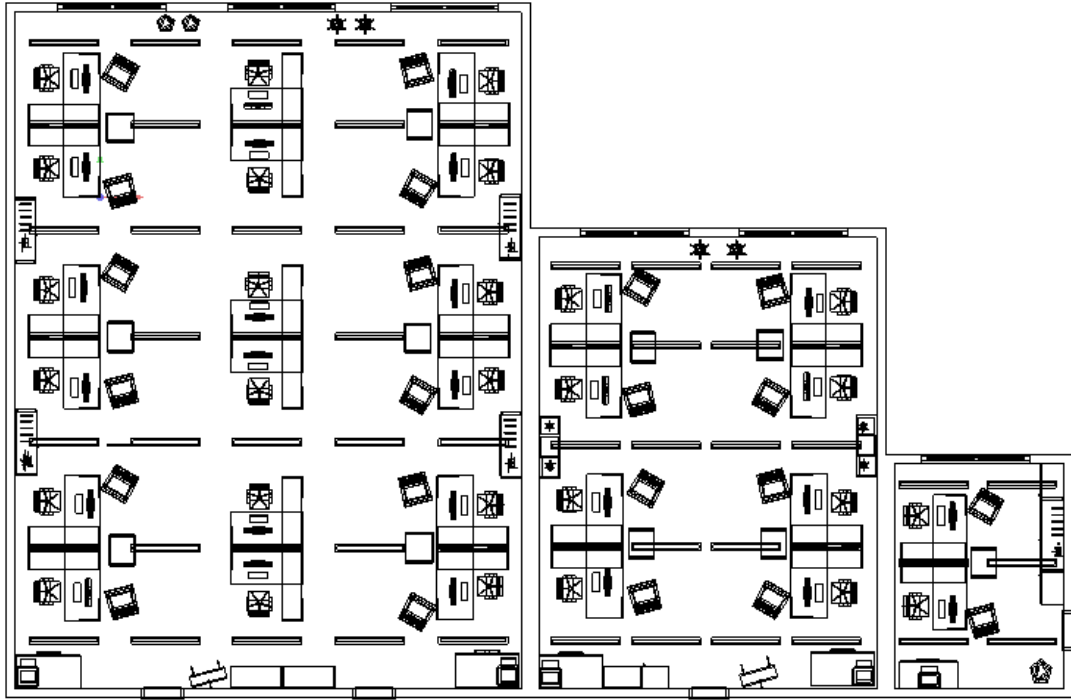
Şekil 26. Hacim 1 (2 kişilik ofis) görseli



Şekil 27. Hacim 2 (8 kişilik ofis) görseli



Şekil 28. Hacim 3 (18 kişilik ofis) görseli



Şekil 29. Aygıt yerleşim planı

2.2.3. Ofis Hacimleri İçin Yapay Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi

Görsel Konfor Açısından: Yapay aydınlatma sistemine ait farklı tasarım parametrelerinin görsel konfor üzerine etkilerini belirlemek üzere Dialux Evo simülasyon programı ile yapılan hesaplamalar doğrultusunda veri analizi gerçekleştirilmiştir. Yapay aydınlatma sistemi ile oluşturulan tasarım alternatiflerine ait görsel konfor koşulları;

- Yapay aydınlatma sistemi ile sağlanan aydınlık düzeyinin uygunluğu,
- Yapay aydınlatma sistemi ile sağlanan düzgünlüğün uygunluğu,
- Yapay aydınlatma sisteminin kamaşma açısından uygunluğu, kriterleri açısından değerlendirilmektedir.

Bu doğrultuda yapay aydınlatma simülasyonları ile ilk olarak çalışma düzlemi/hedef düzlemlerde oluşan aydınlık dağılımı belirlenmekte ve mekân içerisindeki ortalama aydınlık düzeyleri hesaplanarak elde edilmektedir. Diğer bir kriter uyarınca, mekânda çalışma düzlemi üzerinde minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı olan düzgünlük değeri belirlenmektedir. Yapay aydınlatma sistemine ilişkin kamaşmanın değerlendirilmesi için UGR hesap yöntemi kullanılmaktadır. Belirtilen bakış doğrultusu ve tanımlanan bölgeler için kamaşma analizleri gerçekleştirilmektedir. Belirlenen tasarım parametreleri ile oluşturulan senaryolar sonucu mekânlarda elde edilen ortalama aydınlık düzeylerinin ve düzgünlük değerlerinin TS EN 12464 standardındaki hacim türüne ve işlevine bağlı olarak belirtilen minimum değerleri sağlaması beklenmektedir. Kamaşma değerlendirmeleri, TS EN 12464 standardındaki hacim türüne ve işlevine bağlı olarak belirlenen maksimum UGR değerleri dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir (Tablo 23).

Tablo 23. TS EN 12464-1 uyarınca sağlanması önerilen aydınlatma koşulları

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

Burada ortalama aydınlık düzeyi belirlenirken, enerjinin etkin kullanımı ve görsel konfor açısından sağlanması gereken değerlerin üst sınırının da bulunması gerekmektedir. Aydınlık düzeyleri arasında yaklaşık 1,5 katlık bir fark olduğunda bu değişim görsel olarak algılanabilmektedir. TS EN 12464-1: 2021 standardında algısal fark yaratabilmek için önerilen aydınlık düzeyi adımları; 5-7,5 -10-15-20-30-50-75-100-150-200- 300-500-750-

1000-1500-2000-3000-5000-7500-10000, şeklinde yer almaktadır. TS EN 12464-1 standardında bürolarda çalışma alanında sağlanması gereken aydınlık düzeyi 500 lx olarak belirlenmiştir. Yukarıda belirtilen skalada bir üst düzeyin 750 lx olması nedeni ile ortalama aydınlık düzeyi sınırları 500-750 lx olarak belirlenmiştir.

Enerji Performansı Açısından: Ele alınan senaryolara ilişkin enerji performans değerlendirmelerinin m^2 başına harcanan enerji miktarını gösteren (w/m^2) aydınlatma güç yoğunluğu değerlerinin analizleri ile gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Fakat yapay aydınlatma düzenlerinin sistem güçleri aynı olsa da sağladıkları aydınlık düzeyleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle aydınlık düzeninin belli büyüklükteki bir alan üzerinde oluşturduğu aydınlık düzeyi için harcanan elektrik enerjisini veren $W/lm/m^2$ değeri hesaplamalara alınmıştır. Böylece, 1 lm/m^2 aydınlık düzeyini sağlamak için harcanan güç değeri sistem gücünün ne kadar verimli kullanıldığını ortaya koyacaktır (Çelik vd, 2015).

2.2.4. Ofis Hacimleri İçin Doğal Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada ele alınan ofis hacimlerinin doğal aydınlatma sistemi senaryolarının görsel konfor performanslarının ‘TS EN 17037 Binalarda Güneşliği’ standardı doğrultusunda değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada tasarlanan ofis hacimlerinin standartta verilen kriterlerden yeterli güneşliği aydınlığının sağlanması kriterine göre değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Yeterli güneşliğin sağlanması hedefiyle standartta güneşliği faktörü ve detaylı güneşliği modellemesi tabanlı iki farklı değerlendirme yönteminin kullanımı önerilerek sağlanması gereken güneşliği kriterlerine yer verilmiştir. Bir mekâna ait yıllık doğal aydınlatma performans değerinin elde edilmesinde mekânda tüm yıl boyunca gerçekleşen güneşliği aydınlığının belirlenmesi önemli bir faktör olarak belirtilmektedir. Bu amaçla, çalışmada yıl içerisindeki aydınlık düzeyi dağılımlarının sonuçlarını değerlendirmek üzere, *detaylı güneşliği modellemesi* yöntemi tercih edilmiştir.

Standard yıllık meteorolojik veriler yardımı ile güneş ve gök koşullarına ilişkin bilgilerin elde edilmesi ile iç mekânda oluşan güneşliği aydınlığının yıllık ve saatlik olarak hesaplaması yapılmıştır. Trabzon İli için “Tipik Meteorolojik Yıl” olarak derlenmiş veriler Meteororm programından elde edilmiştir. Bu verilerden elde edilen saatlik yaygın güneş ışıınımı ve saatlik toplam güneş ışıınımı değerleri ile CIE standart Gök sınıflandırmasını yapabilmek üzere Gök Oranı yöntemi kullanılmıştır. Bu oran sonucu elde edilen verilerin

değer aralıklarına göre ilgili gök sınıflandırması açık, kapalı ve ortalama gök olacak şekilde gerçekleştirilebilmekte ve Eşitlik 7 uyarınca hesaplanmaktadır. Buna göre Gök oranı ≤ 0.3 ise açık, $0.3 < \text{Gök Oranı} < 0.8$ ise ortalama, $0.8 \leq \text{Gök Oranı}$ ise kapalı gök olarak sınıflandırma gerçekleştirilmektedir (IESNA, 2000).

$$\text{Gök Oranı} = G_y / G_t \quad (7)$$

G_y = saatlik yaygın güneş ışıınımı

G_t = saatlik toplam güneş ışıınımı

2008 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada doğal aydınlatma hesapları için gerçekleştirilen istatistiksel analizlerde her ayı karakterize eden günün her ayın 15. günü olduğu sonucuna varılmıştır (Güvenkaya, 2008). Çalışmada da ilgili meteorolojik verilerin 15. günlerindeki değerler esas alınmıştır. Trabzon İli için saatlik gök koşullarının Eylül, Aralık, Mart ve Haziran aylarının 15. günü için açık gök, ortalama gök ve kapalı gök olarak belirlenebilmesi için gök sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Tablo 24’de yer verilen ilgili hesap tarihlerinde elde edilen gök modeli sonuçları Dialux Evo simülasyon programında veri olarak kullanılmıştır.

Tablo 24. Ele alınan hesap tarihleri için belirlenen gök modeli sonuçları

	Trabzon ili için ilgili hesap tarihlerindeki gök model sonuçları			
Saat	15 Eylül	15 Aralık	15 Mart	15 Haziran
08:00	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Orta
12:00	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Orta
16:00	Kapalı	Kapalı	Kapalı	Açık

Yıllık günışığı saatlerinin baz alındığı bu çalışmada oluşturulan ofis mekanlarında hafta içi günler ve günlük 9 saat çalışma süresi ele alındığında toplam 2358 saat kullanım süresi belirlenmiş, bu zaman aralığını temsilen 15 Aralık, 15 Mart ve 15 Haziran tarihlerinde saat 08:00, 12:00 ve 16:00 için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan tarih ve saatlerin yıllık olarak temsil ettiği toplam saat bilgilerine Tablo 25’de yer verilmiştir.

Ele alınan senaryolara ilişkin günışığı hesaplamaları, 80 cm yüksekliğe sahip çalışma düzlemi üzerinde bulunan Hacim 1 için 64 (8x8), Hacim 2 için 256 (16x16) ve Hacim 3 için

576 (24x24) noktada gerçekleştirilmiştir. 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 hedefi ile kullanılmıştır.

Tablo 25. Hesaplamalarda kullanılan temsili tarih ve saat bilgileri

HESAP TARİHİ	TEMSİLİ AY	TEMSİLİ İŞ GÜNÜ SAYISI	TEMSİL EDİLEN TOPLAM SAAT
15 ARALIK 08:00	KASIM, ARALIK, OCAK, ŞUBAT	(22+22+22+20) 86	258
15 ARALIK 12:00	KASIM, ARALIK, OCAK, ŞUBAT	(22+22+22+20) 86	258
15 ARALIK 16:00	KASIM, ARALIK, OCAK, ŞUBAT	(22+22+22+20) 86	258
15 MART 08:00	MART, NİSAN, EYLÜL, EKİM	(22+22+22+22) 88	264
15 MART 12:00	MART, NİSAN, EYLÜL, EKİM	(22+22+22+22) 88	264
15 MART 16:00	MART, NİSAN, EYLÜL, EKİM	(22+22+22+22) 88	264
15 HAZİRAN 08:00	MAYIS, HAZİRAN, TEMMUZ, AĞUSTOS	(22+22+22+22) 88	264
15 HAZİRAN 12:00	MAYIS, HAZİRAN, TEMMUZ, AĞUSTOS	(22+22+22+22) 88	264
15 HAZİRAN 16:00	MAYIS, HAZİRAN, TEMMUZ, AĞUSTOS	(22+22+22+22) 88	264
TOPLAM ÇALIŞMA SAATİ			2358

2.3. İstatistiksel Analizler ile Oluşturulan Formüller ve Çıkarımsal İstatistik Yöntemleri

Önerilen yaklaşımın bu aşaması;

- SPSS programına veri girişi,
- SPSS programında, değişkenler arasındaki ilişkiye bağlı olarak tahmin eşitliği geliştirmek için regresyon analizi gerçekleştirilmesi,
- SPSS programında tasarım parametrelerinin kategorik olarak gruplanarak ANOVA ve T- test analizleri ile incelenmesi, optimum değerleri sunan alternatiflerin belirlenmesi, kısımlardan oluşmaktadır.

2.3.1. SPSS Programı

Günümüz çalışma alanlarında bilgisayar programlarının araştırma sonuçlarının istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmesi aşamasında önemli rolleri bulunmaktadır. Bunlardan dünyadaki ilk istatistik yazılım olma özelliği taşıyan ‘SPSS’ 1968 yılından bu yana verilerdeki birçok bilgiyi keşfetme ve stratejik karar desteği sağlama yönü ile ileri analitik çözümler sunmaktadır (Bayram, 2004). SPSS, İngilizce açılımı Statitical Package

for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı) olan, özel sektörde, kamu sektöründe ve akademik birçok alanda yaygın olarak tercih edilen bir bilgisayar programıdır. Akademik düzeyde Sosyal bilimler başta olmak üzere Sağlık Bilimleri, Eğitim Bilimleri ve Fen Bilimleri alanlarında yapılan çalışmalarda elde edilen verilerin analiz edilmesi sürecinde sıklıkla kullanılmaktadır.

SPSS istatistiksel analizler içinde şu kısımlar bulunmaktadır:

- Tanımlayıcı (Betimsel) İstatistik: "Cross Tabulation (karşılıklı tabülasyon)"; "Frequencies frekanslar"; "Descriptives (tanımlayıcılar)"; "Explore (araştırma)"; "Descriptive Ratio İstatistics (tanımlayıcıya oran istatistikleri)
- İki değişkenli istatistik (Hipotez Testleri, Çıkarımsal İstatistik): "Means (ortalamalar)", "t-testi", varyant Analizi, korelasyon (iki değişkenli, kısmî, uzaklıklar); parametrik olmayan sınamalar
- Sayısal sonuçların tahmin edilmesi: Doğrusal regresyon
- Grupları tespit etmek için tahminler: Faktör analizi, kümeleşme analizi (iki-basamaklı, K-ortalamlar, hiyerarşik), Diskriminant analizi (Kalaycı, 2005).

Yapılan bir istatistiksel araştırmada uygun analiz türünün belirlenmesinde ilk kriter verilerin türüdür. Analiz yöntemleri verilerin özelliklerine göre iki temel gruba ayrılmaktadır. Bunlar parametrik ve parametrik olmayan testlerdir. Parametrik veriler normal dağılım ve homojen varyans gösteren, değişkenlerin rastgele ve bağımsızlık durumu gösterdiği veri tipleri olarak belirlenmektedir (Şen, 2021). Geliştirilen bu çalışmada elde edilen verilere göre uygun analiz türleri; doğrusal regresyon, T test ve ANOVA olarak belirlenmiştir (Tablo 26). Böylece, simülasyon programında yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Tablo 26. İstatistiksel analiz türleri

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Analiz
Sürekli	İkili kategorili	T test, Wilcoxon testi
Sürekli	Kategorili	ANOVA, Doğrusal regresyon
Sürekli	Sürekli	Korelasyon, Doğrusal Regresyon
İkili kategorili	Sürekli	Lojistik regresyon
İkili kategorili	İkili Kategorili	Ki-Kare testi, Lojistik regresyon

2.3.2. Doğrusal Regresyon Analizi

Araştırmalarda iki ya da daha çok nicel değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şekli ile ilgilenildiğinde regresyon analizinden yararlanılmaktadır. *Regresyon analizi yöntemi*, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi tahmin etmekte ya da regresyon modeli olarak ifade edilen matematiksel model ile istatistiksel tahmin eşitliği geliştirmektedir (Şahinler, 2000). Regresyon Analizi yöntemi;

- Bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkeni ne şekilde etkilediği,
- Bağımlı değişken üzerindeki değişimin ne kadarının bağımsız değişkenler nedeniyle ortaya çıktığı,
- Bağımsız değişkenlerin alacağı değerlere göre, bağımlı değişkenin değerinin ne olacağını belirlenmeye çalışılmaktadır.

Regresyon modelini kurarken her zaman bir bağımlı değişkenden ve bir ya da birçok bağımsız (tahmin değişkeni) değişkenden bahsedilmektedir. Eğer tahmin değişkeni bir tane ise bu regresyon basit doğrusal regresyon, eğer tahmin değişkeni birden fazla ise bu regresyon çoklu doğrusal regresyon olarak adlandırılmaktadır. Çok değişkenli regresyon analizinde bağımsız değişkenler eş zamanlı olarak bağımlı değişkendeki değişimi açıklamaya çalışmaktadır. Çok değişkenli regresyon analizinin matematiksel olarak ifadesi Eşitlik 8’de görülmektedir (Can, 2017).

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + e_i \quad (8)$$

Y: Bağımlı değişken

X_1, X_2, X_3 : Bağımsız değişkenler

α : Sabit katsayı

$\beta_{1,2,3}$: Regresyon katsayıları (kısmi korelasyon)

e_i : Hata terimi

Bir araştırma birçok bağımsız değişkene sahip ise ve kompleks bir model kurulacaksa hangi değişkenlerin modele ekleneceğine üç metot vasıtasıyla karar verilmektedir. Bu üç yöntem: Hiyerarşik, Forced entry ve Stepwise metotları olarak tanımlanmaktadır. (Şen, 2021). Bu Regresyon Metotları kısaca şu şekilde açıklanmaktadır:

- Hiyerarşik regresyon: Hangi değişkenlerin modele hangi sırayla eklenmesi gerektiğine araştırmacının (literatüre ya da önceki araştırmalarına göre) belirlediği analiz türüdür.
- Forced entry: Eldeki tüm değişkenlerin zorla modele eklendiği regresyon analizidir. Bu noktada araştırmacının iyi bir literatür bilgisine sahip olması gerekmektedir.
- Stepwise regresyon: Hangi değişkenlerin hangi sırayla modele gireceğine matematiksel bir kritere bakarak karar verilmektedir. Burada ilk olarak bir değişken eklenip sonra 2. ve 3. eklenerek ileri (forward) doğru yapılmakta ya da önce tüm değişkenler modele atılıp ve birer birer eksiltiilerek geriye doğru (backward) adımı uygulanabilmektedir. Eklenen ya da çıkarılan değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde anlamlılığına göre son modele karar verilmektedir.

2.3.3. T-Test ve ANOVA Analizleri

T-Testi, istatistikte oldukça fazla kullanılan parametrik bir testtir. Parametrik testler ortalamaları karşılaştırma yöntemine dayanmaktadır. SPSS’te “compare means” yani “ortalamaları karşılaştır” başlığı altında yer almaktadır. Veri setinin normallik, varyans eşitliği gibi ön koşulları sağlaması gerekmektedir. İki grup ortalaması arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığına t-testi yardımıyla karar verilmektedir (Büyüköztürk vd, 2018). Elde bulunan verilerin ve çalışmanın özelliğine göre seçilebilen üç farklı t test bulunmaktadır.

- Tek örneklem/tek grup t testi: Seçilen örneklem o evrenden geliyor mu? (Bir evren ortalaması değeri sunulur).
- Bağımsız örneklem/bağımsız gruplar t testi: İki farklı grup ortalaması arasında anlamlı fark var mı?
- Bağımlı örneklem/bağımsız gruplar t testi: Aynı gruplara yönelik iki farklı ölçüm ortalamaları arasında anlamlı fark var mı?

Tek Örneklem/Tek Grup T-Testi: Bir örneklem ortalamasının tahmin edilen ya da bilinen evren ortalamasından anlamlı bir biçimde farklı olup olmadığını test etmektedir. Bunun için seçilmiş olan (popülasyona ait olduğunu düşünülen) bir ortalama değer örneklem ortalaması ile karşılaştırılır. Tek örneklem t-testinde yokluk hipotezi ve alternatif hipotezleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

- $H_0: \mu - X(\infty) = 0$ (Örneklemden elde edilen ortalama ile evren ortalaması arasında anlamlı bir fark yoktur.)

- $H_1: \mu - X(\infty) \neq 0$ (p değeri 0.05'ten küçük bulunursa yokluk hipotezi reddedilir).

Bağımsız Örneklem/Bağımsız Gruplar T-Testi: Bağımsız örneklem t testi, birbirinden bağımsız/ilişkisiz iki örneklemden elde edilen ortalamalar arasındaki farkın istatistiksel anlamlılığını test etmektedir. Bu test türü için sayısız örnek türetmek mümkündür. Kadın ve erkekler arasındaki fark, ameliyat olan hastalar ve olmayan hastalar arası fark, evli ve boşanmışlar arasındaki fark buna örnek teşkil etmektedir. Bağımsız Gruplar t testinde yokluk hipotezi ve alternatif hipotezleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

- $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ (İki evrene ait bağımlı değişken puanları ortalaması birbirine eşittir.)

- $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (İki evrene ait bağımlı değişken puanları ortalaması birbirinden anlamlı derecede farklıdır).

Bağımlı Örneklem/Bağımsız Gruplar T-Testi: Bağımlı örneklem t-testinde aynı kişilerdeki değişim gözlemlenmektedir. Yani, aynı kişiler üzerinde meydana gelen değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının test edilmesidir. Ön-test, son-test yaklaşımı bağımlı örneklem t testine örnek teşkil etmektedir. Örnek olarak, terapi programının lise son sınıf öğrencilerinin sınav kaygısını azaltmada etkili olup olmadığının incelendiği bir çalışmada yokluk hipotezi ve alternatif hipotezleri şu şekilde olmaktadır:

- $H_1: \mu_d > 0$ (Terapi sonrası sınav kaygısı puanları, terapi öncesi sınav kaygısı puanlarından çıkarılarak elde edilen fark puanları ortalaması pozitifdir).

- $H_0: \mu_d \leq 0$ (Fark puanları ortalaması, sıfıra eşit ya da sıfırdan küçüktür).

T-testi iki grup (durum) karşılaştırırken kullanılmaktadır. Eğer ikiden fazla grubun arasında anlamlı bir farklılık var mıdır diye bakılmakta ise **ANOVA** (veya varyans analizi, İngilizce Analysis of Variance sözcüklerinin kısaltılması) istatistik yöntemi tercih edilmektedir. ANOVA testi, bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimi ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmaktadır.

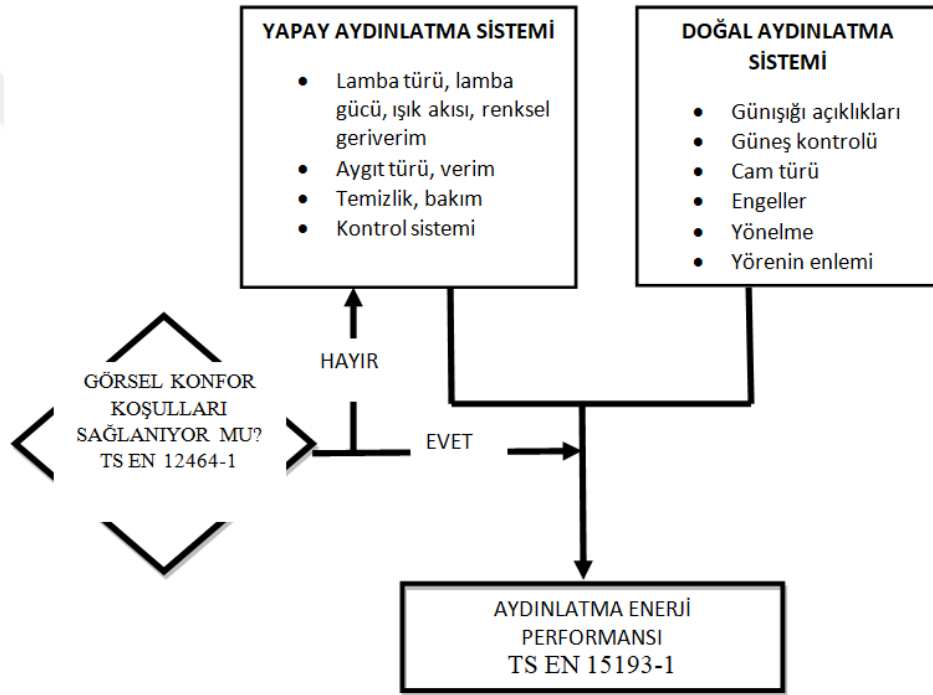
T-testi uygulanırken iki grubun ortalamalarının eşit olup olmadığı test edilmektedir. Eğer p değeri alfa (0.05) değerinden büyük çıkarsa sıfır hipotezi (iki grubun ortalamasının eşit olması) kabul edilmektedir. Eğer p değeri alfa değerinden düşük çıkarsa sıfır hipotezi reddedilmekte ve alternatif hipotez (iki grubun ortalamasının farklı olması) kabul edilmektedir. Aynı şekilde ANOVA'da da sıfır hipotezi ile öne sürülen ikiden fazla (örn: 3 grup; GRUP1=GRUP2=GRUP3) grubun ortalamalarının eşit olması durumu test edilmektedir. Yani p değeri 0.05'ten büyük olursa bu hipotezi kabul edilmekte, eğer p değeri

0.05'ten küçük ise bu hipotez reddedilmekte ve üç grup arası farklılık olduğu kabul edilmektedir. T testinde p değerinin anlamlı olup olmadığına karar vermek için t değeri kullanılırken ANOVA'da da F testinden elde edilen F değeri/oranı kullanılmaktadır. Eğer ANOVA analizi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir fark çıkarsa, yani Sig. değeri 0.05'ten küçük çıkarsa bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu bulmak gerekmektedir. Bunun için post hoc (çoklu karşılaştırma) testleri ya da planlı zıtlık karşılaştırmaları yapılmaktadır. Bu testler, gruplar arası farkların hangi durumlarda olduğunu açıklamaktadır. Bu anlamlı fark birçok değişik durumda ortaya çıkabilmektedir. Örneğin üç grubun hepsinin ortalamasının birbirinden farklı çıkması durumu olabilmektedir. Başka bir senaryo ise, 1. ve 2. grubunun ortalamalarının eşit ama 3. grubun bunlardan farklı bir ortalamaya sahip çıkmasıdır. Bunun gibi farklı değişken durumlardan dolayı F değeri anlamlı çıkmış olabilir. Elde edilen F değeri sadece gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermektedi, bunun dışında başka ek bir bilgi sunmaz. Eğer araştırmacı çok spesifik hipotezlere sahip ise planlı zıtlık karşılaştırmalarını kullanır. Eğer araştırmacının çok spesifik bir hipotezi yoksa, bu durumda post hoc çoklu karşılaştırmaları kullanabilir (Şen, 2021).

2.4. Ele Alınan Bütünleşik Aydınlatma Senaryolarına İlişkin Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan ofis hacimleri için doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Ofisler çoğunlukla gün saatleri içerisinde kullanılan ve doğal aydınlatmanın görsel, psikolojik, fizyolojik ve enerji etkinliği açılarından gerekli olduğu hacim türleridir. Belirlenen hacimler için aydınlatma enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi üzerine yapay ve doğal ışık kaynaklarının birlikte ele alınması bu noktada önemlidir. Enerjinin her alanda olduğu gibi binalarda da verimli kullanılması konusu artan enerji ihtiyaçları nedeni ile güncel bir konudur. Aydınlatma enerjisi ihtiyaçları da binanın enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyen bir bileşendir. Ele alınan ofisler için geliştirilen senaryolara ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi ile oluşturulan tasarım değişkenleri üzerinde değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bu bağlamda geliştirilen senaryolara ilişkin yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimlerinin belirlenmesi TS EN 15193-1+A1:2021 standardında önerilen hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 2.2.3’de detaylarının açıklandığı Standard, binaların aydınlatma enerji gereksinimini yapma aydınlatma kurulu gücüne ve doğal aydınlatma sistemi tasarımına bağlı olarak belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Gün içinde enerji tüketimleri fazla olan ofis hacimlerinde kullanıcı performansı ve verimli çalışmanın artırılması ve görsel konfor koşullarının kullanıcı performansına olumlu katkı sağlaması için enerji hesaplamalarında ilk sorulan soru yapay aydınlatmanın ofis binalarında görsel konfor koşullarını yeterince sağlayıp sağlamadığıdır (Şekil 30). Bu bağlamda yapay aydınlatma için geliştirilen öneri tabloları doğrultusunda yapay aydınlatma alternatifleri belirlenmiştir.



Şekil 30. Binaların aydınlatma enerji performansının belirlenmesi (Yener, 2011)

Çalışmada geliştirilen doğal aydınlatma tasarım parametreleri; pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, yönelme ve güneş kontrol elemanı değişkenlerine ait seçenekler burada analizlere dâhil edilmiştir. Yapılan ilk analizlerde, pencere biçimi seçeneklerinden P1: 240w x 180 h (tek parça) ile P2: 120w x 180h (iki parça) arasında fark çıkmadığı görülmüştür ve P2 seçeneği enerji analizlerden çıkartılmıştır. Standardın sunduğu gölgeleme elemanları içinde çalışmada geliştirilen parçalı yatay seçeneği olmadığı için bu alternatif de enerji analizlerine dâhil edilememiştir. TS EN 15193-1+A1:2021 standardında bir binanın aydınlatma sistemlerinin otomatik olarak kontrol edilebilmesi, enerji tüketiminin

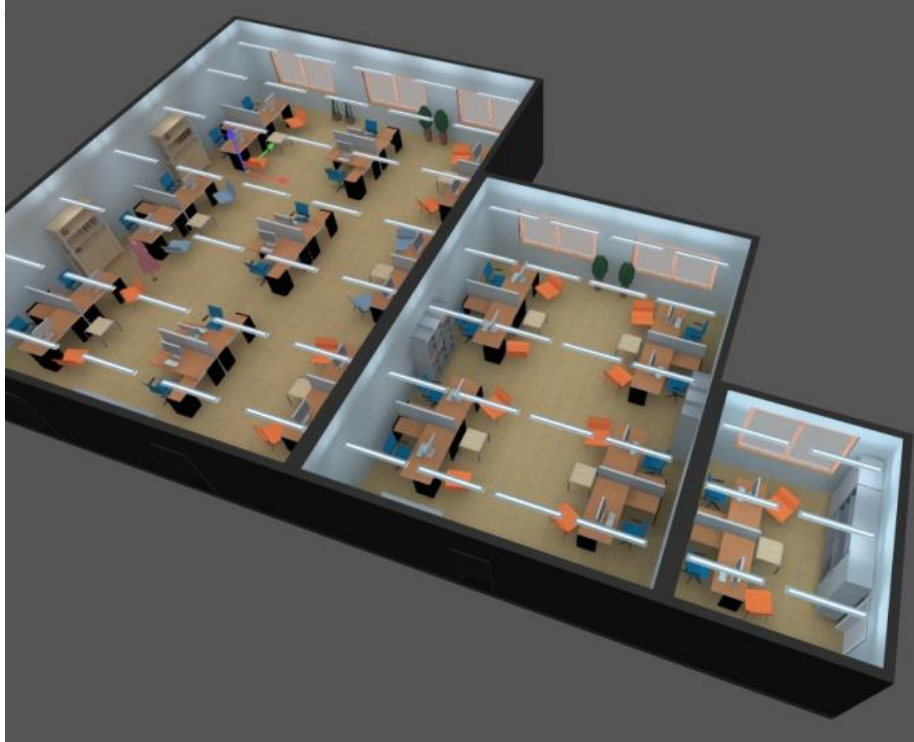
belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bir hacmin aydınlatma kontrolünün otomatik veya manüel olarak tasarlanıp tasarlanmadığı hesaplamalarda belirleyici etkiye sahiptir. Bu bağlamda, enerji analizleri için iki farklı kontrol senaryosu oluşturulmuştur. Yapay aydınlatma ve doğal aydınlatma sistemlerinin belirtilen standard doğrultusunda optimum bütünleştirilmesi ve enerji analizlerinin yapılması üzerine belirlenen bütünleşik aydınlatma senaryoları Tablo 27’de yer almaktadır.

Tablo 27. Bütünleşik aydınlatma senaryoları

Bütünleşik Aydınlatma Senaryoları					
Yapay Aydınlatma		Doğal Aydınlatma			
Kontrol sistemi	Işık Kaynağı – Lamba Gücü	Pencere boyutları (w x h) cm	Camın geçirgenliği	Yönelme	Güneş Kontrol elemanı
Manüel / açma-kapama	Y1: 30W- LED	P1:240 x 180	G1=0,65	Güney	K1: Mevcut değil
Otomatik	Y2: 45W-Flüoresan	P2:360 x 120	G2=0,78	Kuzey	K2: Dış yatay saçak (57,5 cm)
			G3=0,90		K3:İç jaluzi

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın bu bölümünde ofis hacimlerinde oluşturulan yapay ve doğal aydınlatma sistemlerine ait senaryoların görsel konfor ve enerji performansı üzerindeki etkilerini irdelemek üzere Dialux Evo 10 simülasyon programında veri analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 31). Ele alınan ofis hacimleri için yapay aydınlatma sistemi ve doğal aydınlatma sistemlerinden elde edilen veri sonuçları burada tablolar halinde sunulmuştur. Geliştirilen yaklaşım doğrultusunda elde edilen veriler ile istatistiksel değerlendirmeler yapılarak, aydınlatma tasarım parametreleri ile görsel konfor ve enerji performans değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiş, regresyon modelleri ile tahmin eşitlikleri sunulmuş ve çıkarımsal istatistik yöntemleri ile optimum değer aralıkları ve seçenekler belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, ele alınan ofis hacimleri için doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin optimum bütünleştirilmesi süreci gerçekleştirilmiştir. Ele alınan bütünleşik aydınlatma senaryolarına ilişkin aydınlatma enerji gereksinimini belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 31. Dialux programında ofis hacimlerinin modellenmesi

3.1. Ofis Hacimleri İçin Yapay Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi

Oluşturulan üç farklı ofis hacmi için çalışmada geliştirilen yapay aydınlatmaya ait değişkenlerle (ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü, aydınlatma biçimi, aygıt yansıtıcı türü ve yüzey yansıtıcılık katsayıları) birlikte oluşturulan senaryolar ile toplam 306 veri elde edilmiştir. Ofis birimleri için görsel konfor ve enerji performans değerlerine göre elde edilen veriler Tablo 28’de gösterilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, daha önce belirtilen görsel konfor ölçütleri dikkate alınarak, her üç hacimde de bu ölçütleri sağlayan ve enerji etkinliği yüksek olan aygıtlar seçilerek, görselleri ile birlikte Tablo 29’da sunulmuştur. Belirtilen görsel konfor koşulları; aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma değerlerinden oluşmaktadır.

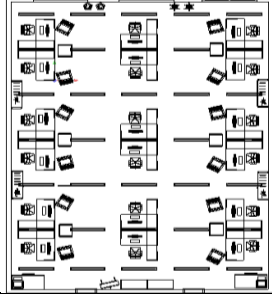
Tablo 28.Yapay aydınlatma simülasyon sonuçları

Mekân Boyutu: 168,75 m²

Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis

Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma





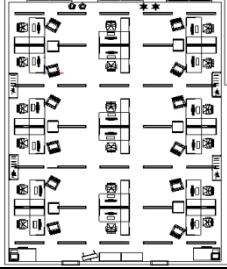
Sabit alınan değerler:

CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: linear, aygıt sayısı: 35

Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,50 / Döşeme: 0,30 Duvar: 0,50 Tavan: 0,70, Donatılar ort: 0,40

Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzensizlik ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38	63,7	Flüoresan	417	0,66	18,7	3
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	435	0,66	19,9	3
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22	131	LED	487	0,65	21,1	1,5
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36	100	LED	577	0,63	18,5	2,1
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35	105,7	LED	532	0,65	21,6	2,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45	70	Flüoresan	502	0,62	20,2	3
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28	129	LED	589	0,64	16,5	1,6
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3540	30	115	LED	571	0,62	18,2	1,8
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	371	0,64	23,6	4,2
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38	61,3	Flüoresan	382	0,63	21,4	3,4
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38	67,5	Flüoresan	376	0,67	19,1	3,5
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28	137,6	LED	606	0,55	20,3	1,6
Yarı dolaysız	Opal	3600	29	124	LED	521	0,65	22,5	1,9
Yarı dolaysız	Opal	3500	36	97	LED	490	0,68	24,6	2,5
Yarı dolaysız	Opal	2599	49	53	Flüoresan	368	0,69	21,3	4,6
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30	113,3	LED	500	0,65	18,7	2,1
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36	89,7	LED	468	0,60	20,4	2,7
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	623	0,60	26,8	2,2
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	502	0,64	26,2	2,1
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	393	0,63	24,5	4,3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	624	0,47	21,8	2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	555	0,62	20	2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	397	0,64	24,1	4
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	434	0,64	23,2	3
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	447	0,65	22,3	3
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	647	0,33	20,5	1,4
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	393	0,69	17,2	1,8
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	458	0,64	18,8	2,6
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	295	0,71	18,5	4
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	369	0,71	17,5	2,7
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	514	0,68	21,3	2,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	453	0,70	15,6	2,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	538	0,69	16,6	1,8
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	266	39	68,4	Flüoresan	310	0,65	13,9	4,4

Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 168,75 m ²									
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis									
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma									
 									
Sabit alınan değerler: CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 35 Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,70 / Döşeme: 0,50 Duvar: 0,70 Tavan: 0,90, Donatılar ort: 0,40									
Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzensizlik ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38	63,7	Flüoresan	493	0,69	16,7	2,7
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	515	0,69	18	2,5
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22	131	LED	575	0,66	19,7	1,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36	100	LED	695	0,64	16,6	1,8
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35	105,7	LED	651	0,67	19,7	1,9
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45	70	Flüoresan	601	0,64	18,4	2,6
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28	129	LED	693	0,68	14,4	1,4
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3540	30	115	LED	675	0,65	16,4	1,5
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	450	0,63	21,6	3,5
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38	61,3	Flüoresan	459	0,66	19,5	2,8
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38	67,5	Flüoresan	468	0,69	17,1	2,8
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28	137,6	LED	736	0,59	18,1	1,3
Yarı dolaysız	Opal	3600	29	124	LED	637	0,67	20,7	1,6
Yarı dolaysız	Opal	3500	36	97	LED	615	0,69	22,9	2
Yarı dolaysız	Opal	2599	49	53	Flüoresan	458	0,69	19,6	3,7
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30	113,3	LED	623	0,65	16,9	1,7
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36	89,7	LED	588	0,62	18,5	2,1
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	734	0,64	24,8	1,9
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	591	0,66	24,4	1,8
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	462	0,68	22,7	3,7
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	720	0,53	19,7	1,7
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	647	0,65	18,1	1,7
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	474	0,68	22,3	3,3
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	511	0,67	21,3	2,6
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	523	0,66	20,4	2,5
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	755	0,40	19,2	1,2
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	514	0,69	15,2	1,4
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	576	0,66	16,9	2,1
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	380	0,70	16,9	3,2
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	503	0,70	15,7	2
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	683	0,68	19,7	1,7
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	606	0,69	13,1	1,7
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	698	0,69	14,8	1,4
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	430	0,63	12,2	3,1

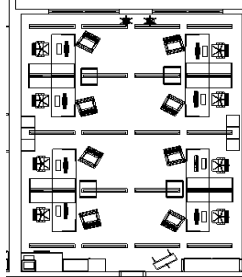
Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m²

Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis

Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma





Sabit alınan değerler:
CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 35
Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,30 Döşeme: 0,10 Duvar: 0,30 Tavan: 0,60, Donatılar ort: 0,40

Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzgünlük ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	356	0,56	19,8	2,1
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38W	66,4	Flüoresan	369	0,57	21,3	2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22W	131	LED	409	0,56	22,4	1
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	469	0,61	19,6	1,5
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	407	0,62	21,3	1,7
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	374	0,64	20,1	2,4
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	586	0,62	18,1	0,9
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	559	0,62	19,3	1
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	271	0,61	23,2	3,3
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38W	61,3	Flüoresan	323	0,60	21,9	2,3
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38W	67,5	Flüoresan	318	0,62	19,1	2,4
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28W	137,6	LED	603	0,47	23	0,9
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	488	0,59	23,5	1,2
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	332	0,62	24,3	2,1
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	324	0,63	22	3
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30	113,3	LED	477	0,60	19,5	1,3
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36	89,7	LED	444	0,53	21,2	1,6
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	513	0,57	27,4	1,5
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	409	0,59	26,8	1,5
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	310	0,59	25,3	3,1
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	552	0,42	23	1,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	472	0,58	20,9	1,3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	300	0,58	24,2	3
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	380	0,58	23,7	2
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	390	0,59	23	1,9
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	584	0,44	23,6	0,9
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	343	0,65	17,5	1,2
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	405	0,58	19	1,7
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	246	0,64	19,1	2,8
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	308	0,66	18	1,8
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	443	0,64	21,9	1,5
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	386	0,65	16	1,5
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	473	0,64	16,9	1,1
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	237	0,66	13,7	3,2

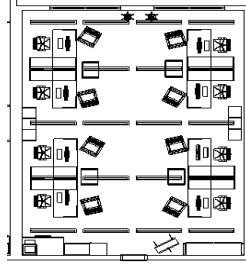
Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m²

Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis

Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma





Sabit alınan değerler:

CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 20

Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,50 Döşeme: 0,30 Duvar: 0,50 Tavan: 0,70, Donatılar ort: 0,40

Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzensizlik ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	376	0,57	17,7	2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38W	66,4	Flüoresan	392	0,60	18,8	1,9
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22W	131	LED	435	0,59	20,3	1
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	502	0,63	17,5	1,4
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	440	0,66	19,4	1,6
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	402	0,67	18,2	2,2
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	622	0,63	15,8	0,9
Dolaysız yüz	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	594	0,64	17,6	1
Dolaysız yüzey	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	293	0,66	20,8	3
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38W	61,3	Flüoresan	342	0,63	19,9	2,2
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38W	67,5	Flüoresan	345	0,65	17,6	2,2
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28W	137,6	LED	647	0,51	20,7	0,8
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	523	0,63	22	1,1
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	364	0,66	22,9	2,5
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	353	0,64	20,5	2,7
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30 W	113,3	LED	517	0,62	17,8	1,1
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36 W	89,7	LED	484	0,56	19,7	1,5
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	539	0,58	25,5	1,5
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	430	0,61	24,8	1,4
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	326	0,61	23,3	3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	576	0,45	20,8	1,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	496	0,59	18,2	1,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	317	0,61	22	2,8
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	398	0,59	21,7	1,9
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	409	0,60	20,9	1,8
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	607	0,47	21	0,8
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	381	0,67	15,8	1,1
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	443	0,62	17,2	1,6
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	275	0,67	17,7	2,5
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	351	0,70	16,7	1,6
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	495	0,66	20,7	1,4
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	433	0,69	14,6	1,4
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	542	0,65	15,4	1
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	274	0,71	12,4	3

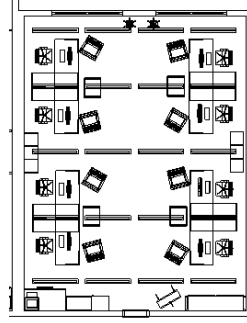
Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5m²

Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis

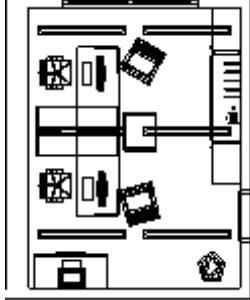
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma



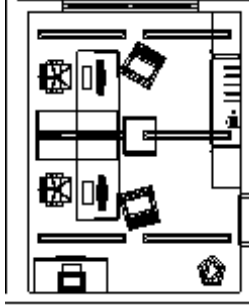


Sabit alınan değerler: CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 20 Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,70 Döşeme: 0,50 Duvar: 0,70 Tavan: 0,90, Donatılar ort: 0,40									
Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzgünlük ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paetli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	424	0,62	16	1,8
Dolaysız yüzeye	Paetli	2527	38W	66,4	Flüoresan	443	0,65	17	1,7
Dolaysız yüzeye	Paetli	2903	22W	131	LED	492	0,64	18,3	0,9
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	577	0,67	15,6	1,2
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	514	0,70	17,5	1,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	461	0,71	16,3	1,9
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	701	0,67	13,9	0,8
Dolaysız yüz	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	674	0,67	15,7	0,9
Dolaysız yüzey	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	340	0,69	18,9	2,6
Yarı dolaysız	Paetli	2330	38W	61,3	Flüoresan	390	0,66	17,9	1,9
Yarı dolaysız	Paetli	2556	38W	67,5	Flüoresan	408	0,70	15,8	1,8
Yarı dolaysız	Paetli	3770	28W	137,6	LED	750	0,57	18,4	0,7
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	602	0,66	20,1	1
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	434	0,70	21	1,6
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	416	0,68	18,7	2,3
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30 W	113,3	LED	613	0,67	15,9	0,9
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36 W	89,7	LED	577	0,62	17,8	1,2
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	603	0,63	23,6	1,3
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	482	0,65	22,9	1,3
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	364	0,64	21,4	2,7
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	632	0,50	18,7	1,1
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	550	0,64	16,3	1,1
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	362	0,65	20,1	2,3
Dolaysız sarkıt	Paetli	2456	38	64,6	Flüoresan	446	0,63	19,8	1,7
Dolaysız sarkıt	Paetli	2527	38	66,4	Flüoresan	455	0,63	18,8	1,7
Dolaysız sarkıt	Paetli	3580	26	138,2	LED	675	0,53	18,8	0,7
Dolaylı –dolaysız	Paetli	3020	21	143,8	LED	474	0,70	13,9	0,9
Dolaylı –dolaysız	Paetli	3263	35	92,5	Flüoresan	534	0,61	15,1	1,3
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	335	0,70	15,9	2
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	454	0,72	14,8	1,3
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	625	0,71	18,9	1
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	553	0,72	12,7	1
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	646	0,69	13,5	0,9
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	359	0,69	10,6	2,1

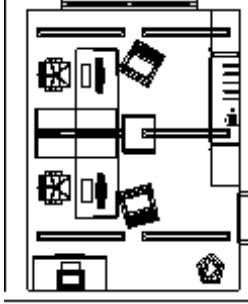
Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75m²									
Kullanıcı Sayısı: 2kişi- Hücresel Ofis									
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma									
 									
Sabit alınan değerler: CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 6 Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,30 Döşeme: 0,10 Duvar: 0,30 Tavan: 0,60 Donatılar ort: 0,40									
Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düğünlük ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	460	0,63	20,9	0,5
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38W	66,4	Flüoresan	474	0,64	22,4	0,5
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22W	131	LED	514	0,66	23,4	0,2
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	567	0,70	19,7	0,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	473	0,68	20,2	0,4
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	451	0,67	19,4	0,6
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	602	0,68	17,4	0,3
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	576	0,71	18,2	0,3
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	334	0,74	21,3	0,8
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38W	61,3	Flüoresan	443	0,56	23,1	0,5
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38W	67,5	Flüoresan	399	0,66	21,4	0,5
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28W	137,6	LED	715	0,47	23,6	0,2
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	532	0,71	23,2	0,3
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	463	0,74	24,6	0,5
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	355	0,67	22	0,7
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30 W	113,3	LED	528	0,70	20,4	0,3
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36 W	89,7	LED	502	0,54	21,1	0,4
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	657	0,58	27,1	0,4
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	517	0,63	26,6	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	414	0,64	25,2	0,6
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	775	0,53	23,1	0,3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	619	0,68	20,1	0,3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	400	0,72	23,3	0,7
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	520	0,57	24,7	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	543	0,59	23,7	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	828	0,49	25	0,2
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	389	0,70	19,4	0,3
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	476	0,60	20,6	0,4
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	273	0,70	19,4	0,7
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	346	0,76	18,3	0,5
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	483	0,78	22	0,4
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	435	0,70	17	0,4
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	526	0,74	17,2	0,3
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	271	0,73	14	0,8

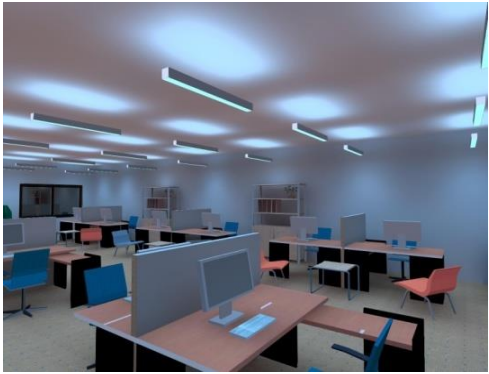
Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75m²									
Kullanıcı Sayısı: 2kişi- Hücresel Ofis									
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma									
 									
Sabit alınan değerler: CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 35 Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,50 Döşeme: 0,30 Duvar: 0,50 Tavan: 0,70 Donatılar ort: 0,40									
Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzlük ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	487	0,64	19,2	0,4
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38W	66,4	Flüoresan	505	0,63	20,5	0,4
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22W	131	LED	549	0,69	21,5	0,2
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	614	0,74	17,9	0,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	527	0,68	18,5	0,4
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	502	0,62	17,8	0,5
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	646	0,68	15,8	0,2
Dolaysız yüz	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	624	0,71	16,9	0,3
Dolaysız yüzey	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	373	0,77	19,6	0,7
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38W	61,3	Flüoresan	471	0,58	21,7	0,5
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38W	67,5	Flüoresan	436	0,69	19,9	0,5
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28W	137,6	LED	759	0,50	22,1	0,2
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	583	0,71	21,9	0,3
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	521	0,73	23,2	0,4
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	396	0,68	20,6	0,6
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30 W	113,3	LED	576	0,71	18,7	0,3
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36 W	89,7	LED	555	0,57	19,5	0,4
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	711	0,60	25,7	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	556	0,65	25,1	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	443	0,64	23,7	0,6
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	809	0,55	21,4	0,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	657	0,70	18,8	0,3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	433	0,76	21,7	0,6
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	546	0,58	23,2	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	569	0,60	22,3	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	858	0,52	23,9	0,2
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	437	0,73	18	0,3
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	524	0,62	19,1	0,4
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	310	0,71	18,1	0,6
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	400	0,77	17,2	0,4
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	553	0,77	20,8	0,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	502	0,72	15,6	0,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	591	0,75	15,8	0,3
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	322	0,75	12,8	0,7

Tablo 28'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75m²									
Kullanıcı Sayısı: 2kişi- Hücresel Ofis									
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma									
 									
Sabit alınan değerler: CCT:4000K Ra≥80, aygıt formu: lineer, aygıt sayısı: 6 Yüzey yansıtma katsayısı ort: 0,70 Döşeme: 0,50 Duvar: 0,70 Tavan: 0,90 Donatılar ort: 0,40									
Aydınlatma biçimi	Aygıt Yansıtıcı Türü	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü Lm/w	Lamba Türü	Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzensizlik ≥0,6 Uo	Kamaşma <19 UGR	Enerji w/lm/m2
Dolaysız yüzeye	Paletli	2427	38 W	63,7	Flüoresan	542	0,66	17,6	0,4
Dolaysız yüzeye	Paletli	2527	38W	66,4	Flüoresan	563	0,64	18,8	0,4
Dolaysız yüzeye	Paletli	2903	22W	131	LED	618	0,74	19,8	0,2
Dolaysız yüzeye	Opal	3600	36W	100	LED	710	0,74	16,2	0,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3700	35W	105,7	LED	632	0,69	16,7	0,3
Dolaysız yüzeye	Opal	3429	45W	70	Flüoresan	593	0,68	16	0,4
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3600	28W	129	LED	731	0,68	14	0,8
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	3540	30W	115	LED	705	0,71	15,1	,02
Dolaysız yüzeye	Mikroprizmatik	2688	45W	60	Flüoresan	450	0,75	17,8	0,6
Yarı dolaysız	Paletli	2330	38W	61,3	Flüoresan	527	0,60	20,1	0,4
Yarı dolaysız	Paletli	2556	38W	67,5	Flüoresan	513	0,67	18,1	0,4
Yarı dolaysız	Paletli	3770	28W	137,6	LED	867	0,54	20,5	0,2
Yarı dolaysız	Opal	3600	29 W	124	LED	676	0,72	20,3	0,2
Yarı dolaysız	Opal	3500	36W	97	LED	632	0,74	21,5	0,3
Yarı dolaysız	Opal	2599	49 W	53	Flüoresan	479	0,70	18,9	0,5
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30 W	113,3	LED	678	0,72	17	0,2
Yarı dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36 W	89,7	LED	656	0,62	17,9	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	3800	40	95	LED	794	0,62	24,1	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	3100	31	96,8	LED	627	0,65	23,5	0,3
Dolaysız sarkıt	Opal	2454	49	50	Flüoresan	499	0,65	22	0,5
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3584	35	102,4	LED	875	0,56	20	0,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	731	0,69	17,3	0,2
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	2688	45	60	Flüoresan	499	0,75	20,1	0,5
Dolaysız sarkıt	Paletli	2456	38	64,6	Flüoresan	596	0,60	21,8	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	2527	38	66,4	Flüoresan	616	0,62	20,9	0,4
Dolaysız sarkıt	Paletli	3580	26	138,2	LED	930	0,54	22,5	0,1
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3020	21	143,8	LED	544	0,73	16,2	0,2
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3263	35	92,5	Flüoresan	634	0,64	17,3	0,3
Dolaylı –dolaysız	Opal	2212	35	63,2	Flüoresan	390	0,69	16,4	0,5
Dolaylı –dolaysız	Opal	2884	29	99	LED	524	0,76	15,4	0,3
Dolaylı –dolaysız	Opal	3880	34	114	LED	698	0,76	19,1	0,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED	636	0,70	13,7	0,3
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	28,5	143,3	LED	734	0,74	14,2	0,2
Dolaylı-dolaysız	Mikroprizmatik	2667	39	68,4	Flüoresan	436	0,71	11,1	0,5

Tablo 29'un devamı

							0,7	E _{ort} : 693 lx U _o :0,62 UGR: 18,9	
Aydınlatma kategorisi	Aygt Yansıtıcı	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü	Lamba Türü	Hacim boyutu	Yüzey yansıtıcı	Görsel Konfor	Örnek Görseller HACİM 3
Dolaysız yüzeye monte	Mikroprizmatik	3540	30	115	LED	H1	0,3	E _{ort} : 576 lx U _o :0,71 UGR:18,2	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,3
							0,5	E _{ort} : 624 lx U _o :0,71 UGR:16,9	
							0,7	E _{ort} : 705 lx U _o :0,71 UGR: 15,1	
						H2	0,3	E _{ort} : 559 lx U _o :0,62 UGR: 19,3	
							0,5	E _{ort} : 594 lx U _o :0,64 UGR: 17,6	
							0,7	E _{ort} :674 lx U _o :0,67 UGR:15,7	
						H3	0,3	-	
							0,5	E _{ort} : 571 lx U _o :0,62 UGR: 18,2	
							0,7	E _{ort} : 675 lx U _o :0,65 UGR: 16,4	
Yarı Dolaysız	Mikroprizmatik	3400	30	113,3	LED	H1	0,3	-	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,5
							0,5	E _{ort} : 576 lx U _o :0,71 UGR:18,7	
							0,7	E _{ort} : 678 lx U _o :0,72 UGR: 17	
						H2	0,3	-	
							0,5	E _{ort} : 517lx U _o :0,62 UGR: 17,8	
							0,7	E _{ort} :613 lx U _o :0,67 UGR:15,9	
						H3	0,3	-	
							0,5	E _{ort} : 500 lx U _o :0,65 UGR: 18,7	
							0,7	E _{ort} : 623 lx U _o :0,65 UGR: 16,9	
Yarı Dolaysız	Mikroprizmatik	3230	36	89,7	LED	H1	0,3	-	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,7
							0,5	-	
							0,7	E _{ort} : 656 lx U _o :0,62 UGR: 17,9	
						H2	0,3	-	
							0,5	-	
							0,7	E _{ort} :577 lx U _o :0,62 UGR:17,8	
						H3	0,3	-	
							0,5	-	

Tablo 29'un devamı

							0,7	E _{ort} : 588 lx U _o :0,62 UGR: 18,5	
Aydınlatma Klası	Aygt Yansıtıcı	Işık Akısı lm	Lamba Gücü W	Etkinlik Faktörü	Lamba Türü	Hacim boyutu	Yüzey yansıtıcılı	Görsel Konfor	Örnek Görseller HACİM 3
Dolaysız sarkıt	Mikroprizmatik	3393	31	109,5	LED	H1	0,3	-	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,7
							0,5	E _{ort} : 657 lx U _o :0,70 UGR: 18,8	
							0,7	E _{ort} : 731lx U _o :0,69 UGR: 17,3	
						H2	0,3	-	
							0,5	-	
							0,7	E _{ort} :550 lx U _o :0,64 UGR:16,3	
						H3	0,3	-	
							0,5	-	
Dolaylı –dolaysız	Paletli	3236	35	92,5	Flüoresan		0,7	E _{ort} : 647 lx U _o :0,65 UGR: 18,1	
						H1	0,3	-	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,7
							0,5	E _{ort} : 524 lx U _o :0,62 UGR: 19,1	
							0,7	E _{ort} : 634 lx U _o :0,64 UGR: 17,3	
						H2	0,3	-	
							0,5	-	
							0,7	E _{ort} :534 lx U _o :0,61 UGR:15,1	
						H3	0,3	-	
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	3500	30	116,6	LED		0,5	-	
						H1	0,3	-	 YÜZEY YANSITMA ORT: 0,7
							0,5	E _{ort} : 502 lx U _o :0,72 UGR: 15,6	
							0,7	E _{ort} : 636 lx U _o :0,70 UGR: 13,7	
						H2	0,3	-	
							0,5	-	
							0,7	E _{ort} :553 lx U _o :0,72 UGR:12,7	
						H3	0,3	-	
							0,5	-	

Tablo 29'un devamı

							0,7	E _{ort} : 606 lx U _o :0,69 UGR: 13,1	
Dolaylı –dolaysız	Mikroprizmatik	4000	280,5	143,5	LED	H1	0,3	E _{ort} : 526 lx U _o :0,74 UGR: 17,2	
							0,5	E _{ort} : 591 lx U _o :0,75 UGR: 15,8	
							0,7	E _{ort} : 734 lx U _o :0,74 UGR: 14,2	
						H2	0,3	-	
							0,5	E _{ort} : 542lx U _o :0,65 UGR: 15,4	
							0,7	E _{ort} :698lx U _o :0,69 UGR:14,8	
						H3	0,3	-	
							0,5	E _{ort} : 538 lx U _o :0,69 UGR: 16,6	
							0,7	E _{ort} : 698 lx U _o :0,69 UGR: 14,8	

YÜZEY YANSITMA ORT: 0,7

3.1.1. Yapay Aydınlatma İçin Regresyon Analizi Yöntemi ile Görsel Konfor ve Enerji Performansı Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi

Bu bölümde çalışmada incelenen ofis modellerine ait simülasyon sonuçları ile elde edilen görsel konfor ve enerji performans verilerini yapay aydınlatmaya ait değişkenlere göre yaklaşık olarak tahmin etmeye çalışan çoklu doğrusal regresyon eşitliklerini temel alan istatistiksel modeller sunulmaktadır. Tahmin eşitliklerinin geliştirilmesinde ilk olarak korelasyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin saptanması gerçekleştirilmiştir. Tablo 30'da yer alan korelasyon analizindeki sonuçlara göre, yapay aydınlatmaya ait değişkenlerden etkinlik faktörü ile lamba gücü, ışık akısı ve lamba türü arasında güçlü korelasyon ilişkisi çıkmıştır. Bu durum çoklu doğrusallık (multicollinearity) sorunu yaratmaktadır. Bir regresyon modelinde iki veya daha fazla bağımsız değişken birbiriyle yüksek düzeyde ilişkili olduğunda ortaya çıkmaktadır. Bu, bir regresyon modelinde bağımsız bir değişkenin başka bir bağımsız değişkenden tahmin edilebileceği anlamına geldiği için, bu değişkenlerin aynı formülde yer alması önerilmemektedir (Bayram,2004). Bu nedenle ışık akısı, lamba gücü ve lamba türü değişkenlerinin çıkartılarak, lümen/watt değerini gösteren etkinlik faktörü değerinin eşitliklere katılmasına karar verilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizlerine alınan değişkenler; hacim boyutları,

yüzeylerin yansıtma çarpanları, etkinlik faktörü, aydınlatma biçimi, aygıt yansıtıcı türü olarak belirlenmiştir.

Çalışmada Çoklu Doğrusal Regresyon analizlerinde ele alınan bağımsız değişkenler arasında kategorik değişkenler bulunmaktadır. Literatürde, regresyon analizlerinde kategorik değişkenler kodlanarak kukla değişkenler oluşturulmaktadır. Bu çalışmada da kategorik bağımsız değişkenler arasında yer alan lamba türü, aydınlatma biçimi ve aygıt yansıtıcı türüne ait gruplar için kukla değişkenler oluşturulmuştur. Burada kategorik değişkenler arasından bir grup referans grup olarak seçilmektedir ve bu referans grup analiz dışı bırakılmıştır. Yapılan analizlerde flüoresan lamba türü, dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçimi ve paletli yansıtıcı türüne sahip aygıtlar referans grup olarak seçilmişlerdir. Daha sonra elde edilecek sonuçların yorumları bu gruplara göre yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon eşitliklerinde görsel konfor ve enerji performansını tahmin etmek için belirlenen değişkenler vasıtasıyla, adım adım seçme (stepwise) çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde en güvenilir çoklu doğrusal regresyon eşitliği elde etmek için modele dahil edilen her bir bağımsız değişken en yüksek korelasyona sahip olandan başlanmak üzere teker teker modele sokulmaktadır. Sonuç olarak anlamlılık düzeyi en yüksek modelin elde edilmesi sağlanmaktadır.

Yapılan çalışmada oluşturulan üç farklı ofis hacim boyutunun bağımsız değişken olarak analizlere dâhil edilmesi düşünülmüştür. Fakat elde edilen ilk analizlerde hacim boyutu ile aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma bağımlı değişkenleri arasında lineer bir ilişki olmadığı görülmüştür. Doğrusal regresyon analizlerinde ise bağımsız değişkenler ile bağımlı değişkenler arasında lineer bir ilişki aranmaktadır. Bu durumda görsel konfor analizleri için aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma değerlerini tahmin eden eşitlikler, enerji performansı için $W/(lm/m^2)$ değerlerini tahmin eden eşitlikler üç farklı boyuttaki ofis hacimlerinin her biri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Yapay aydınlatma değişkenlerini kapsayan toplam 18 model oluşturulmuştur. Bu modellerden 11 tanesinin belirlilik düzeyi %70'in üstünde çıkmıştır. Diğer bir ifade ile elde edilen 11 model %70 den yüksek oranda anlamlıdır. Elde edilen modellere ilişkin detaylı bilgiler aşağıdaki başlıklarda açıklanmaktadır.

Tablo 30. Yapay aydınlatma değişkenlerine ait korelasyon analizi sonuçları

Korelasyonlar (Correlations)									
		Işık akısı	Lamba gücü	Etkinlik faktörü	Lamba türü	Aydınlatma biçimi	Aygıt yansıtıcılık	Yüzeylerin yansıtma k	Hacim boyutları
Işık akısı	Pearson	1	-,444**	,774**	,804**	-,005	,348**	,000	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,933	,000	1,000	1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Lamba gücü	Pearson	-,444**	1	-,881**	-,723**	-,149**	,097	,000	-,001
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,009	,092	1,000	,987
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Etkinlik faktörü	Pearson	,774**	-,881**	1	,866**	,104	,094	,000	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,069	,101	1,000	1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Lamba türü	Pearson	,804**	-,723**	-,866**	1	,031	,297**	,000	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,584	,000	1,000	1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Aydınlatma biçimi	Pearson	-,005	-,149**	,104	,031	1	,065	,000	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	,933	,009	,069	,584		,254	1,000	1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Lambaların yansıtıcılık özelliği	Pearson	,348**	,097	,094	,297**	,065	1	,000	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	,000	,092	,101	,000	,254		1,000	1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Yüzeylerin yansıtma katsayıları	Pearson	,000	,000	,000	,000	,000	,000	1	,000
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000
	N	306	306	306	306	306	306	306	306
Hacim boyutları	Pearson	,000	-,001	,000	,000	,000	,000	,000	1
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	1,000	,987	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	N	306	306	306	306	306	306	306	306

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

3.1.1.1. Hacim 1 İçin (18,75 m²) Geliştirilen İstatistiksel Modeller

Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model Tablo 31’de verilmiştir. Tabloda yer alan saçılma diyagramı simülasyon sonuçları ile model sonuçlarının yakın çıktığını göstermektedir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,765 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %77’sini açıklamaktadır. R^2 ve R^2_d (düzeltilmiş R^2) değerlerinin çok yakın olması değişkenlerin matematiksel modele anlamlı katkı sağladığını ifade etmektedir. Katsayılar tablosu, regresyon denklemindeki değişkenleri alacağı katsayı ve sabit değerleri içermektedir. Burada Constant (B_0) denklemdeki sabit değerdir. B_1, B_2, B_3, B_4 ise bağımsız değişkenlerin katsayılarıdır. Sig. Değeri sabit ve bağımsız değişkenlerin katsayısının anlamlılığıdır. Sig. < 0,05 ise, katsayılar denkleme anlamlı derecede katkı sağlamaktadır. Oluşturulan bu modelde yüzeylerin yansıtma katsayısı, etkinlik faktörü, dolaysız sarkıt ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri aydınlık düzeyini anlamlı şekilde tahmin etmektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu dört değişken yer almaktadır. Burada yarı dolaysız aydınlatma biçiminin bu modele dâhil edilmediği görülmektedir. Bu noktada aydınlatma biçimi seçeneklerinden sadece yarı dolaysız seçeneğinin modele katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model Tablo 32’de görülmektedir. Bu modelin yarı dolaysız seçenekler ve referans seçenek olarak belirlenen dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçimleri için kullanılması önerilmektedir.

Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlığın dağılımı (düzgünlük değeri [U_0]) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 33’de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,485 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %49’unu açıklamaktadır. Bu modelin belirlilik düzeyi düşük çıkmıştır. Katsayılar tablosuna bakıldığında, dolaysız sarkıt aydınlatma ve yarı dolaysız aydınlatma biçimleri ile opal ve mikroprizmatik yansıtıcı aygıtlar aydınlığın dağılımını düşük bir oranda tahmin edebilmektedir. Burada dolaylı-dolaysız aydınlatma biçiminin modele dâhil edilmediği görülmektedir. Bu noktada aydınlatma biçimi seçeneklerinden sadece dolaylı-dolaysız seçeneğinin modele katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen model Tablo 34’de görülmektedir. Bu modelin sadece dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimi için kullanılması önerilmektedir.

Aynı hacimde, kamaşma değeri (UGR) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 35’de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,829 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre

buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %83'ünü açıklamaktadır. Kamaşma değerine ait katsayı tablosu incelendiğinde yüzeylerin yansıtma katsayısı, dolaysız sarkıt, yarı dolaysız ve dolaylı- dolaysız aydınlatma biçimleri ile mikroprizmatik yansıtıcı aygıtların modele anlamlı oranda dâhil edildiği görülmektedir. Bu noktada aygıt yansıtıcılığı seçeneklerinden sadece opal seçeneğinin modele katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen anlamlı model Tablo 36'da görülmektedir. Bu modelin sadece opal yansıtıcı aygıt seçeneği için kullanılması önerilmektedir.

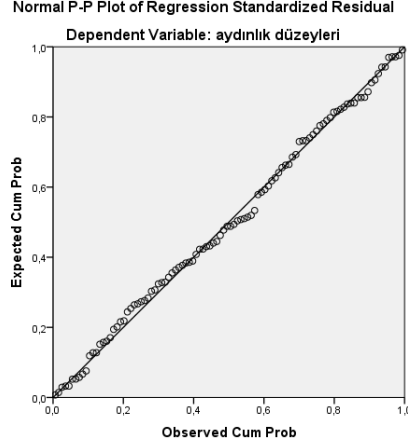
Hacim 1'in enerji performansı ($W/(lm/m^2)$ değeri) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 37'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,837 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %84'ünü açıklamaktadır. Katsayı tablosu incelendiğinde etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma katsayıları, dolaylı-dolaysız ve dolaysız sarkıt aydınlatma biçimleri ile mikroprizmatik ve opal yansıtıcı aygıtlar enerji performansını anlamlı şekilde tahminlemektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu altı değişken yer almaktadır. Bu noktada elde edilen modelde yarı dolaysız aydınlatma seçeneğinin yer almadığı görülmektedir. Aydınlatma biçimi seçeneklerinden sadece bu seçeneğin değerlendirmeye katıldığı analizler sonucunda anlamlı bir model elde edilememiştir.

Tablo 38'de, Hacim 1'de yüzey yansıtma katsayı ortalaması 0,3 olan seçenek için, görsel konfor (Aydınlık düzeyi, aydınlık dağılımı, kamaşma) simülasyon çıktıları ile oluşturulan istatistiksel modeller kullanılarak elde edilen değerler arasındaki bağıl hata oranları verilmiştir. Elde edilen tahmin modellerinin %0 ile %30 arasında bir hata oranına sahip olduğu görülmüştür. $W/(lm/m^2)$ değerleri doğrultusunda yapılan enerji analizleri ve istatistiksel modeller kullanılarak elde edilen değerler arasındaki bağıl hata oranları %0 ile %35 arasında değişmektedir.

Tablo 31. Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,562 ^a	,316	,309	113,31424
2	,717 ^b	,515	,505	95,95725
3	,819 ^c	,671	,661	79,35178
4	,875 ^d	,765	,755	67,46893

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant) (B ₀)	82,368	31,752		2,594	,011
Etkinlik faktörü	3,258	,240	,686	13,578	,000
Dolaylı-dolaysız	-112,926	16,942	-,353	-6,665	,000
Yüzeylerin yan. katsayıları	329,044	40,909	,396	8,043	,000
Dolaysız sarkıt	100,148	16,128	,326	6,210	,000

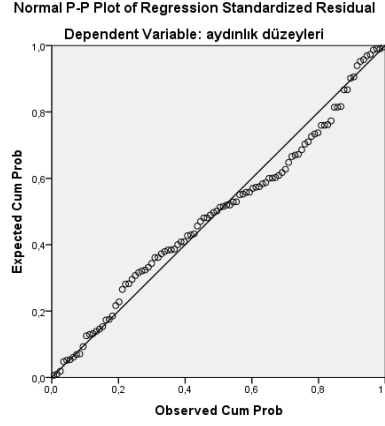
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Düzeyi= 82,368 + 329,044. (yüzeylerin yansıtma faktörü)+100,148. (dolaysız sarkıt aydınlatma) + 3,258. (etkinlik faktörü) -112,926. (dolaylı-dolaysız aydınlatma)

Tablo 32. Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,562 ^a	,316	,309	113,31424
2	,688 ^b	,473	,462	99,97561

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant) (B ₀)	137,861	45,657		3,019	,003
Etkinlik faktörü	2,669	,346	,562	7,709	,000
Yüzeylerin yan. Katsayıları	329,044	60,619	,396	5,428	,000

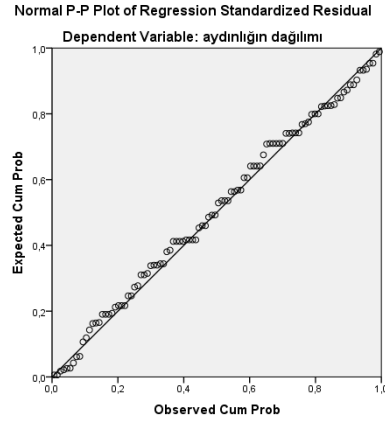
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Düzeyi= 137,861 + 329,044. (yüzeylerin yansıtma faktörü) +2,669.(etkinlik faktörü)

Tablo 33. Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,407 ^a	,166	,158	,06572
2	,512 ^b	,262	,247	,06212
3	,577 ^c	,333	,313	,05937
4	,697 ^d	,485	,464	,05242

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	T	Sig
(Constant)	,652	,011		60,613	,000
Dolaysız sarkıt	-,081	,012	-,499	-6,460	,000
Yarı dolaysız	-,050	,013	-,296	-3,818	,000
Opal	,074	,013	,498	5,878	,000
Mikroprizmatik	,069	,013	,456	5,356	,000

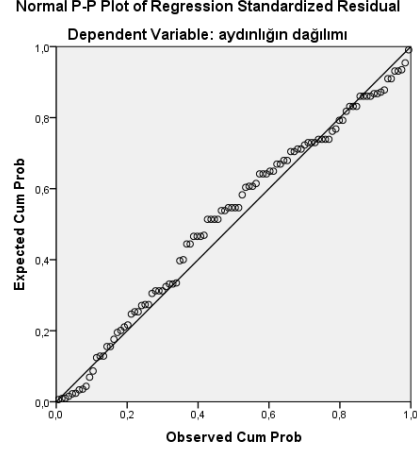
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Dağılımı= 0,652+ 0,069. (mikroprizmatik aygıt) +0,074. (opal aygıt) – 0,081(dolaysız sarkıt aydınlatma)- 0,050.(yarı dolaysız aydınlatma)

Tablo 34. Hacim 1’de (18,75 m²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (dolaylı-dolaysız aydınlatma), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,404 ^a	,163	,155	,06582
2	,481 ^b	,231	,215	,06342
3	,615 ^c	,379	,360	,05729

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	T	Sig
(Constant)	,605	,010		58,917	,000
Dolaylı-dolaysız	,061	,013	,364	4,556	,000
opal	,073	,014	,490	5,283	,000
mikroprizmatik	,068	,014	,449	4,830	,000

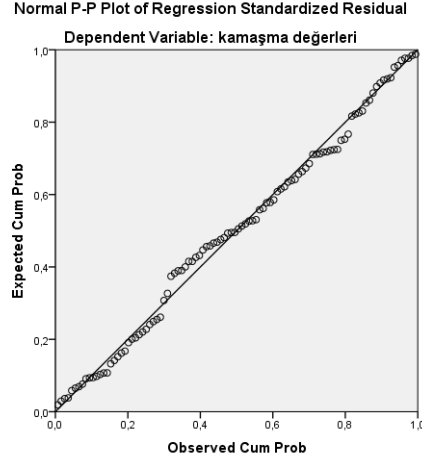
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Dağılımı= 0,605+ 0,068. (mikroprizmatik aygıt) +0,073. (opal aygıt) +0,061. (dolaylı-dolaysız aydınlatma)

Tablo 35. Hacim 1’de (18,75 m²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,557 ^a	,311	,304	2,6614
2	,723 ^b	,523	,513	2,2253
3	,829 ^c	,687	,677	1,8124
4	,896 ^d	,803	,795	1,4446
5	,911 ^e	,829	,820	1,3514

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	T	Sig
(Constant)	23,511	,495		47,531	,000
Dolaysız sarkıt	4,230	,368	,588	11,500	,000
Mikroprizmatik	-2,886	,287	-,425	-10,046	,000
Yüzeylerin yansıtma kat.	-7,868	,819	-,405	-9,602	,000
Yarı dolaysız	2,032	,380	,272	5,350	,000
Dolaylı- dolaysız	-1,461	,379	-,195	-3,852	,000

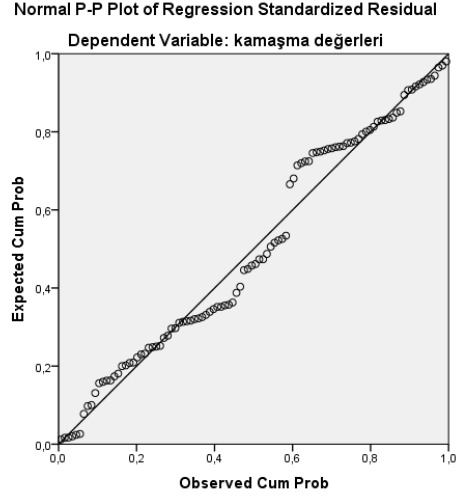
Regresyon Tahmin Eşitliği

Kamaşma = 23,511 – 7,868. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) -2,886. (mikroprizmatik aygıt) – 1,461 .(dolaylı-dolaysız aydınlatma) + 4,230. (dolaysız sarkıt aydınlatma) + 2,886. (yarı dolaysız aydınlatma)

Tablo 36. Hacim 1’de (18,75 m²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,557 ^a	,311	,304	2,6614
2	,689 ^b	,474	,464	2,3354
3	,787 ^c	,619	,607	1,9985
4	,815 ^d	,665	,651	1,8838
5	,836 ^e	,698	,683	1,7969

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	T	Sig
(Constant)	22,061	,657		33,574	,000
Dolaysız sarkıt	4,230	,489	,588	8,649	,000
Yüzeylerin yansıtma kat.	-7,868	1,090	-,405	-7,221	,000
Yarı dolaysız	2,212	,504	,296	4,385	,000
Opal yansıtıcı	1,461	,373	,220	3,922	,000
Dolaylı-dolaysız	-1,642	,504	-,220	-3,256	,002

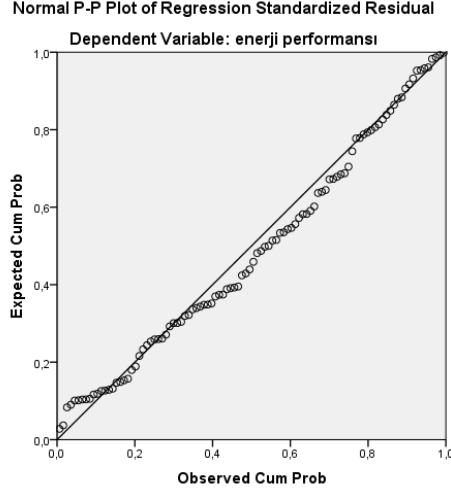
Regresyon Tahmin Eşitliği

Kamaşma = 22,061 – 7,868. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) + 1,461 (opal aygıt) – 1,642.(dolaylı-dolaysız aydınlatma) + 4,230. (dolaysız sarkıt aydınlatma) + 2,212 (yarı dolaysız aydınlatma)

Tablo 37. Hacim 1’de (18,75 m²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,800 ^a	,639	,636	,0906
2	,853 ^b	,728	,722	,0791
3	,891 ^c	,794	,787	,0692
4	,900 ^d	,810	,802	,0668
5	,908 ^e	,825	,816	,0644
6	,915 ^f	,837	,826	,0625

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	,911	,031		29,446	,000
Etkinlik faktörü	-,005	,000	-,875	-20,254	,000
Yüzeylerin yansıtma kat.	-,272	,038	-,298	-7,176	,000
Dolaylı-dolaysız	,072	,016	,205	4,586	,000
Dolaysız sarkıt	-,048	,015	-,141	-3,181	,002
mikroprizmatik	,060	,016	,189	3,887	,000
Opal	,039	,015	,126	2,605	,011

Regresyon Tahmin Eşitliği

Enerji Performansı= 0,911-0,005. (etkinlik faktörü)- 0,272. (yüzeylerin yansıtma katsayısı)+ 0,072.(dolaylı-dolaysız aydınlatma) -0,048. (dolaysız sarkıt aydınlatma) +0,060.(mikroprizmatik aygıt) +0,039.(opal aygıt).

Tablo 38. Hacim 1 için geliştirilen istatistiksel modeller ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Mekân Boyutu: 18,75m²												
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis												
Aygıt model	Aydınlık düzeyi ≥500lux			Düzensizlik ≥0,6 Uo			Kamaşma <19 UGR			Enerji W/lm/m ²		
	Dialux	Model	Fark (%)	Dialux	Model	Fark (%)	Dialux	Model	Fark (%)	W/lm/m ²	Model	Fark (%)
1	460	406,5	11	0,63	0,65	3	20,9	21,1	1	0,5	0,5	0
2	474	413,5	12	0,64	0,65	1,5	22,4	21,1	6	0,5	0,5	0
3	514	584	13	0,66	0,65	1,5	23,4	21,1	10	0,2	0,18	10
4	567	503,5	11	0,70	0,72	3	19,7	21	6	0,3	0,37	23
5	473	519	9	0,68	0,72	6	20,2	21	4	0,4	0,38	5
6	451	423	6	0,67	0,72	7	19,4	21	8	0,6	0,52	13
7	602	580	3	0,68	0,72	6	17,4	18,2	4	0,3	0,25	16
8	576	543	5	0,71	0,72	1	18,2	18,2	0	0,3	0,32	6
9	334	396	18	0,74	0,72	3	21,3	18,2	14	0,8	0,6	25
10	443	400	9	0,56	0,60	7	23,1	24	4	0,5	0,53	6
11	399	416	4	0,66	0,60	9	21,4	24	12	0,5	0,5	0
12	715	603	15	0,47	0,60	27	23,6	24	2	0,2	0,15	25
13	532	567	6	0,71	0,67	6	23,2	23,3	0	0,3	0,25	16
14	463	494	6	0,74	0,67	9	24,6	23,3	5	0,5	0,4	20
15	355	376	5	0,67	0,67	0	22	23,3	6	0,7	0,61	13
16	528	536	1	0,70	0,67	4	20,4	21,1	3	0,3	0,3	0
17	502	474	5	0,54	0,67	10	21,1	21,1	0	0,4	0,45	12
18	657	590	10	0,58	0,64	10	27,1	25,4	6	0,4	0,35	12
19	517	593	14	0,63	0,64	1,5	26,6	25,4	4	0,3	0,34	13
20	414	444	7	0,64	0,64	0	25,2	25,4	0,5	0,6	0,57	5
21	775	615	20	0,53	0,64	20	23,1	22,4	3	0,3	0,33	10
22	619	636	2	0,68	0,64	6	20,1	22,4	11	0,3	0,3	0
23	400	476	19	0,72	0,64	11	23,3	22,4	4	0,7	0,55	21
24	520	491	5	0,57	0,57	0	24,7	25,3	2	0,4	0,46	15
25	543	497	8	0,59	0,57	3	23,7	25,3	6	0,4	0,45	12
26	828	730,5	11	0,49	0,57	16	25	25,3	1	0,2	0,15	25
27	389	533	34	0,70	0,66	6	19,4	19,6	1	0,3	0,2	33
28	476	369	22	0,60	0,66	10	20,6	19,6	5	0,4	0,44	10
29	273	274	1	0,70	0,73	4	19,4	19,4	0	0,7	0,63	10
30	346	390	12	0,76	0,74	3	18,3	19,4	6	0,5	0,45	10
31	483	439	9	0,78	0,74	5	22	19,4	12	0,4	0,37	7
32	435	447	2	0,70	0,73	4	17	16,8	1	0,4	0,38	5
33	526	534	1	0,74	0,73	1	17,2	16,8	2	0,3	0,25	16
34	271	271	0	0,73	0,73	0	14	16,8	20	0,8	0,62	22

3.1.1.2. Hacim 2 (72,5 m²) İçin Geliştirilen İstatistiksel Modeller

Hacim 2’de (72,5 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model Tablo 39’da verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,726 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %73’ünü açıklamaktadır. R^2 ve R^2 d (düzeltilmiş R^2) değerlerinin çok yakın olması değişkenlerin matematiksel modele

anlamli katkı sağladığını ifade etmektedir. Katsayılar tablosu, regresyon denklemindeki değişkenleri alacağı katsayı ve sabit değerleri içermektedir. Burada diğer hacimlere göre modele giren değişken sayısı azalarak, modele sadece üç değişkenin anlamli katkı sağladığı görölmektedir. Buna göre yüzeylerin yansıtma katsayısı, etkinlik faktörü ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri aydınlık düzeyini anlamli şekilde tahminlemektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu üç değişken yer almaktadır. Burada yarı dolaysız aydınlatma ve dolaysız sarkıt aydınlatma biçimlerinin bu modele dâhil edilmediği görölmektedir. Bu noktada aydınlatma biçimi seçeneklerinden dolaylı-dolaysız seçeneğinin çıkartılarak sadece yarı dolaysız ve dolaysız sarkıt aydınlatma seçeneklerinin modele katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen anlamli model Tablo 40'da görölmektedir. Bu modelin yarı dolaysız ve dolaysız sarkıt aydınlatma biçimleri için kullanılabileceği önerilmektedir.

Hacim 2'de (72,5 m²) aydınlığın dağılımı (düzgünlük değeri [U_o]) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 41'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R²) 0,584 olduğu görölmektedir. R² değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %59'unu açıklamaktadır. Bu modelin belirlilik düzeyi düşük çıkmıştır. Katsayılar tablosuna bakıldığında ise diğer hacimlere oranla modele giren değişken sayısı artmaktadır. Dolaysız sarkıt ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri, yüzeylerin yansıtma katsayıları ile opal ve mikrop prizmatik yansıtıcı aygıtlar aydınlığın dağılımını tahmin edebilmektedir. Aynı hacimde, kamaşma değer (UGR) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 42'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R²) 0,796 olduğu görölmektedir. R² değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %80 ini açıklamaktadır. Kamaşma değerine ait katsayı tablosu incelendiğinde yüzeylerin yansıtma katsayısı, dolaysız sarkıt, yarı dolaysız ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri, opal ve mikrop prizmatik yansıtıcı aygıtların modele anlamli oranda dâhil edildiği görölmektedir.

Hacim 2'nin enerji performansı (W/(lm/m²) değer) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 43'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R²) 0,833 olduğu görölmektedir. R² değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %84'ünü açıklamaktadır. Katsayı tablosu incelendiğinde modele katılan değişken sayısı diğer hacimlere göre azalmaktadır. Burada, etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma katsayıları, dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimi enerji performansını anlamli şekilde tahminlemektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu üç değişken yer almaktadır. Burada modele girmeyen aydınlatma biçimleri için aydınlatma biçimi seçeneklerinden dolaylı-dolaysız seçeneğinin çıkartılarak sadece yarı dolaysız ve dolaysız sarkıt aydınlatma seçeneklerinin modele

katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen anlamlı model Tablo 44’de görülmektedir. Bu modelin sadece dolaysız sarkıt aydınlatma biçimleri için kullanılabileceği görülmektedir.

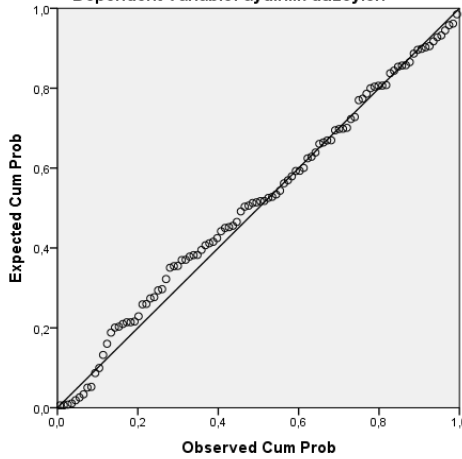
Tablo 39. Hacim 2’de (72,5 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaylı-dolaysız, dolaysız sarkıt), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: aydınlık düzeyleri



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,692 ^a	,479	,473	82,00974
2	,787 ^b	,619	,611	70,48874
3	,852 ^c	,726	,717	60,06927

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	61,547	27,445		2,243	,027
Etkinlik faktörü	2,996	,213	,762	14,084	,000
Yüzeylerin yansıtma katsayıları	257,721	36,422	,374	7,076	,000
Dolaylı-dolaysız	-88,748	14,336	-,335	-6,191	,000

Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Düzeyi = 61,547+ 2,99. (Etkinlik faktörü) + 257,721. (Yüzeylerin yansıtma katsayıları) -88,748. (dolaylı-dolaysız aydınlatma)

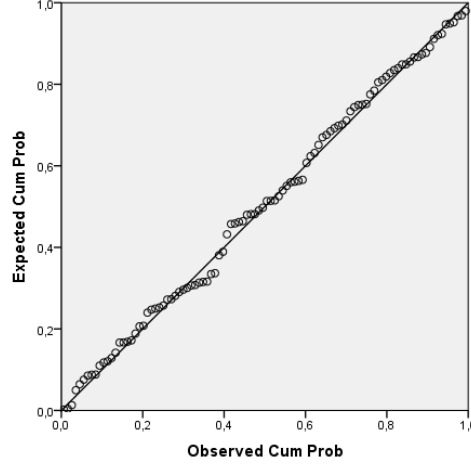
Tablo 40. Hacim 2’de (72,5 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: aydınlık düzeyleri



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,692 ^a	,479	,473	82,00974
2	,787 ^b	,619	,611	70,48874
3	,807 ^c	,652	,641	67,70552
4	,819 ^d	,670	,656	66,25038

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	26,853	31,966		,840	,403
Etkinlik faktörü	2,880	,233	,732	12,354	,000
Yüzeylerin yansıtma k.	257,721	40,170	,374	6,416	,000
Dolaysız sarkıt	59,574	16,013	,234	3,720	,000
Yarı dolaysız	38,080	16,460	,144	2,313	,023

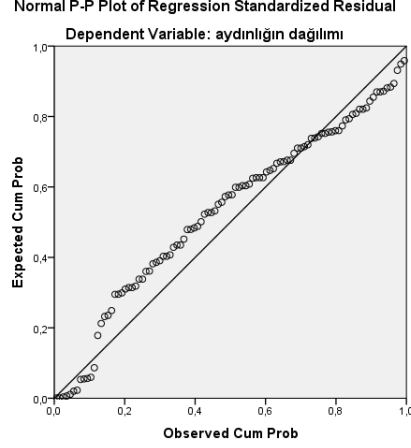
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Düzeyi = 26,853+ 2,880. (Etkinlik faktörü) + 257,721. (Yüzeylerin yansıtma katsayıları)+ 59,574. (Dolaysız sarkıt Aydınlatma) + 38,080(Yarı Dolaysız Aydınlatma).

Tablo 41. Hacim 2’de (72,5 m²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, yarı dolaylı, dolaysız sarkıt), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,461 ^a	,212	,205	,05417
2	,634 ^b	,402	,390	,04746
3	,697 ^c	,485	,470	,04424
4	,749 ^d	,561	,543	,04106
5	,764 ^e	,584	,562	,04018

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	,522	,015		35,937	,000
Dolaysız sarkıt	-,050	,010	-,362	-5,175	,000
Yüzeylerin ya. katsayıları	,161	,024	,435	6,609	,000
Opal	,047	,010	,374	4,880	,000
Dolaylı-dolaysız	,040	,010	,277	3,958	,000
Mikroprizmatik	,023	,010	,176	2,292	,024

Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Dağılımı = 0,522 + 0,161. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) + 0,047. (opal aygıt) + 0,023. (mikroprizmatik aygıt) + 0,040. (dolaylı-dolaysız aydınlatma) - 0,050. (dolaysız sarkıt aydınlatma)

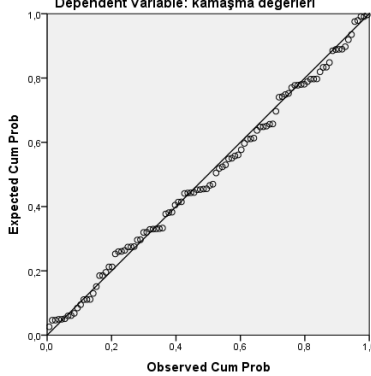
Tablo 42. Hacim 2’de (72,5 m²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, yarı dolaylı, dolaysız sarkıt), aygıt yansıtıcı türü (paletli, opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: kamaşma değerleri



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,528 ^a	,278	,271	2,8040
2	,709 ^b	,503	,493	2,3388
3	,796 ^c	,634	,623	2,0168
4	,867 ^d	,751	,741	1,6725
5	,880 ^e	,775	,763	1,5992
6	,892 ^f	,796	,783	1,5307

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	23,103	,591		39,093	,000
Dolaylı-dolaysız	-2,388	,430	-,310	-5,551	,000
Yüzeylerin ya.katsayıları	-9,485	,928	-,474	-10,220	,000
Dolaysız sarkıt	3,559	,417	,480	8,543	,000
Opal	1,711	,370	,250	4,627	,000
mikroprizmatik	-1,191	,379	-,170	-3,142	,002
Yarı dolaysız	1,346	,430	,175	3,129	,002

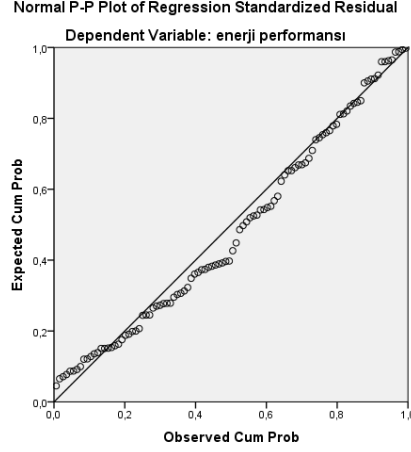
Regresyon Tahmin Eşitliği

Kamaşma = 23,103 – 9,485. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) -2,388.(dolaylı-dolaysız aydınlatma)- 1,191. (mikroprizmatik aydınlatma) + 1,711. (opal yansıtıcı) + 3,559 .(dolaysız sarkıt aydınlatma) + 1,346 .(yarı dolaysız aydınlatma).

Tablo 43. Hacim 2’de (72,5 m²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,867 ^a	,752	,750	,3324
2	,899 ^b	,808	,804	,2941
3	,913 ^c	,833	,828	,2757

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	4,038	,126		32,055	,000
Etkinlik faktörü	-,021	,001	-,901	-21,350	,000
Yüzeylerin yansıtma katsayıları	-,956	,167	-,236	-5,718	,000
Dolaylı-dolaysız	,252	,066	,162	3,827	,000

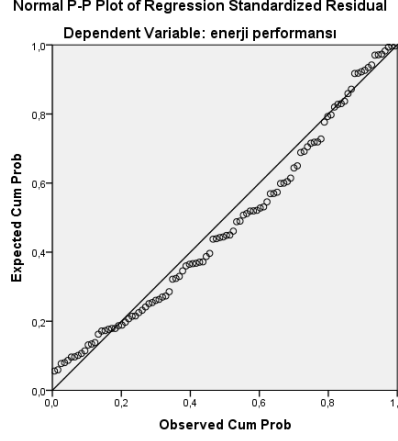
Regresyon Tahmin Eşitliği

Enerji Performansı = 4,038 -0,956. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) – 0,21. (Etkinlik faktörü) + 0,252. (dolaylı-dolaysız aydınlatma)

Tablo 44. Hacim 2’de (72,5 m²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (dolaysız sarkıt), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,867 ^a	,752	,750	,3324
2	,899 ^b	,808	,804	,2941
3	,904 ^c	,817	,811	,2890

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	4,092	,136		30,122	,000
Etkinlik faktörü	-,020	,001	-,882	-20,135	,000
Yüzeylerin yansıtma kat.	-,956	,175	-,236	-5,455	,000
Dolaysız sarkıt	-,140	,066	-,093	-2,128	,036

Regresyon Tahmin Eşitliği

Enerji Performansı = 4,092 - 0,956. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) – 0,20. (Etkinlik faktörü) - 0,140. (Dolaysız sarkıt aydınlatma)

3.1.1.3. Hacim 3 (168,75 m²) İçin Geliştirilen İstatiksel Modeller

Hacim 3’de (168,75 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model Tablo 45’de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,794 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %80’ini açıklamaktadır.

R^2 ve R^2_d (düzeltilmiş R^2) değerleri arasındaki farkın büyük olmaması değişkenlerin matematiksel modele anlamlı katkı sağladığını ifade etmektedir. Tabloya göre bağımlı değişkeni tahmin eden altı adet bağımsız değişken bulunmaktadır. Burada constant (B_0) denklemdeki sabit değerdir. $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ ise bağımsız değişkenlerin katsayılarıdır. Buna göre yüzeylerin yansıtma katsayısı, etkinlik faktörü, dolaysız sarkıt aydınlatma biçimi, yarı dolaysız ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri ve opal yansıtıcı aygıtlar aydınlık düzeyini anlamlı şekilde tahminlemektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu altı değişken yer almaktadır.

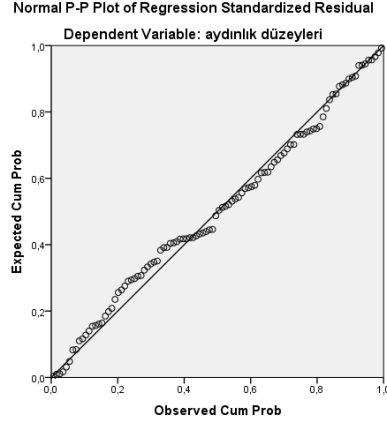
Hacim 3'de ($168,75 \text{ m}^2$) aydınlığın dağılımı (düzgünlük değeri [U_0]) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 46'da verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,348 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %35'ini açıklamaktadır. Bu modelin belirlilik düzeyi oldukça düşük çıkmıştır. Katsayılar tablosuna bakıldığında yüzeylerin yansıtma katsayısı, dolaysız sarkıt aydınlatma ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri ile opal yansıtıcı aygıtlar aydınlığın dağılımını düşük bir oranda tahmin edebilmektedir. Aynı hacimde, kamaşma değeri (UGR) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 47'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,768 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %77'sini açıklamaktadır. Kamaşma değerine ait katsayı tablosu incelendiğinde yüzeylerin yansıtma katsayısı, dolaysız sarkıt ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimleri, opal ve mikroprizmatik yansıtıcı aygıtların modele anlamlı oranda dâhil edildiği görülmektedir.

Hacim 3'de ($168,75 \text{ m}^2$) enerji performansı ($W/(lm/m^2)$ değeri) için geliştirilen istatistiksel model Tablo 48'de verilmiştir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,884 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %89'unu açıklamaktadır. Katsayı tablosu incelendiğinde etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma katsayıları, dolaylı-dolaysız ve yarı dolaysız aydınlatma biçimleri ile mikroprizmatik yansıtıcı aygıt enerji performansını anlamlı şekilde tahminlemektedir ve tahmin eşitliğinin içinde bu beş değişken yer almaktadır. Burada dolaysız sarkıt aydınlatma biçiminin bu modele dâhil edilmediği görülmektedir. Bu noktada aydınlatma biçimi seçeneklerinden sadece dolaysız sarkıt seçeneğinin modele katıldığı bir analiz daha gerçekleştirilmiştir. Elde edilen anlamlı model Tablo 49'da görülmektedir.

Tablo 45. Hacim 3’de (168,75 m²) aydınlık düzeyi için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,555 ^a	,308	,301	95,42677
2	,781 ^b	,610	,602	71,99416
3	,871 ^c	,758	,751	56,98508
4	,887 ^d	,786	,777	53,87016
5	,893 ^e	,797	,786	52,75597
6	,898 ^f	,806	,794	51,84741

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant) (B ₀)	66,854	26,136		2,558	,012
Etkinlik faktörü	2,658	,187	,669	14,252	,000
Yüzeylerin yan. katsayıları	382,279	31,437	,550	12,160	,000
Dolaylı-dolaysız	-106,068	14,722	-,396	-7,205	,000
Dolaysız sarkıt	32,367	14,164	,126	2,285	,025
Opal	25,764	10,876	,108	2,369	,020
Yarı dolaysız	-30,504	14,552	-,114	-2,096	,039

Katsayılar Tablosu

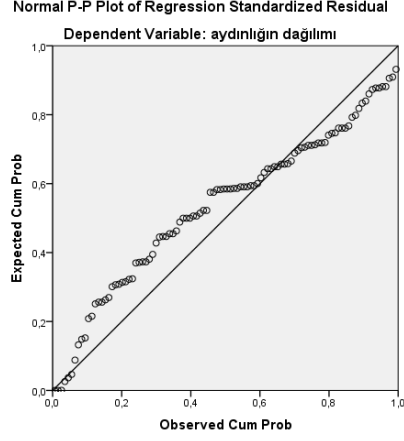
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Düzeyi = 66,854 + 2,658. (etkinlik faktörü) + 382,279. (yüzeylerin yansıtma katsayısı) + 32,367. (Dolaysız sarkıt aygıt) + 25,764. (opal yansıtıcı aygıt) – 30,504. (yarı dolaysız aydınlatma) – 106,068. (dolaylı-dolaysız aydınlatma)

Tablo 46. Hacim 3’de (168,75 m²) aydınlık dağılımı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,436 ^a	,190	,182	,06320
2	,502 ^b	,252	,237	,06104
3	,556 ^c	,309	,288	,05896
4	,590 ^d	,348	,321	,05759

Geliştirilen Regresyon Modelleri

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	,575	,020		29,207	,000
Dolaysız sarkıt	-,055	,014	-,348	-4,004	,000
Yüzeylerin yansıtma katsayıları	,106	,035	,249	3,032	,003
Dolaylı-dolaysız	,041	,014	,250	2,870	,005
Opal	,029	,012	,197	2,396	,018

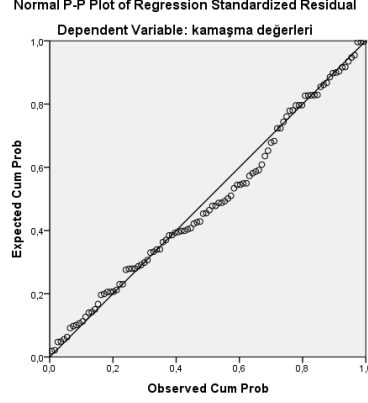
Regresyon Tahmin Eşitliği

Aydınlık Dağılımı = 0,575 + 0,106. (yüzeylerin yansıtma katsayısı) + 0,41.(dolaylı-dolaysız aydınlatma) + 0,29. (opal aygıt)- 0,55.(dolaysız sarkıt aydınlatma)

Tablo 47. Hacim 3’de (168,75 m²) kamaşma için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,527 ^a	,278	,271	2,9345
2	,711 ^b	,505	,495	2,4409
3	,799 ^c	,639	,628	2,0968
4	,869 ^d	,755	,745	1,7358
5	,877 ^e	,768	,756	1,6957

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	25,085	,612		40,960	,000
Dolaysız sarkıt	3,163	,404	,408	7,833	,000
Yüzeylerin yan. katsayıları	-9,986	1,028	-,477	-9,712	,000
Dolaylı-dolaysız	-3,084	,422	-,383	-7,314	,000
Opal	1,941	,410	,271	4,740	,000
Mikroprizmatik	-,995	,419	-,136	-2,375	,020

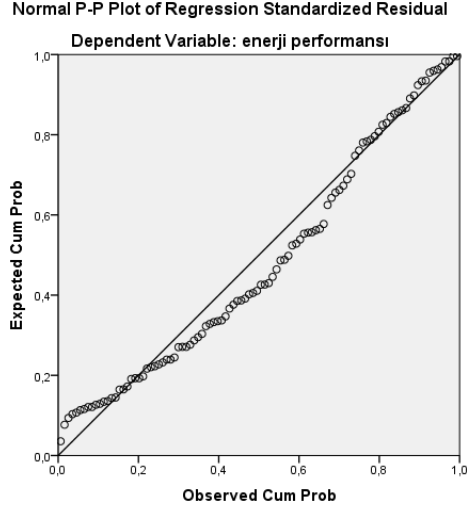
Regresyon Tahmin Eşitliği

Kamaşma=25,085 -9,986. (yüzeylerin yansıtma katsayıları) -3,084.(dolaylı-dolaysız aydınlatma) -0,995. (mikroprizmatik aygıt) +3,163. (dolaysız sarkıt aydınlatma) + 1,941.(opal aydınlatma)

Tablo 48. Hacim 3’de (168,75 m²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (yarı dolaysız, dolaysız sarkıt, dolaylı-dolaysız), aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,835 ^a	,696	,693	,53452
2	,905 ^b	,820	,816	,41389
3	,930 ^c	,865	,861	,35992
4	,937 ^d	,877	,872	,34490
5	,940 ^e	,884	,878	,33669

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	6,239	,156		40,122	,000
Etkinlik faktörü	-,030	,001	-,897	-24,986	,000
Yüzeylerin yansıtma katsayıları	-2,066	,204	-,351	-10,121	,000
Dolaylı-dolaysız	,575	,084	,254	6,808	,000
Yarı dolaysız	,280	,083	,123	3,373	,001
Mikroprizmatik	,174	,072	,085	2,405	,018

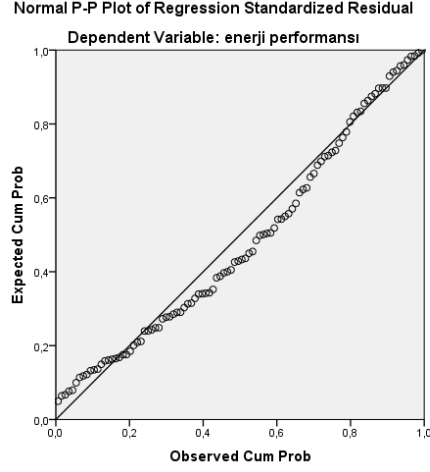
Regresyon Tahmin Eşitliği

Enerji Performansı = 6,239 – ,030. (Etkinlik faktörü) – 2,066. (Yüzeylerin yansıtma katsayıları) + 0,575. (dolaylı-dolaysız aydınlatma) + 0,280. (yarı dolaysız aydınlatma) + 0,174. (mikroprizmatik aygıt)

Tablo 49. Hacim 3’de (168,75 m²) enerji performansı için geliştirilen istatistiksel model 2

Eşitliğe Alınan Değişkenler: Etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma çarpanları, aydınlatma biçimi (dolaysız sarkıt) , aygıt yansıtıcı türü (opal, mikroprizmatik).

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,835 ^a	,696	,693	,5345
2	,905 ^b	,820	,816	,4139
3	,916 ^c	,840	,835	,3923
4	,920 ^d	,847	,841	,3851

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	6,439	,181		35,551	,000
Etkinlik faktörü	-,029	,001	-,870	-21,398	,000
Yüzeylerin yansıtma kat.	-2,066	,234	-,351	-8,849	,000
Dolaysız sarkıt	-,318	,088	-,146	-3,632	,000
Mikroprizmatik	,179	,083	,087	2,173	,032

Regresyon Tahmin Eşitliği

Enerji Performansı = 6,439 – ,029. (Etkinlik faktörü) – 2,066. (Yüzeylerin yansıtma katsayıları) – 0,318. (Dolaysız Sarkıt Aydınlatma) + 0,179. (Mikroprizmatik aygıt)

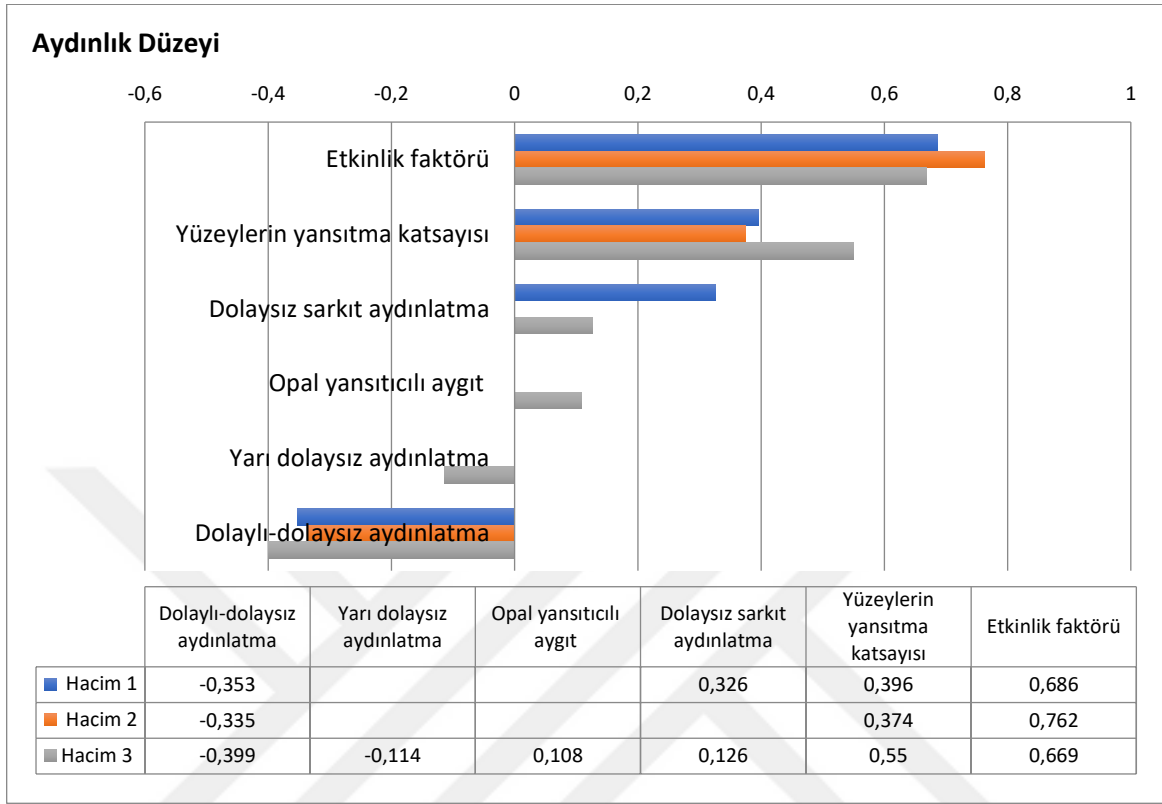
3.1.2. Yapay Aydınlatma Sisteminde Regresyon Analiz Değerlendirmeleri

Regresyon analizleri sonuçlarında Hacim 1, Hacim 2 ve Hacim 3 için elde edilen istatistiksel modeller karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapay Aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor açısından aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ile kamaşma ve enerji performans değerleri üzerindeki etkilerinin üç hacim üzerinden karşılaştırmalı değerlendirilmesi için regresyon analizlerinde katsayılar tablosundan elde edilen göreceli önem düzeylerine (beta) bağlı olarak Tablo 50, 51, 52 ve 53’ de yer alan grafikler oluşturulmuştur.

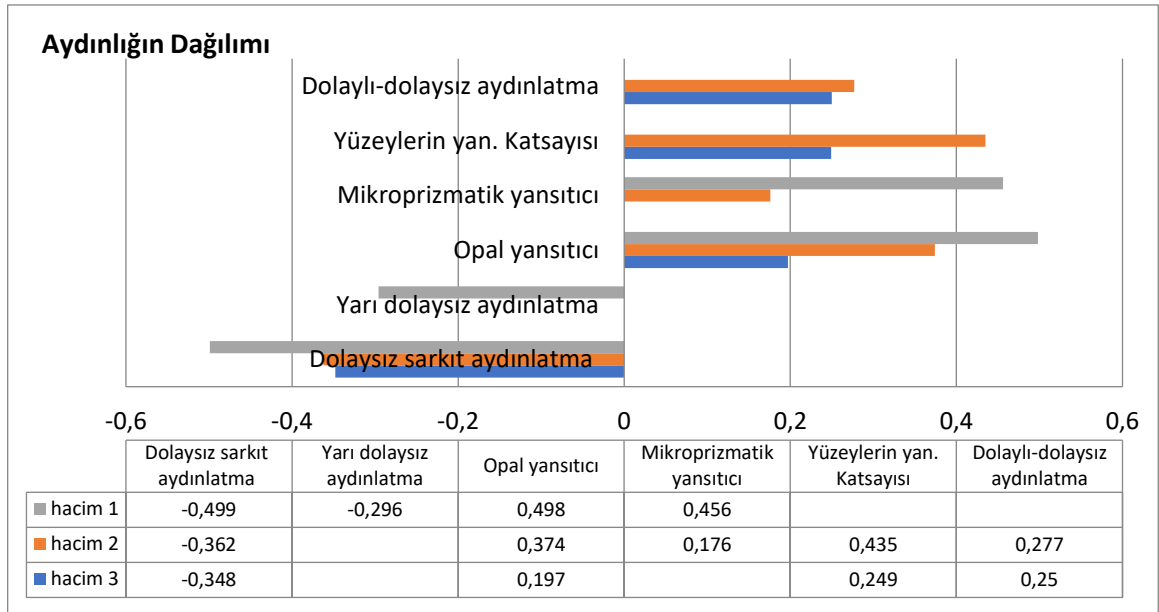
Çalışmada geliştirilen yapay aydınlatma değişkenleri, aydınlık düzeyindeki etkileri üzerinden incelendiğinde, etkinlik faktöründeki artışın her üç boyutlu hacim için de aydınlık düzeyinde önemli derecede artışa sebep olduğu görülmektedir. İkinci önem düzeyi açısından yüzeylerin yansıtma katsayısındaki artışın her üç hacim için de aydınlık düzeyinde etkili olduğu ifade edilmektedir. Aydınlık düzeyini artırıcı etkisi açısından Hacim 1 ve Hacim 3’te dolaysız sarkıt aydınlatma biçiminin üçüncü derecede etkiye sahip olduğu görülmektedir. Diğer iki hacimden farklı olarak Hacim 1 (168,75 m²)’deki opal yansıtıcı aygıtların kullanımının aydınlık düzeyinde düşük oranda pozitif etki sağladığı görülmektedir. Bütün hacimler için dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimi aydınlık düzeyinde önemli ölçüde azalma etkisi sağlamaktadır. Ayrıca Hacim 1’de yarı dolaysız aydınlatma biçiminin de düşük oranda aydınlık düzeyini negatif etkilediği görülmektedir (Tablo 50).

Geliştirilen yapay aydınlatma değişkenleri, aydınlığın dağılımı (düzgünlük değeri) üzerindeki etkileri açısından incelendiğinde Hacim 1, 2 ve 3 için ortak olarak etki eden değişkenin opal yansıtıcı aygıt değişkeni olduğu görülmektedir. Bu özellikteki aygıtın aydınlığın düzgün dağılımı konusunda önemli derecede pozitif etki sağladığı görülmektedir. Mikroprizmatik yansıtıcı aygıtların da Hacim 1 ve 2’de düzgünlük değerini artırıcı etki sağladığı görülmektedir. Hacim 2 ve 3 için yüzeylerin yansıtma katsayısı ve dolaylı-dolaysız aydınlatma değişkenlerinin aydınlığın dağılımı konusunda büyük oranda pozitif etkiye sahip oldukları belirlenmiştir. Dolaysız sarkıt aydınlatma özelliğindeki bir aygıtın, Hacim 1, 2 ve 3 için aydınlığın düzgün dağılımı üzerinde negatif etkisinin olduğu saptanmıştır. Bunların dışında Tablo 51’de, yarı dolaysız aydınlatma değişkeninin Hacim 1 için aydınlığın düzgün dağılımı açısından negatif bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 50. Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin aydınlık düzeyi üzerindeki etkileri



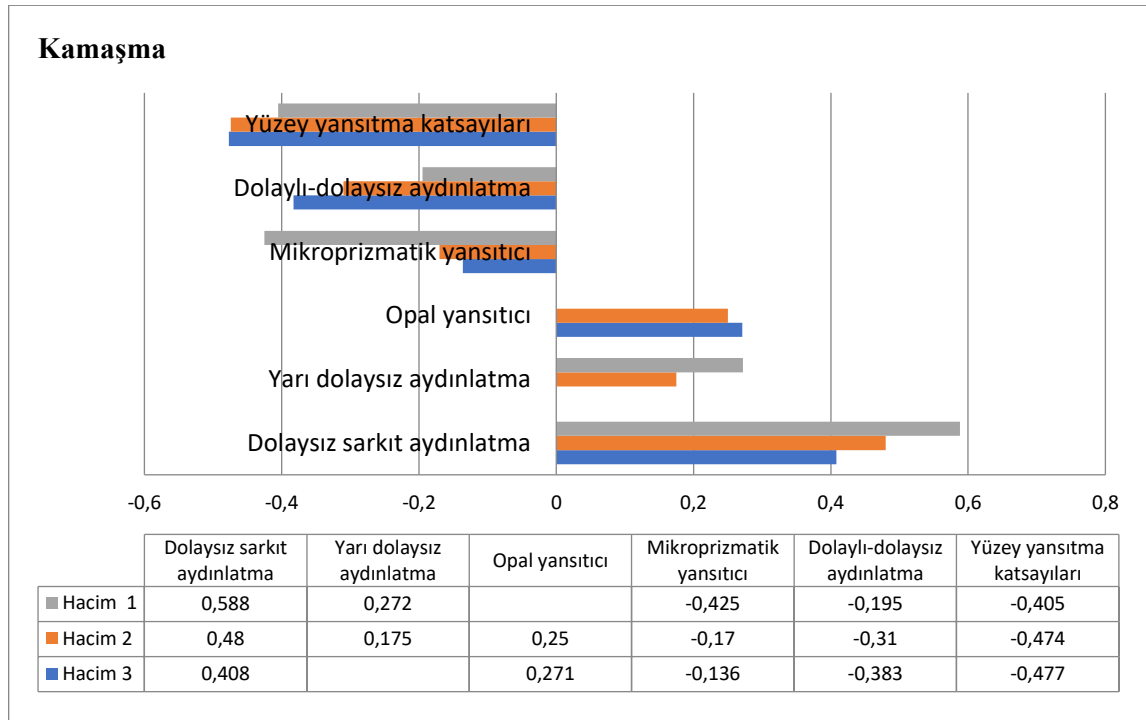
Tablo 51. Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin aydınlık dağılımı üzerindeki etkileri



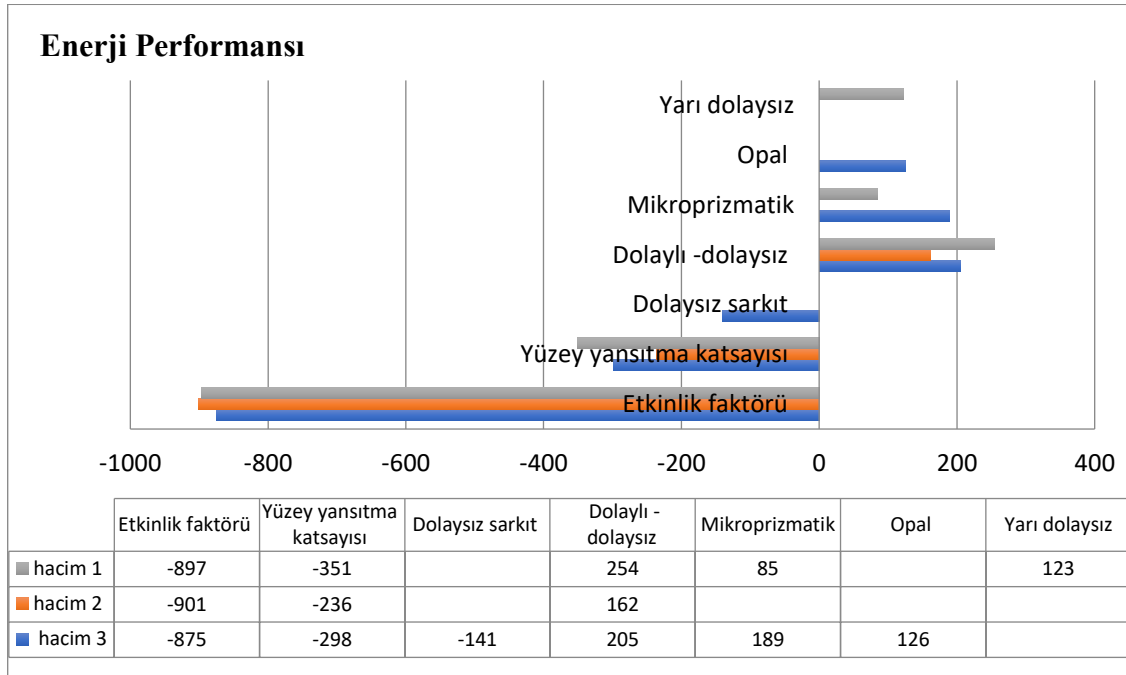
Kamaşma değerleri ile yapay aydınlatma değişkenleri arasındaki ilişki Tablo 52’de oluşturulan grafikte verilmektedir. Bu değişkenlerin kamaşma üzerindeki etkisi açısından göreceli önem düzeyleri incelendiğinde; yüzey yansıtma katsayılarındaki değişimin her üç hacim için de çok büyük oranda etkiye neden olduğu görülmektedir. Mikroprizmatik yansıtıcı aygıtların Hacim 1 için büyük oranda diğer hacimler için daha küçük oranda pozitif etki sağladığı görülmektedir. Dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimi Hacim 3 için yüksek oranda diğer hacimler için daha düşük oranda olumlu etki sağlamaktadır. Dolaysız sarkıt aydınlatma biçimi ise kamaşma değerini her üç hacim için de önemli derecede olumsuz etkilemektedir. Yarı dolaysız aydınlatma biçimi Hacim 1 ve 2 için kamaşma değerlerini yükseltici etki sağlayarak mekanda kamaşmanın artmasına sebep olmaktadır. Bunların dışında opal yansıtıcı aygıtların Hacim 2 ve 3 için kamaşma değerini olumsuz etkilediği görülmektedir.

Tasarım parametrelerinin enerji performansı üzerindeki etkileri, oluşturulan grafik üzerinden incelendiğinde, Hacim 1, Hacim 2 ve Hacim 3 için etkinlik faktörü değerindeki artışın enerji tüketimini önemli derecede azalttığı görülmektedir. Bu noktada lümen/watt eşitliğini veren etkinlik faktörü değeri, düşük watt gücü ile yüksek aydınlık düzeyi sağlayabilen ışık kaynaklarını tanımlamaktadır. Yapay aydınlatma değişkenleri dikkate alındığında, LED ışık kaynaklarının daha yüksek etkinlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Her üç hacim için de yüzey yansıtma katsayısındaki artış enerji tüketimini azaltmaktadır. Hacim 3’te dolaysız sarkıt aydınlatma biçiminin düşük oranda enerji tüketimini azalttığı görülmektedir. Yarı dolaysız ve dolaylı-dolaysız aydınlatma biçimlerine sahip senaryoların enerji tüketimini arttırdığı görülmektedir. Aydınlık düzeyi değerlerini de negatif etkileyen bu aydınlatma biçimlerinde, optimum aydınlık düzeyini elde etmek için enerji ihtiyacının artacağı sonucu çıkarılabilmektedir. Bunların dışında Hacim 3’te mikroprizmatik ve opal yansıtıcı aygıtların enerji tüketimini düşük oranda arttırdığı görülmektedir (Tablo 53).

Tablo 52. Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin kamaşma üzerindeki etkileri



Tablo 53. Elde edilen modellere ait yapay aydınlatama tasarım parametrelerinin enerji performansı üzerindeki etkileri

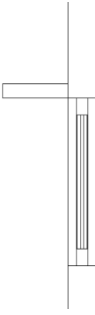
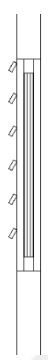
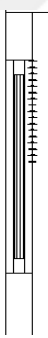
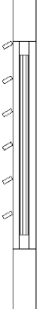


3.2. Ofis Hacimleri İçin Doğal Aydınlatma Sisteminin Değerlendirilmesi

Bölüm 3.1.4’de doğal aydınlatma değişkenlerinin tanıtıldığı başlıkta, belirtilen dış yatay gölgeleme elemanları ve iç gölgeleme elemanları ile toplam yedi farklı gölgeleme elemanı senaryosu oluşturulmuştur. Burada öncelikle, yaz aylarını temsilen belirlenen orta ve açık gök koşullarının geçerli olduğu hesap tarih ve saatlerde (15 Haziran saat:08.00, 12.00 ve 16:00) belirlenen yedi gölgeleme elemanı için ölçümler yapılmıştır. Güney cephesi için yapılan ölçümler sonucunda, Tablo 54’de gösterilen minimum ve hedef aydınlığı sağlama oranları için en iyi sonuçları sunan iki gölgeleme elemanı senaryosu belirlenmiştir. Bu senaryolar ile birlikte; gölgeleme elemanı mevcut değil, gölgeleme elemanı yatay dış saçak, ve iç jaluzi (%50 oranında açık) olmak üzere üç durum için yıllık hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen veriler regresyon analizleri ile oluşturulan modellere dâhil edilmiştir. Bütün değişkenleri toplu bir modelde görmek adına, gölgeleme elemanlı senaryolara kuzey cephesi de eklenmiştir.

Gölgeleme elemanlarında belirtilen düzenleme, mekânsal değişkenler (hacim boyutları, yüzeylerin yansıtma çarpanları) ve doğal aydınlatmaya ait değişkenler (pencere biçim ve yerleştirme, camın ışık geçirgenliği, yönlenme ve güneş kontrol elemanı) ile oluşan farklı senaryolarla birlikte toplam 324 veri elde edilmiştir. Bu senaryolardan ofis yapısında yeterli günışığı sağlanması hedefi ile ortaya çıkan veriler Tablo 55’de gösterilmiştir

Tablo 54. Yaz aylarını temsilen yapılan ölçüm sonuçlarına göre seçilen gölgeleme elemanları

	Gölgeleme Elemanları	MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI	HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI		Gölgeleme Elemanları	MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI	HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI
		H1: %41,6 H2: %61,8 H3: %97	%11,1 %15,5 %31,5	5		H1: %32,8 H2: %45,1 H3: %86,6	% 8,5 %11,5 %22,5
2		H1: %38,1 H2: %53 H3: %91	%10,3 %14 %27	6		H1: %39,6 H2: %58,1 H3: %93,3	%9,3 %12,8 %25
3		H1: %34,6 H2: %48,5 H3: %86,6	% 8,8 %12 % 23,5	7		H1: %29,1 H2: %40,1 H3: %81,1	%7,1 %9,1 %20,3
4		H1: %33,3 H2: %45,6 H3: %85,3	% 8,6 %11,6 % 23				

Tablo 55. Günüşiği aydınlığı simülasyon hesap sonuçları

Mekân Boyutu: 168,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	YÜZEY YANSITMA KATSAYISI	MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI	HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI
TEK PARÇA(240x180)	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	24	6
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	20,5	5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	16	4,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	17	5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	16,5	4,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	15	4
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	16,5	5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	18	5,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	18	6
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	20	7
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	21	6
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	18,5	5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	23	7
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	20,5	6,3
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	26,5	7
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	24,5	6
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	28,5	8
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	27	7
İKİ PARÇA (120x180)	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	12,5	2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	13,5	3
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	14,7	4
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	14	3
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	16	5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	15	4
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	14,5	3
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	13,3	2
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	15	3,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	17	4,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	16,5	4,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	18,5	5,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	19,5	4
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	16	2,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	22	5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	19	4
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	20,5	4,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	19,5	4,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 168,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
YATAY (360x120)	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	12,7	3
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	11,7	2,5
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	14	4,7
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	12	3
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	15	5
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	14	4
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	14	3,6
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	12,5	2,5
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	16	4,8
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	14	3,8
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	17,8	5,3
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	15,5	4,5
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	19,7	4
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	16	3
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	21,8	5,5
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	18,5	4,5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	22,5	6
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	20,5	5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	18,5	3,3
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	16,5	2,3
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	13,5	2
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	15	2,7
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	13,5	2,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	13	1,9
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	14,2	2,75
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	15	3,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	15,25	3,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	16,8	4,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	17,8	4
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	15,5	2,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	19,5	5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	17	3,7
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	22,8	4,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	20	4
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	25	5,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	22,5	4,2

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 168,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	9	0,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	10,5	1,3
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	13,25	2
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	12,25	1
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	13,75	2,3
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	12	1,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	12	1,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	10,5	0,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	12,5	1
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	14	2
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	14	2
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	16	2,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	16	1,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	13,5	0,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	17	2,2
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	16	1,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	18,5	3,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	17,3	2,2
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	10,5	1,5
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	10	0,5
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	11,5	2
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	10,7	1
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	12,5	3
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	11,3	2,3
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	11	2
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	10	0,5
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	12,5	2
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	11,5	1,5
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	14	3
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	12,5	2,5
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	13,5	2
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	11,5	1
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	15,5	3
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	14	2
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	16,5	3,5
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	15	2,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 168,75 m²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı	Hedef aydınlığı sağlama oranı
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	20	3,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 2	0,70	16,75	1,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	9,5	1
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 2	0,50	13	1,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 2	0,30	11	1,2
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 2	0,30	9,5	0,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	10,75	1
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	12,5	2
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	12	1,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	14,5	2,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	15,3	2,2
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	13	1
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	16,3	3
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	14	2
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	22	3,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	16,5	2
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	19,75	4,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	18	2
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	7,5	0,2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	9	1
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	10	1
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	9	0,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	10,5	1,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	9,5	1
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	10	1
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	8	0,3
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	9,5	0,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	11	1,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	10,5	1,25
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	12,5	2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	14	1
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	9,25	0,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	15,5	1,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	12	1
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	18	2,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	14,5	1

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	YÜZEY YANSITMA KATSAYISI	MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI	HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	34	8
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	29	6,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	23	5,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	25	7,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	23	6,2
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	21	5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	23,5	6,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	25	7,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	25	8
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	27	9
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	29	8
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	25	7
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	31	9,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	28	8
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	37	9
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	31,5	7,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	39	11
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	36	9,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	17,5	2,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	19	4
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	20,6	5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	19	4
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	23	6,2
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	21	5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	20,5	4,2
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	19	3
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	21	4,2
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	22,5	5,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	23	5,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	25	7
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	26	5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	22	3,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	29,5	7
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	24,5	5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	28	6,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	26	5,3

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
pençere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	18	4,5
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	16,8	3,8
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	20,5	6
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	18	4,5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	20,5	6,2
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	19	5,2
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	19	5
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	18	4
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	21	6
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	19,5	5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	23	7
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	21	5,5
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	25	5,5
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	21	4
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	27,5	7
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	24	5,5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	31	8
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	26	7
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	26,5	4,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	23,5	3
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	19,8	2,8
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	21,5	3
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	20	4
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	19	2,6
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	21	2,75
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	22,5	5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	23,25	4,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,30	25	6
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	26	5,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	23	3,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	29	6,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,50	25	4,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	33,5	6,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	29	5,2
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	37	7,2
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.	0,70	32,5	5,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleştirilen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	14,5	0,7
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	15,5	2
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	19	2,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	18	1,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	20,3	3,3
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	17,8	2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	18	2
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	16	1
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	18,5	2
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	21	2,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	20,75	2,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	23,5	3,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	23	2
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	20,5	1
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	25	3
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	24	2
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	27	4,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	25,2	3
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	15,5	1,5
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	14,5	1
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	17,5	2,5
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	16	1,5
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	18,5	3,5
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	17	2,5
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	16,5	2,2
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	15	1
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	19	2,5
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	17	2
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	20,5	4
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	18,5	3
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	20	3
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	17,5	2,5
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	24	3,5
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	21,5	3
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	24,5	4,5
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	23	3,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yüzey yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı	Hedef aydınlığı sağlama oranı
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	28	4
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	23,5	2
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	14	1,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	19	2
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	16	1,7
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	14	1
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	17,5	1,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	19	3
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	17	2
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	22	3,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	22,3	3
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	19	2
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	23,5	3,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	21	2,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	30,5	4,2
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	23,5	2
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	27,5	5,3
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	26	3,2
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	11	0,3
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	13,5	1,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	15,5	1,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	13,5	0,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	15,5	2
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	14,5	1
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	15	1,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	12,5	0,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	14	0,75
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	16,5	2
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	15,5	1,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	18	2,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	20,5	1,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	14	0,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	23	2
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	17,5	1
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	26	2,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	22,5	1,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	YÜZEY YANSITMA KATSAYISI	MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI	HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	59	15,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	58	13
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	49,5	12
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	54	14
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	48	13
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	44	11
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	49	14
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	52	16
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	53	17
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	56	19
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	56	17
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	54	15
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	60	20
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	58	17,5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	64	18,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	64	16
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	69	23
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	68,5	19,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	36,5	6
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	38,5	8
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	42,7	11
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	39,5	8,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	47,8	13
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	45	10
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	43,5	9
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	38,5	7
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	44	9
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	50	11,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	48	116
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	53,5	14
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	50	10
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	47,5	7
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	54,5	13
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	53	10
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	58	13
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	56	10,7

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	35,5	9,3
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,30	33,5	8
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	39,5	12
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,30	35,5	9,5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,30	41	12
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,30	38	10,5
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	38,5	9,5
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,50	35	8
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	43	11,6
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,50	38	9,5
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,50	47,5	13,5
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,50	42	11,5
YATAY	0,65	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	47	10,6
YATAY	0,65	KUZEY	Mevcut değil	0,70	41,5	8
YATAY	0,78	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	49,5	13,5
YATAY	0,78	KUZEY	Mevcut değil	0,70	47	11
YATAY	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	54	15,5
YATAY	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	52,5	13
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	55	10,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	51,5	8,3
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	43,5	6,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	47	8,5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	42,5	8,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	40	6,5
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	44,5	9
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	48	11,2
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	48	9,3
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	51,8	13
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	54	11,8
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	50	8
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	58	14,2
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	55	11
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	59,5	13
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	58	9,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	64,5	15
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	63	12,5

Tablo 55'in devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı %	Hedef aydınlığı sağlama oranı %
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	29,5	1,75
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	32,5	4
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	39	5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	36,5	3
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	42	3,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	37	4,2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	37	4
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	32	2,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	37,7	4
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	43	5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	43	5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	48,5	7,5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	48	4
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	41	2
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	51	6
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	48	4
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	54,5	9,5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	52	6
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	31	3
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	29,5	1,5
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	35,5	5
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	33	3
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	37,5	7
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,30	34,5	5
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	33	4,5
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	30,5	2
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	38,5	5
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	35	4,5
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	41,5	8
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,50	37	6
YATAY	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	41	5,5
YATAY	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	35	2,5
YATAY	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	46	6
YATAY	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	42	6
YATAY	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	49	9
YATAY	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR. 1	0,70	46	6,5

Tablo 55'in devamı

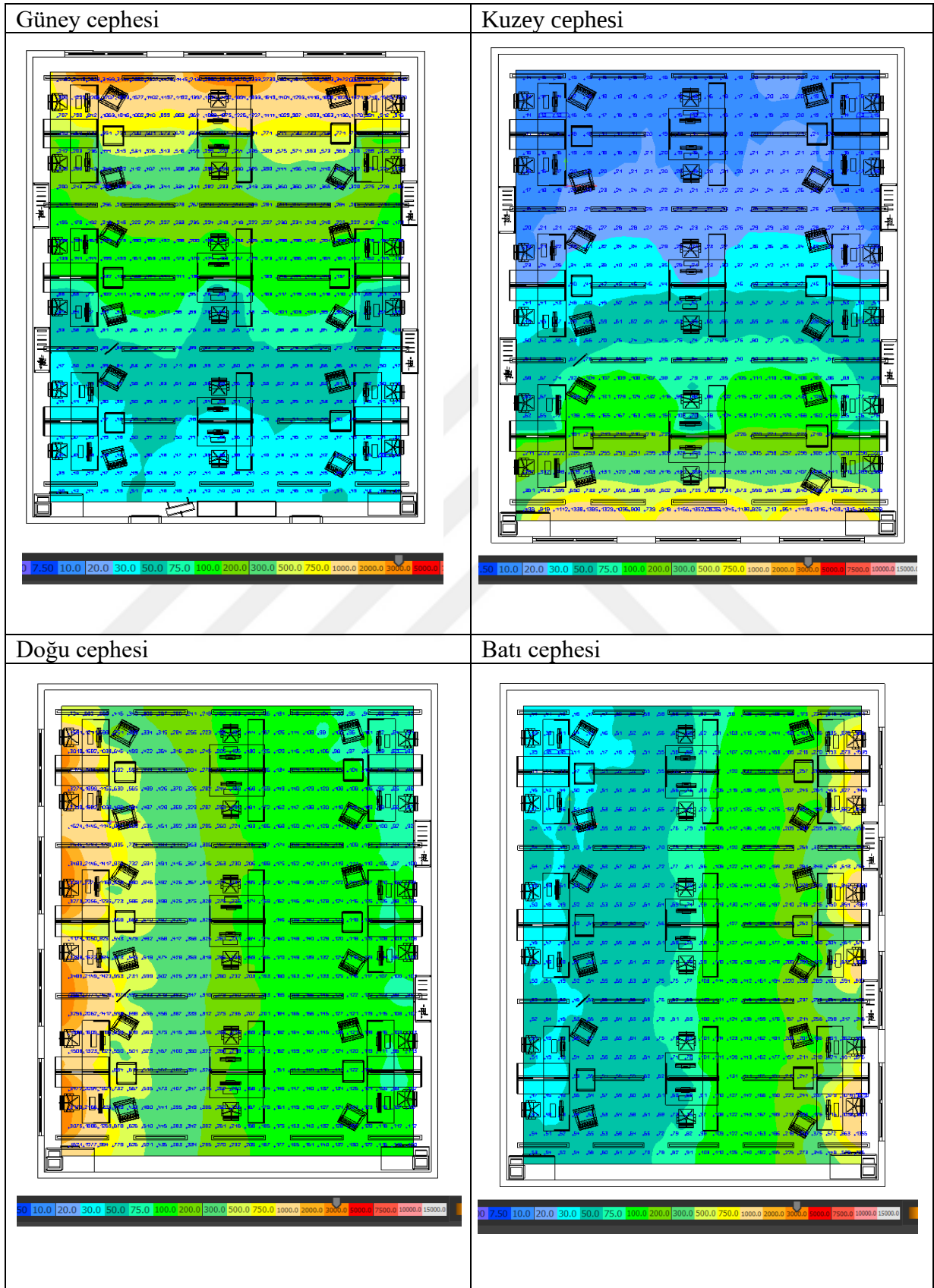
Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
						
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ						
Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yüzey yansıtma katsayısı	Minimum aydınlığı sağlama oranı	Hedef aydınlığı sağlama oranı
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	53,5	8,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	50	4,5
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	30	3
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	40	5
TEK PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	34	4
TEK PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	29	2
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	34,5	3
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	39	6
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	37	4,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	44	7
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	47	6
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	38	4
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	51	9,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	45	5
TEK PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	53,5	8
TEK PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	50	4,5
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	56	11,5
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	54	6
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	22	1
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	27	2,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	30	2,5
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	27	1
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	32	4
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,30	28,5	2
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	30	2,5
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	25	1
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	28	1,5
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	33	4
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	31	3
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,50	37	5
İKİ PARÇA	0,65	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	41	3
İKİ PARÇA	0,65	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	28	1
İKİ PARÇA	0,78	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	46	4
İKİ PARÇA	0,78	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	35	2,5
İKİ PARÇA	0,90	GÜNEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	51	5
İKİ PARÇA	0,90	KUZEY	GÜNEŞ KONTR.2	0,70	45	3

Mart aylarının kış ile bahar dönemlerini temsilen gök modellerinin kapalı gök durumu olarak belirlenmesinin bu durumda etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca hacim derinliklerinin 2 ve 3 katına çıktığı Hacim 2 ve Hacim 3’de gün ışığı etkinliklerinin oldukça azaldığı görülmektedir. Hacim alanının 2 katına çıktığı durumda minimum aydınlığı sağlama oranı %50 oranında azalırken, hacim alanının 3 katına çıktığı durum olan Hacim 3’de minimum aydınlığı sağlama oranı Hacim 1’e göre yaklaşık %60 azalmaktadır. Bu durumda gün ışığı etkinliğinin ne oranda değişebileceğini görmek adına, Hacim 3 örneğinde mekân derinlik etkisini azaltmak için açıklıkları batı ve doğu cephelerinde oluşturularak ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde cephelerinde en olumlu sonuçları veren pencere biçimi, cam geçirgenliği, gölgeleme elemanı ve yüzeye yansıtma katsayı seçenekleri doğrultusunda doğu ve batı cephelerinde oluşturulan açıklıklar ile yıllık günışığı ölçümleri yapılmıştır (Tablo 56). Açıklıkların doğu ve batı cephesine alındığı durumlarda mekân derinliği %35 oranında azalmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda doğu cephesinde güney cephesine oranla minimum aydınlığı sağlama oranı %84 artmıştır. Batı cephesinde bu orandaki artış %42 olarak hesaplanmıştır. Hacim 3 için gerçekleştirilen farklı cephe açıklıkları ve mekânda sağladıkları günışığı dağılımları Tablo 57’de verilmektedir (Ölçümler 15 Haziran saat 12.00’de orta gökyüzü için yapılmıştır.).

Tablo 56. Hacim 3 için doğu ve batı cephelerinde oluşturulan açıklıklar için yapılan ölçümler

DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ					Minimum aydınlığı sağlama oranı	Hedef aydınlığı sağlama oranı
Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	Yüzey yansıtma katsayı ort.		
TEK PARÇA	0,90	GÜNEY	Mevcut değil	0,70	28,5	8
TEK PARÇA	0,90	KUZEY	Mevcut değil	0,70	27	7
TEK PARÇA	0,90	DOĞU	Mevcut değil	0,70	52,5	14
TEK PARÇA	0,90	BATI	Mevcut değil	0,70	40,5	13

Tablo 57. Hacim 3 için gerçekleştirilen farklı cephe açıklıkları ve mekânda sağladıkları günışığı dağılımları



3.2.1. Doğal Aydınlatma İçin Regresyon Analizi Yöntemi ile Gün Işığı Performansı Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi

Bu bölümde, incelenen ofis modelleri ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına ait veriler aracılığıyla elde edilen (doğal aydınlatmaya ait değişkenlere göre çoklu doğrusal regresyon eşitliklerini temel alan) istatistiksel modeller sunulmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon eşitliklerinde hedef aydınlık düzeyinin ve minimum aydınlık düzeyinin mekânda sağlanma oranlarını tahmin etmek için belirlenen değişkenler vasıtasıyla, yapay aydınlatma analizlerinde olduğu gibi burada da adım adım seçme (stepwise) çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılmaktadır. Simülasyonlar sonunda elde edilen veriler ile gün ışığı performansını belirlemek üzere, bütün değişkenleri kapsayan çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmaktadır. Burada, bağımsız değişkenleri; hacim boyutu, pencere biçimi, pencere camı ışık geçirgenliği, yönelme, gölgeleme elemanı ve iç yüzeylerin yansıtma çarpanı oluşturmaktadır. Analizlerdeki bağımlı değişkenler ise; minimum aydınlığı sağlama oranı ve hedef aydınlığı sağlama oranı olarak belirlenmiştir.

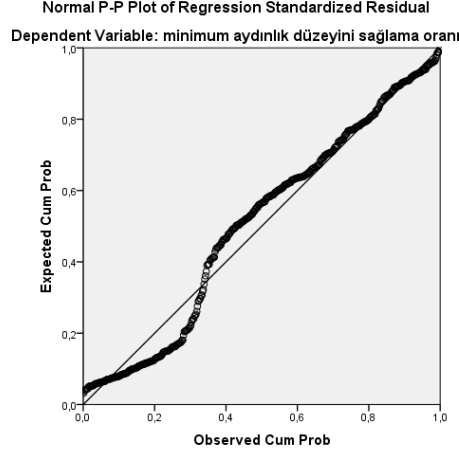
Minimum aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen istatistiksel model Tablo 58’ de verilmektedir. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,797 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %80’ini açıklamaktadır. R^2 ve R^2_d (düzeltilmiş R^2) değerlerinin çok yakın olması değişkenlerin matematiksel modele anlamlı katkı sağladığını ifade etmektedir. Katsayılar tablosuna bakıldığında buradaki Constant (B_0) denklemdeki sabit değerdir. Tabloya göre bağımlı değişkeni tahmin eden sekiz adet bağımsız değişken bulunmaktadır. Sig. değerlerine göre oluşturulan bütün bağımsız değişkenler denkleme anlamlı derecede katkı sağlamaktadır. Buna göre, hacim boyutları, yüzey yansıtma katsayıları, güneş kontrol elemanı, pencere biçimi, pencere yönelimi ve pencere camı ışık geçirgenliği değişkenleri bir mekânda minimum aydınlığın sağlanma oranını anlamlı derecede yordamaktadır.

Tablo 59’da hedef aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen model yer almaktadır. Modelin belirlilik düzeyinin (R^2) 0,779 olduğu görülmektedir. R^2 değerine göre buradaki bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenin yaklaşık %78’ini açıklamaktadır. Katsayılar tablosuna bakıldığında bir önceki modelde olduğu gibi geliştirilen bağımsız değişkenlerin tümü bağımlı değişkeni anlamlı derecede tahmin etmektedir. Buna göre, oluşturulan eşitlikte; hacim boyutları, yüzey yansıtma katsayıları, güneş kontrol elemanı, pencere biçimi, pencere yönelimi ve pencere camı ışık geçirgenliği değişkenleri yer almaktadır.

Tablo 58. Minimum aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: hacim boyutu, iç yüzeylerin yansıtma çarpanı, pencere yönü, pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,773 ^a	,598	,597	8,87748
2	,814 ^b	,663	,661	8,13579
3	,835 ^c	,698	,696	7,70988
4	,849 ^d	,721	,719	7,41327
5	,861 ^e	,741	,739	7,14561
6	,881 ^f	,775	,773	6,66708
7	,887 ^g	,786	,783	6,50762
8	,893 ^h	,797	,794	6,34497

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant) (B ₀)	23,564	2,560		9,205	,000
Hacim boyutu	-,174	,005	-,773	-37,511	,000
Yüzeylerin yansıtma çarpanı	21,826	1,762	,255	12,383	,000
Kontrol elemanı 1	-3,582	,705	-,121	-5,081	,000
Kontrol elemanı 2	-7,335	,705	-,248	-10,404	,000
Pencere camı ışık geçirgenliği	,215	,029	,153	7,421	,000
Yatay pencere	-7,373	,705	-,249	-10,459	,000
İki parçalı pencere	-6,302	,705	-,213	-8,939	,000
Kuzey cephesi	-2,938	,576	-,105	-5,104	,000

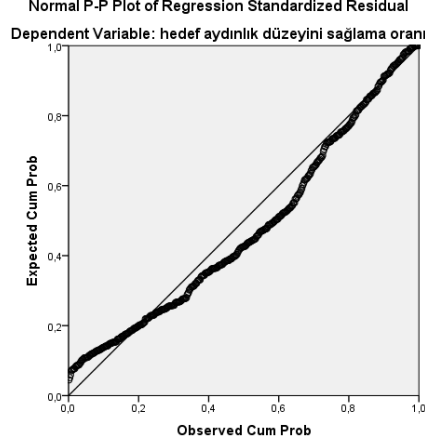
Regresyon Tahmin Eşitliği

Minimum aydınlığı sağlama oranı = 23,564 + 21,826. (yüzeylerin yansıtma çarpanı) + 0,215. (camın ışık geçirgenliği) - 0,174. (hacim boyutu) - 2,983. (kuzey cephesi) - 3,582. (güneş kontrol elemanı 1) - 7,335. (güneş kontrol elemanı 2) - 7,373. (yatay pencere biçimi) - 6,302. (iki parçalı pencere biçimi)

Tablo 59. Hedef aydınlığı sağlama oranı için geliştirilen istatistiksel model

Eşitliğe Alınan Değişkenler: hacim boyutu, iç yüzeylerin yansıtma çarpanı, pencere yönü, pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı

Saçılma Diyagramı



Geliştirilen Regresyon Modelleri

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,485 ^a	,235	,234	3,34252
2	,638 ^b	,407	,404	2,94728
3	,746 ^c	,556	,554	2,55126
4	,785 ^d	,616	,613	2,37499
5	,813 ^e	,661	,658	2,23338
6	,851 ^f	,724	,720	2,01867
7	,873 ^g	,762	,759	1,87557
8	,883 ^h	,779	,776	1,80907

Katsayılar Tablosu

	Coefficients B	Standard Error	Beta	t	Sig
(Constant)	3,890	,730		5,329	,000
Hacim boyutu	-,030	,001	-,485	-22,543	,000
Yüzeylerin yansıtma çarpanı	3,048	,503	,130	6,065	,000
Kontrol elemanı2	-5,157	,201	-,637	-25,656	,000
Kontrol elemanı1	-3,615	,201	-,447	-17,982	,000
Camın ışık geçirgenliği	,094	,008	,245	11,385	,000
İki parçalı pencere biçimi	-2,887	,201	-,357	-14,361	,000
Yatay pencere biçimi	-2,337	,201	-,289	-11,625	,000
Kuzey cephe	-1,492	,164	-,196	-9,091	,000

Regresyon Tahmin Eşitliği

Hedef aydınlığı sağlama oranı = 3,890 + 3,048.(yüzey yansıtma çarpanı) + 0,094. (camın ışık geçirgenliği) - 0,30.(hacim boyutu) - 5,157. (güneş kontrol elemanı 2) - 3,615. (güneş kontrol elemanı 1) - 2,887.(iki parçalı pencere biçimi) - 2,337.(yatay pencere biçimi) - 1,492. (kuzey cephe)

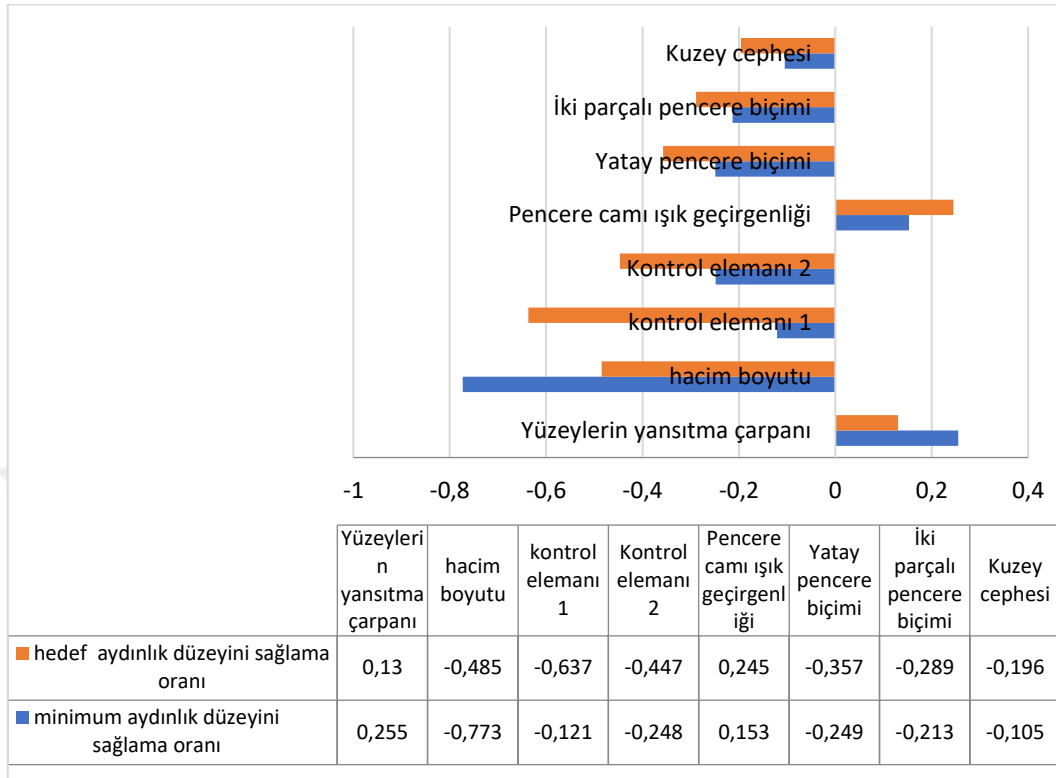
3.2.2. Doğal Aydınlatma İçin Regresyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğal Aydınlatma tasarım parametrelerinin gün ışığı performansı üzerindeki etkileri, hacimlerde minimum aydınlık düzeyinin sağlama oranı ve hedef aydınlık düzeyini sağlama oranları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Regresyon analizleri ile elde edilen katsayılar tablosunda yer alan veriler ile ilgili önem düzeylerine (beta) bağlı olarak Tablo 60'daki grafik oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik incelendiğinde, hacim boyutundaki artışın mekânlardaki gün ışığı etkinliğini büyük oranda azalttığı görülmektedir. Hacim derinliğinin Hacim 1'e göre iki katına çıktığı Hacim 2'de gün ışığı etkinliği %50 azalmaktadır. Hacim derinliğinin 3 katına çıktığı Hacim 3'de Hacim 1'e oranla gün ışığı etkinliğinin yaklaşık olarak %66 azaldığı görülmektedir. İkinci önem derecesinde güneş kontrol elemanları gelmektedir. Mekânlarda geliştirilen güneş kontrol elemanları gün ışığı etkinliğinin önemli derecede azalmasına neden olmaktadır.

Üçüncü önem derecesinde pencere biçimi yer almıştır. Buradaki alternatiflerin mekânlardaki gün ışığı etkinliğini negatif yönde değiştirdiği görülmüştür. Düşeyde iki parça (120cmx180cm) ve yatayda tek parça (360cmx120cm) şeklinde oluşturulan alternatiflerin minimum aydınlığı sağlama oranını ve hedef aydınlığın sağlama oranlarını düşürdüğü görülmektedir. Bu durumda denklemde referans pencere biçimi olarak alınan tek parça (240cm x180cm) boyutlu pencere, günışığı etkinliği için en yüksek değeri vermektedir.

İç yüzey yansıtma katsayıları ve camların ışık geçirgenliğindeki değişimlerin günışığı etkinliği üzerindeki etkileri 4. ve 5. seviyede çıkmıştır. İç yüzey yansıtma katsayıları ve camların ışık geçirgenliğindeki artışların mekânlarda gün ışığı etkinliğinde artışa sebep oldukları görülmüştür. Yüzey yansıtma katsayılarındaki artışın minimum aydınlığı sağlama oranını, hedef aydınlığı sağlama oranından daha fazla oranda etkilediği görülmüştür. Camların ışık geçirgenliğindeki artışın ise hedef aydınlığı sağlama oranını, minimum aydınlığı sağlama oranına göre daha yüksek düzeyde etkilemiş olduğu belirlenmiştir. Bunların dışında, pencere yönelmelerindeki değişimin günışığı etkinliği üzerinde oldukça düşük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kuzey yönünde konumlandırılmış pencere düzenindeki alternatiflerde gün ışığı etkinliği azalmaktadır.

Tablo 60. Elde edilen modellere ait tasarım parametrelerinin gün ışığı performansı üzerindeki etkileri



3.3. Çıkarımsal İstatistik Yöntemleri ile Yapılan Değerlendirmeler

Bu bölümde geliştirilen aydınlatma tasarım parametrelerinden sürekli değişkenler kategorik olarak gruplanarak SPSS programında ANOVA ve T-test analizleri ile incelenmiştir. Bu testler aracılığı ile oluşturulan grupların sunduğu ortalama değerler arasında anlamlı bir fark olup olmadığına karar verilmektedir. İlk olarak çalışma kapsamında oluşturulan üç farklı boyuttaki ofis hacminin her biri için yapay ve doğal aydınlatma sistem alternatifleri irdelenmiştir. Burada ANOVA analizi sonucunda gruplar arasında anlamlı bir fark çıkan durumlarda yani Sig. değeri 0.05'ten küçük olduğu durumlarda bu farkın hangi gruplar arasında olduğunu bulmak gerekmektedir. Bunun için post hoc (çoklu karşılaştırma) testleri arasından Tukey testi uygulanmıştır. Böylece hangi gruplar arasında anlamlı fark olduğu ortaya çıkmıştır. Tablo 61, 62 ve 63'deki analizler sonucu elde edilen ortalama değerlerde üst simge olarak ifade edilen ^{a,b} ve ^c kodları hangi değerlerin aynı grupta yer aldığını diğer bir ifade ile hangi değerlerin anlamlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Burada aynı harfte üst simgeye sahip değerler aynı grupta yer almakta ve diğer harf ile

kodlanmış grup ile anlamlı olarak farklılaşmaktadır. Yapılan analizler sonucunda yapay aydınlatma sistemi için görsel konfor ve enerji performansını, doğal aydınlatma sistemi için de gün ışığı performansını optimum değerlerde sunan alternatifler belirlenmiştir.

3.3.1. Hacim 1 İçin Geliştirilen Analizler

Hacim 1 için yapılan Anova ve T-test analizleri Tablo 61’da yer almaktadır. Burada aydınlatma tasarım parametreleri için oluşturulan her bir kategoride elde edilen ortalama görsel konfor ve enerji performans değerleri sunulmaktadır. Yapay aydınlatma için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre ışık akısı, lamba gücü, lamba türü ve etkinlik faktöründeki değişimler aydınlık düzeyi ve enerji performansı kriterlerinde anlamlı değişime yol açmaktadır. Aydınlatma biçimindeki değişim aydınlık düzeyi, düzgünlük ve kamaşma kriterleri için anlamlı etki yaratmaktadır. Aygıt yansıtıcı türündeki değişimin düzgünlük ve kamaşma kriterlerini anlamlı olarak etkilediği belirlenmiştir. Yüzey yansıtma katsayılarındaki değişimin düzgünlük dışındaki diğer kriterleri anlamlı olarak etkilediği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulan değişken kategorileri, hangi kriter için anlamlı fark oluşturuyorsa o kriteri TS EN 12464-1 standardı doğrultusunda sağlayan kategori ya da kategoriler tasarımcılar ve kullanıcılar için faydalı olabilecek öneriler olarak Tablo 61 da renkli olarak vurgulanmıştır. Hacim 1 ile benzer hacim boyutlarında ve benzer aydınlatma planına sahip bir ofis hacmi için 2900-4000 lm aralığında ışık aksına sahip, 20-38 W gücünde LED ışık kaynaklı aygıtların, görsel konfor ve enerji tasarrufu için uygun olabilecekleri görülmüştür. Aydınlatma biçimi seçeneklerine bakıldığında dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçimine sahip aygıtların sağladığı ortalama değerler görsel konfor koşullarının tümü için optimum değer aralıklarında bulunmaktadır. Aygıtların yansıtıcı özellikleri aydınlığın dağılımı ve kamaşma kriterleri için anlamlı fark oluşturmuş, seçenekler arasında mikroprizmatik aygıtların sağladığı ortalama değerlerin en iyi sonuçları sunduğu görülmektedir. Ofis hacmi içindeki yüzeylerin ortalama yansıtıcılık katsayılarındaki değişim de görsel konfor koşullarında anlamlı farklılara yol açmaktadır. Yüzey yansıtıcılık ortalamaları 0,50 ve 0,70 olan seçeneklerin özellikle aydınlık düzeyinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Doğal aydınlatma için yapılan analiz sonuçlarına göre, oluşturulan doğal aydınlatma değişkenlerinin tümünün hedef aydınlığın sağlanma oranı ve minimum aydınlığın sağlanma

oranı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu gör÷lmektedir. Doğal aydınlatma analizleri dikkate alındığında, geliştirilen doğal aydınlatma değişkenleri içinde hiçbir kategori TS EN 17037:2018 standardı doğrultusunda minimum aydınlığı sağlama oranını ya da hedef aydınlığı sağlama oranını karşılamamaktadır. Bu durumda kategoriler içinde maksimum değeri veren seçenekler Tablo 61’da vurgulanmıştır. Burada pencere boyutu 240cm x180cm olan tek parça pencere seçeneği ofis hacminde en yüksek doğal aydınlatma oranını sağlamaktadır. Pencere camı ışık geçirgenlik katsayısındaki artış ve hacim içindeki açıklığın güney cephesinde yer alması doğal aydınlığı sağlama oranında anlamlı artışa sebep olmaktadır. Pencere açıklığında herhangi bir gölgeleme elemanının olmadığı koşulda doğal aydınlığın sağlanma oranı en yüksek değerdedir. Gölgeleme elemanı kullanılması durumunda dış yatay saçak alternatifinin uygulandığı durumda hacim içinde en yüksek doğal aydınlık seviyesinin sağlandığı gör÷lmüştür.

Tablo 61. Hacim 1 için yapılan Anova ve T-test analizleri

Mekân Boyutu: 18,75 m ²					
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis					
SABİT ALINAN DEĞERLER: CCT:4000K, Ra≥80 Aygıt Formu: lineer		Yapay Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 12464-1			Enerji Performansı
YAPAY AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düğünlük k ≥0,6 Uo	Kamaşma a <19 UGR	W/lm/m ²
IŞIK AKISI	2200-2500 lm	434 ^a	0,63	21	0,5 ^a
	2500-2900lm	470 ^a	0,69	19,4	0,4 ^a
	2900-3200lm	520 ^a	0,67	20	0,3 ^b
	3200-3600lm	640 ^b	0,65	19,4	0,3 ^b
	3600-4000lm	646 ^b	0,67	19,7	0,2 ^b
LAMBA GÜCÜ	20-30 watt	601 ^a	0,67	18,8 ^a	0,2 ^a
	30-38 watt	560 ^a	0,67	19,9 ^{ab}	0,36 ^b
	38-50 watt	494 ^b	0,65	20,8 ^b	0,5 ^c
ETKİNLİK FAKTÖRÜ	50-65 lm/w	443 ^a	0,66 ^{ab}	20,9 ^a	0,5 ^a
	65-90 lm/w	494 ^a	0,64 ^a	18,7 ^{ab}	0,4 ^a
	90-110 lm/w	568 ^b	0,66 ^{ab}	20,7 ^{ab}	0,3 ^b
	110-130lm/w	606 ^b	0,71 ^b	18,1 ^b	0,28 ^{bc}
	130-150 lm/w	657 ^b	0,63 ^a	20,2 ^{ab}	0,22 ^c
LAMBA TÜRÜ	Flüoresan	463 ^a	0,66	19,9	0,5 ^a
	LED	617 ^b	0,65	19,8	0,2 ^b
AYDINLATMA BİÇİMİ	Dolaysız yüzeye monte	548 ^{ab}	0,68 ^{ab}	18,6 ^a	0,38
	Yarı dolaysız	552 ^{ab}	0,64 ^{bc}	20,8 ^b	0,37
	Dolaylı-dolaysız	476 ^a	0,71 ^a	17 ^a	0,4
	Dolaysız sarkıt	630 ^b	0,61 ^c	22,8 ^c	0,36
AYGIT YANSITMA	Paletli	571	0,61 ^a	21 ^a	0,34
	Opal	525	0,69 ^b	20,5 ^a	0,41
	Mikroprizmatik	569	0,69 ^b	17,8 ^b	0,38
YÜZEY YANSITMA ORT.	0,30	495 ^a	0,65	21,4 ^a	0,43 ^a
	0,50	539 ^a	0,66	19,9 ^{ab}	0,38 ^{ab}
	0,70	627 ^b	0,67	18,2 ^b	0,32 ^b
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Doğal Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 17037:2018			
		Minimum Aydınlatma Sağlama Oranı ≥ % 90		Hedef Aydınlatma Sağlama Oranı ≥ % 50	
PENCERE BİÇİMİ	Tek parça (240 w x180h)	50,6 ^a		10,7 ^a	
	İki parça (120w x 180h)	40,6 ^b		5,8 ^b	
	Yatay (360w x 120h)	38,2 ^b		6,5 ^b	
CAM GEÇİRGENLİĞİ	0,65	39 ^a		5,9 ^a	
	0,78	43,3 ^b		7,6 ^{ab}	
	0,90	47,2 ^b		9,5 ^b	
YÖNELME	Güney	45 ^a		8,8 ^a	
	Kuzey	41 ^b		6,5 ^b	
YÜZEY YANSITMA ORT.	0,30	37,5 ^a		6,8	
	0,50	41,5 ^b		7,5	
	0,70	50,5 ^c		8,6	
GÖLGELEME ELEMAN	Mevcut değil	48,5 ^a		12,5 ^a	
	Dış yatay saçak	43,7 ^b		6,6 ^b	
	İç jaluzi	37,3 ^c		4,1 ^c	

3.3.2. Hacim 2 İçin Geliştirilen Analizler

Hacim 2 için yapılan Anova ve T-test analizleri Tablo 62’de yer almaktadır. Burada aydınlatma tasarım parametreleri için oluşturulan her bir kategoride elde edilen ortalama görsel konfor ve enerji performans değerleri sunulmaktadır. Yapay aydınlatma için yapılan analizlerden elde edile sonuçlara göre geliştirilen değişkenler ile tasarım kriterleri arasındaki ilişkiler Hacim 1 ile benzerlik göstermektedir. Buna göre ışık akısı, lamba gücü, lamba türü ve etkinlik faktöründeki değişimler aydınlık düzeyi ve enerji performansı kriterlerinde anlamlı değişime yol açmaktadır. Aydınlatma biçimindeki değişim Hacim 1’den farklı olarak düzgünlük ve kamaşma kriterleri için anlamlı etki yaratmaktadır. Aygıt yansıtıcı türündeki değişimin düzgünlük ve kamaşma kriterlerini anlamlı olarak etkilediği belirlenmiştir. Yüzey yansıtma katsayılarındaki değişimin bütün görsel konfor ve enerji performans değerlerini anlamlı olarak etkilediği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulan değişken kategorileri hangi kriter için anlamlı fark oluşturuyorsa o kriteri TS EN 12464-1 standardı doğrultusunda sağlayan kategori ya da kategoriler tasarımcılar ve kullanıcılar için faydalı olabilecek öneriler olarak Tablo 62’de renkli olarak vurgulanmıştır. Hacim 2 ile benzer hacim boyutlarında ve benzer aydınlatma planına sahip bir ofis hacmi için en az 3200-4000 lm aralığında ışık aksına sahip, 20-30 W gücünde LED ışık kaynaklı aygıtların, görsel konfor ve enerji tasarrufu için yeterli olabileceği görülmüştür. Burada lamba gücü 20-30 Watt kategorisine giren aygıtların daha yüksek aydınlık seviyelerine ulaştıkları görülmüştür. Bu durum LED ışık kaynaklarının sahip oldukları yüksek ışık akısı ve düşük lamba gücü özellikleri ile açıklanmaktadır. Etkinlik faktörü değerlerindeki artışın da aydınlık düzeyinde anlamlı bir artışa neden olduğu tabloda vurgulanmaktadır. Aydınlatma biçimi ve aygıtların yansıtıcılık seçeneklerindeki değişim Hacim 1 ile benzer özellikler göstermektedir. Dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçimine sahip aygıtların sağladığı ortalama değerler ve mikrop prizmatik aygıtların sağladığı ortalama değerlerin aydınlığın dağılımı ve kamaşma kriterleri için en iyi sonuçları sunduğu görülmektedir. Ofis hacmi içindeki yüzeylerin ortalama yansıtıcılık katsayılarındaki değişim de görsel konfor koşullarında anlamlı farklara yol açmaktadır. Yüzey yansıtıcılık ortalaması 0,70 olan seçeneğin özellikle aydınlık düzeyinde en uygun sonuçları verdiği görülmektedir.

Doğal aydınlatma için yapılan analiz sonuçları dikkate alındığında, oluşturulan doğal aydınlatma değişkenlerinin tümünün hedef aydınlığın sağlanma oranı ve minimum aydınlığın sağlanma oranı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir. Hacim 1’de

olduğu gibi geliştirilen doğal aydınlatma değışkenleri için de hiçbir kategori TS EN 17037:2018 standardı doğrultusunda minimum aydınlığı sağlama oranını ya da hedef aydınlığı sağlama oranını karşılamamaktadır. Bu durumda kategoriler içinde maksimum değeri veren seçenekler Tablo 62’de vurgulanmıştır. Yapılan değerlendirmeler Hacim 1 ile aynı seçenekleri sunmaktadır. Pencere boyutu 240cm x 180cm olan tek parça pencere seçeneği ofis hacminde en yüksek doğal aydınlatma oranını sağlamaktadır. Pencere camı ışık geçirgenlik katsayısındaki artış ve hacim içindeki açıklığın güney cephesinde yer alması doğal aydınlığı sağlama oranında anlamlı artışa sebep olmaktadır. Pencere açıklığında herhangi bir gölgeleme elemanının olmadığı koşulda doğal aydınlığın sağlanma oranı en yüksek değerdedir. Gölgeleme elemanı kullanılması durumunda dış yatay saçak alternatifinin uygulandığı durumda hacim içinde en yüksek doğal aydınlık seviyesinin sağlandığı görülmüştür.

Tablo 62. Hacim 2 için yapılan Anova ve T-test analizleri

Mekân Boyutu: 72,5 m ²					
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis					
SABİT ALINAN DEĞERLER: CCT:4000K, Ra ≥80 Aygıt Formu: lineer		Yapay Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 12464-1			Enerji Performansı
YAPAY AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzlük ≥0,6 U ₀	Kamaşma ≤19 UGR	W/lm/m ²
IŞIK AKISI	2200-2500 lm	342 ^a	0,61	19,9	2,5 ^a
	2500-2900lm	360 ^a	0,64	19	2,2 ^a
	2900-3200lm	436 ^b	0,62	19	1,3 ^b
	3200-3600lm	513 ^c	0,60	18,8	1,3 ^b
	3600-4000lm	553 ^c	0,62	19,5	1,1 ^b
LAMBA GÜCÜ	20-30 watt	519 ^a	0,62	17,9 ^a	1,1 ^a
	30-38 watt	458 ^b	0,61	19,6 ^{ab}	1,5 ^b
	38-50 watt	381 ^c	0,62	20,2 ^b	2,2 ^c
ETKİNLİK FAKTÖRÜ	50-65 lm/w	344 ^a	0,62 ^{ab}	20,4	2,4 ^a
	65-90 lm/w	396 ^a	0,63 ^{ab}	17,9	2 ^a
	90-110 lm/w	473 ^b	0,61 ^{ab}	20,3	1,4 ^b
	110-130lm/w	536 ^{bc}	0,64 ^b	18	1,1 ^c
	130-150 lm/w	549 ^c	0,58 ^a	18,6	0,9 ^d
LAMBA TÜRÜ	Flüoresan	363 ^a	0,63	19,2	1,2 ^a
	LED	514 ^b	0,61	19,3	2,2 ^b
AYDINLATMA BİÇİMİ	Dolaysız yüzeye monte	462	0,63 ^{ab}	18,5 ^a	1,62
	Yarı dolaysız	461	0,61 ^a	20 ^a	1,65
	Dolaylı-dolaysız	416	0,66 ^b	16 ^b	1,62
	Dolaysız sarkıt	465	0,57 ^c	22 ^c	1,70
AYGIT YANSITICI	Paletli	446	0,59 ^a	19,2 ^a	1,53
	Opal	430	0,64 ^b	20,7 ^{ab}	1,8
	Mikroprizmatik	481	0,62 ^{ab}	17,7 ^b	1,58
YÜZEY YANSITMA	0,30	407 ^a	0,59 ^a	21,1 ^a	1,8 ^a
	0,50	438 ^a	0,61 ^a	19,2 ^b	1,69 ^{ab}
	0,70	481 ^b	0,65 ^b	17,3 ^c	1,4 ^b
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Doğal Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 17037:2018			
		Minimum Aydınlatma Sağlama Oranı ≥ % 90		Hedef Aydınlatma Sağlama Oranı ≥ % 50	
PENCERE BİÇİMİ	Tek parça (240 w x180h)	25 ^a		5 ^a	
	İki parça (120w x 180h)	19,8 ^b		2,8 ^b	
	Yatay (360w x 120h)	19,3 ^b		3,3 ^b	
CAM GEÇİRGENLİĞİ	0,65	19,1 ^a		2,8 ^a	
	0,78	21,6 ^b		3,7 ^{ab}	
	0,90	23,4 ^b		4,6 ^b	
YÖNELME	Güney	22,7 ^a		4,3 ^a	
	Kuzey	20 ^b		3,1 ^b	
YÜZEY YANSITMA	0,30	18,3 ^a		3,3 ^a	
	0,50	20,1 ^a		3,6 ^{ab}	
	0,70	25,7 ^b		4,3 ^b	
GÖLGELEME ELEMAN	Mevcut değil	24,2 ^a		6 ^a	
	Dış yatay saçak	21,4 ^b		3,1 ^b	
	İç jaluzi	18,5 ^c		2 ^c	

3.3.3. Hacim 3 İçin Geliştirilen Analizler

Hacim 3 için yapılan Anova ve T-test analizleri Tablo 63’de yer almaktadır. Burada aydınlatma tasarım parametreleri için oluşturulan her bir kategoride elde edilen ortalama görsel konfor ve enerji performans değerleri sunulmaktadır. Yapay aydınlatma ve doğal aydınlatma için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Hacim 1 ve Hacim 2 ile benzer özellikler göstermektedir. Hacim 1 ve Hacim 2’de olduğu gibi burada da ışık akısı, lamba gücü, lamba türü ve etkinlik faktöründeki değişimler aydınlık düzeyi ve enerji performansı kriterlerinde anlamlı değişime yol açmaktadır. Aydınlatma biçimindeki değişim Hacim 1’deki gibi aydınlık düzeyi, düzgünlük ve kamaşma kriterleri için anlamlı etki yaratmaktadır. Aygıt yansıtıcı türündeki değişimin Hacim 1 ve 2’den farklı olarak sadece kamaşma kriterini anlamlı olarak etkilediği belirlenmiştir. Yüzey yansıtma katsayılarındaki değişimin bütün görsel konfor ve enerji performans değerlerini anlamlı olarak etkilediği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulan değişken kategorileri hangi kriter için anlamlı fark oluşturuyorsa o kriteri TS EN 12464-1 standardı doğrultusunda sağlayan kategori ya da kategoriler tasarımcılar ve kullanıcılar için faydalı olabilecek öneriler olarak Tablo 63’de renkli olarak vurgulanmıştır. Hacim 2 ile benzer özellik göstererek ışık akısında 3200-3600 lm ile 3600-4000 lm kategorilerindeki aygıtların ortalama aydınlık düzeyleri yeterli seviyelere ulaşmıştır. Lamba gücü değişkeninde ise Hacim 2’den farklı olarak 30-38 Watt aralığında güce sahip aygıtların da ortalama aydınlık seviyeleri yeterli düzeye ulaşmıştır. Bu durum daha düşük ışık akısına sahip flüoresan lambaların Hacim 3’de Hacim 2’ye göre daha yüksek aydınlık seviyeleri elde edebildiğini göstermektedir. Aydınlatma biçimi ve aygıtların yansıtıcılık seçeneklerindeki ortalama değerler Hacim 1 ve Hacim 2 ile benzer özellikler göstermektedir. Burada da dolaysız yüzeye monte aydınlatma biçimine sahip aygıtların sağladığı ortalama değerlerin görsel konfor koşullarının hepsini en uygun düzeyde sağladığı görülmüştür. Aygıtların yansıtıcılıkları dikkate alındığında mikrop prizmatik aygıtlar kamaşma kriterleri için en iyi sonuçları sunmaktadır. Ofis hacmi içindeki yüzeylerin ortalama yansıtıcılık katsayılarındaki değişim de görsel konfor koşullarında anlamlı farklara yol açmaktadır. Yüzey yansıtıcılık ortalaması 0,70 olan seçeneğin görsel konfor ve enerji performansı açısından en uygun sonuçları verdiği görülmektedir.

Doğal aydınlatma için yapılan analiz sonuçları dikkate alındığında, oluşturulan doğal aydınlatma değişkenlerinin tümünün hedef aydınlığın sağlanma oranı ve minimum

aydınlığın sağlanma oranı üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir. Hacim 1 ve Hacim 2’de olduğu gibi geliştirilen doğal aydınlatma değişkenleri içinde hiçbir kategori TS EN 17037:2018 standardı doğrultusunda minimum aydınlığı sağlama oranını ya da hedef aydınlığı sağlama oranını karşılamamaktadır. Bu durumda kategoriler içinde maksimum değeri veren seçenekler Tablo 63’de vurgulanmıştır. Yapılan değerlendirmeler Hacim 1 ve Hacim 2 ile aynı seçenekleri sunmaktadır. Pencere boyutu 240cmx180cm olan tek parça pencere seçeneği ofis hacminde en yüksek doğal aydınlatma oranını sağlamaktadır. Pencere camı ışık geçirgenlik katsayısındaki artış ve hacim içindeki açıklığın güney cephesinde yer alması doğal aydınlığı sağlama oranında anlamlı artışa sebep olmaktadır. Pencere açıklığında herhangi bir gölgeleme elemanının olmadığı koşulda doğal aydınlığın sağlanma oranı en yüksek değerdedir. Gölgeleme elemanı kullanılması durumunda dış yatay saçak alternatifinin uygulandığı durumda hacim içinde en yüksek doğal aydınlık seviyesinin sağlandığı görülmüştür.

Tablo 63. Hacim 3 için yapılan Anova ve T-test analizleri

Mekân Boyutu: 168,75 m ²					
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis					
SABİT ALINAN DEĞERLER: CCT:4000K, Ra≥80 Aygıt Formu: lineer		Yapay Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 12464-1			Enerji Performansı
YAPAY AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Aydınlık düzeyi ≥500lux	Düzensizlik ≥0,6 Uo	Kamaşma ≤19 UGR	W/lm/m ²
IŞIK AKISI	2200-2500 lm	394 ^a	0,65	21,1	3,4 ^a
	2500-2900lm	407 ^a	0,65	20,7	3,8 ^a
	2900-3200lm	466 ^a	,065	20,2	2,1 ^b
	3200-3600lm	543 ^b	0,61	20,1	2,1 ^b
	3600-4000lm	586 ^b	0,63	20,6	1,9 ^b
LAMBAGÜCÜ	20-30 watt	529 ^a	0,62	18,8	1,9 ^a
	30-38 watt	515 ^b	0,62	21	2,4 ^b
	38-50 watt	442 ^b	0,64	21,8	3,4 ^c
ETKİNLİK FAKTÖRÜ	50-65 lm/w	396 ^a	0,65 ^a	22 ^a	3,7 ^a
	65-90 lm/w	441 ^a	0,64 ^a	19,3 ^{ab}	3,1 ^b
	90-110 lm/w	546 ^b	0,62 ^a	21,8 ^a	2,2 ^c
	110-130lm/w	548 ^b	0,65 ^{ab}	18,8 ^b	1,9 ^{cd}
	130-150 lm/w	556 ^b	0,58 ^b	19,3 ^{ab}	1,5 ^d
LAMBA TÜRÜ	Flüoresan	414 ^a	0,65 ^a	20,7	3,5 ^a
	LED	550 ^b	0,62 ^b	20,4	1,9 ^b
AYDINLATMA BİÇİMİ	Dolaysız yüzeye monte	515 ^{ab}	0,63 ^a	19,8 ^a	2,4
	Yarı dolaysız	484 ^{ab}	0,63 ^a	21 ^a	2,7
	Dolaylı-dolaysız	441 ^a	0,67 ^a	17,3 ^b	2,6
	Dolaysız sarkıt	530 ^b	0,58 ^b	23,5 ^c	2,6
AYGIT YANSITICI	Paletli	479	0,61	20,3 ^{ab}	2,4
	Opal	494	0,65	22 ^b	2,7
	Mikroprizmatik	509	0,62	19 ^a	2,5
YÜZEY YANSITMA	0,30	427 ^a	0,61 ^a	22 ^a	3 ^a
	0,50	474 ^a	0,63 ^{ab}	20 ^b	2,6 ^{ab}
	0,70	580 ^b	0,65 ^b	18 ^c	2,1 ^b
DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ		Doğal Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 17037:2018			
		MİNİMUM AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI ≥ % 90		HEDEF AYDINLIĞI SAĞLAMA ORANI ≥ % 50	
PENCERE BİÇİMİ	Tek parça (240 w x180h)	%17,5 ^a		%3,7 ^a	
	İki parça (120w x 180h)	%13,8 ^b		%2,1 ^b	
	Yatay (360w x 120h)	%15,5 ^b		%2,5 ^b	
CAM GEÇİRGENLİK	0,65	%13,2 ^a		%2 ^a	
	0,78	%15,1 ^b		%2,8 ^b	
	0,90	%16,4 ^b		%3,5 ^b	
YÖNELME	Güney	%15,9 ^a		%3,3 ^a	
	Kuzey	%13,9 ^b		%2,3 ^b	
YÜZEY YANSITMA	0,30	%12,5 ^a		%2,5 ^a	
	0,50	%14 ^a		%2,7 ^{ab}	
	0,70	%18,2 ^b		%3,3 ^b	
GÖLGELEME ELE.	Mevcut değil	%17,7 ^a		%4,5 ^a	
	Dış yatay saçak	%14,5 ^b		%2,3 ^b	
	İç jalûzi	%12,6 ^c		%1,5 ^c	

3.4. Ele Alınan Bütünleşik Aydınlatma Senaryolarına İlişkin Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan ofis hacimleri için yapay ve doğal aydınlatma sistemlerinin optimum birleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Ele alınan ofis hacimleri için geliştirilen yapay ve doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmış ve enerji performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım uyarınca, aydınlatma enerji gereksiniminin belirlenmesi için ele alınan senaryolara ilişkin doğal ve yapma çevre tasarım parametreleri, bina kullanıcılarına ilişkin parametreler, binanın kullanım saatleri ve binanın yapay ve doğal aydınlatma sistemine ait özellikleri dikkate alan TS EN 15193-1+A1:2021 standardında önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

3.4.1. TS EN 15193-1+A1:2021 Hesap Yöntemine Göre Hacimlerde Aydınlatma Enerji Gereksiniminin Hesaplanması

Bu bölümde ele alınan ofis hacimlerinin aydınlatma enerjisi gereksiniminin hesaplanmaları gerçekleştirilmiştir. Bölüm 1.6.3.1’ de tanıtilan Eşitlik (2) uyarınca her bir senaryo için hesaplanmıştır.

$$W_{L,t} = \{ (P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)] \} / 1000 \text{ (kWh)} \quad (2)$$

Toplam Kurulu Aydınlatma Gücü (P_n) Hesaplanması: Bölüm 3.3’te geliştirilen öneri tabloları doğrultusunda aydınlatma biçimi dolaysız yüzeye monte, aygıt yansıtıcı türü mikroprizmatik olan iki farklı güçte aygıt çalışma kapsamında oluşturulan yapay aydınlatma alternatifleri arasından seçilmiştir. Bu aygıtlardan biri 30 W gücünde, LED ışık kaynağına sahip Zumtobel Mlevo EA modeli diğeri 45 W gücünde Flüoresan ışık kaynağına sahip RIDİ WL 221P modeli olarak belirlenmiştir. Ele alınan hacimlerde iki farklı güçteki aygıtlara (Y_1, Y_2) ilişkin kurulu güç (Watt) hesaplanmıştır. Buna göre Hacim 1 için $Y_1 = 180 \text{ W}$ $Y_2 = 270 \text{ W}$, Hacim 2 için $Y_1 = 600 \text{ W}$ $Y_2 = 900 \text{ W}$, Hacim 3 için $Y_1 = 1050 \text{ W}$ $Y_2 = 1575 \text{ W}$ olarak toplam kurulu güç değerleri hesaplanmıştır.

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

katılmaktadır. Burada hacimlerde loşlaştırmaya bağlı bir aydınlatma kontrolü ele alınmadığından sabit aydınlık faktörü (F_C) değeri 1 (etkisiz) kabul edilmiştir.

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

Kullanıma Bağlı Faktörün (F_O) Hesaplanması: Çalışma kapsamında incelenen hacimler için kullanıma bağlı değerin hesaplanması, aydınlatma kontrolüne bağlı faktör ve mekânların kullanım oranları dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Buna göre mekânların kullanılmama oranını belirten yokluk faktörü (F_A) değerleri ve mekânın sahip olduğu varsayılan aydınlatma kontrol sisteminin ilişkilendirildiği tablo ile kullanıma bağlı faktör (F_O) değerleri belirlenmektedir. Çalışmada geliştirilen Hacim 1 iki kişilik bir ofisi temsil etmektedir ve standartta belirtilen tablodan (F_A) değeri 0.30 olarak belirlenmiştir. Hacim 2 ve 3 açık planlı ofisleri temsilen (F_A) değerleri 0.00 olarak alınmıştır. Kontrol sisteminin ilişkilendirilmesi ile (F_O) değerleri Hacim 1 için; kontrol sisteminin manuel olması durumunda 0.900, otomatik olması durumunda 0.800 olarak seçilmiştir. Hacim 2 ve 3 için kontrol sisteminin manuel ve otomatik olması durumu için (F_O) değeri 1.000 olarak seçilmiştir.

Gün Işığı Bağımlılık Faktörü (F_D) Hesaplanması: Yıllık toplam aydınlatma enerjisinin hesaplanması için günışığı bağımlılık faktörü (F_D)'nün belirlenmesi gerekmektedir. Günışığı bağımlılık faktörü, yapma aydınlatma sistemlerinin kontrol özelliğine ve günışığı sağlama faktörüne bağlıdır. Günışığı sağlama faktörü Bölüm 2.4'de belirtildiği gibi hacmin bulunduğu coğrafi konumun enlem ve boylam değerlerine, günışığı faktörünün sınıfına ve istenen ortalama aydınlık düzeyine göre değişim göstermektedir. Geliştirilen bu çalışmada, Trabzon İline ait enlem ve boylam değerleri ($41^\circ 0' 19''$ Kuzey, $39^\circ 43' 4''$ Doğu) ile Trabzon İli için Tipik Meteorolojik Yıl olarak derlenmiş verilerden elde edilen dış aydınlık değerleri doğrultusunda hesaplamalar yapılmıştır. Ofis hacimleri için istenen ortalama aydınlık düzeyi 500 lux olarak belirlenmiştir.

Hacimlerin sahip olduğu günışığı sağlama faktörü ($F_{D,S}$) ve günışığına bağlı yapma aydınlatma kontrolü ($F_{D,C}$) Bölüm 2.4'de belirtilen eşitlikler uyarınca her senaryo için belirlenen değişkenler doğrultusunda hesaplanmış ve formül içinde yer alan Gün Işığı Bağımlılık Faktörü (F_D) değeri elde edilmiştir.

Toplam aydınlatma enerjisi tüketimi her hacim için hesaplanarak tüm hacimler için gerekli aydınlatma enerjisi değerlerine (kWh) ulaşılmıştır. Geliştirilen bütünleşik aydınlatma senaryolarına ait TS EN 15193-1+A1:2021 standardı doğrultusunda yapılan enerji hesaplamaları Tablo 64’de sunulmaktadır.



Tablo 64. Ele alınan senaryolara ilişkin hesaplanan toplam aydınlatma enerjisi tüketimi

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresele Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	262,8
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	299,2
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	302,94
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	262,8
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	299,2
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	302,94
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	259,2
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	284,7
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	299,2
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	295,65
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	343
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	295,65
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	295,65
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	343,68
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	295,65
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	292
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	324,8
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	292
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	232,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	272,3
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	278,8
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	232,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	272,3
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	278,8
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	230
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	255,3
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	273,7
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	271,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	328,4
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	271,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	271,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	328,4
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	271,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	270
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	280,3
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	270

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
LED	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	244,62
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	277,4
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	281
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	244,62
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	277,4
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	281
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	244,62
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	277,4
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	281
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	284
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	313,8
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	284
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	281
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	292
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	281
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	281
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	292
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	281
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	219,1
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	248,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	262,8
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	219,1
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	248,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	262,8
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	219,1
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	248,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	262,8
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	265,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	295,6
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	265,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	265,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	271,9
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	265,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	265,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	271,9
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	265,3

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı:2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	394,2
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	448,9
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	454,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	394,2
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	448,9
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	454,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	388,8
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	427
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	448,9
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	443,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	520
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	443,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	443,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	520
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	443,4
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	438
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	487,2
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	438
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	345
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	394,2
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	416,1
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	345
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	394,2
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	416,1
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	345
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	361,4
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	416,1
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	407,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	448,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	407,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	407,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	448,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	407,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	407,9
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	420,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	407,9

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu: 18,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı:2 kişi- Hücresel Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	366,9
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	416,1
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	421,6
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	366,9
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	416,1
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	421,6
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	366,9
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	416,1
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	421,6
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	426,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	470,8
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	426,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	426,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	442,9
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	426,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	409,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	442,3
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	409,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	328,6
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	376,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	394,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	328,6
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	376,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	394,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	328,6
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	376,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	394,2
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	398
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	443,4
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	398
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	398
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	407,9
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	398
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	378,4
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	407,9
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	378,4

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	906
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	1027
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	1041
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	906
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	968
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	1041
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	906
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	958,6
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	1041
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1093,6
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1093,6
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1053
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1053
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	811,5
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	928,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	969,4
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	811,5
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	856
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	969
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	811,5
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	856
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	969
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1007
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1007
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	982,9
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	982,9

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyut:72,5m ²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	KWH
LED	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	906
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	968
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	1041
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	865,5
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	968,1
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	1005
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	865,5
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	968,1
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	1005
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	1053
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1093,6
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1053
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	1011,3
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1092,3
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1011,3
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	1011,3
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1092,3
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1011,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	808,8
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	856
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	969,4
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	768,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	861,4
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	927,6
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	768,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	861,4
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	927,6
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	983
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1007,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	983
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	934,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1007,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	934,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	934,3
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1007,2
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	934,3

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu: 72,5 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	1359
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	1540,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	1561,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	1359
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	1452
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	1561,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	1359
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	1438
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	1561,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1639,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1639,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1579,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1579,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	1217
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	1393
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	1454
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	1217
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	1284
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	1453
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	1217
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	1284
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	1453,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1474
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1510,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1474,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	1474,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1510,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1474,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	1474,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1474,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1474,5

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyut:72,5m ²						
Kullanıcı Sayısı: 8 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	1359
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	1452
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	1561,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	1298
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	1452
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	1507
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	1298
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	1452
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	1507,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	1579,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1640
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1579
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	1516,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1638
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1516,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	1516,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1638
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1516,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	1213
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	1284
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	1453
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	1152
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	1292
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	1391
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	1152
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	1292
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	1391
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	1474,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1510,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1474,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	1401
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1510,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1401,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	1401
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1510,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1401

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu:168,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	1585,5
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	1694
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	1821
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	1585,5
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	1694
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	1821
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	1514,5
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	1703
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	1760
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1843
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1913
LED	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1843
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	1843
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1913
LED	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1843
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	1769
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1911
LED	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1769
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	1415
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	1696
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	1415
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	1696
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	1344
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	1623
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1720
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1720
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	1720
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1720
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	1635
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1635

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyut:168,75m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
LED	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	1585,5
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	1694
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	1821
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	1514
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	1694
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	1760
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	1514
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	1694
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	1760
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	1843
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1913
LED	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1843
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	1769
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1911
LED	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1769
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	1769
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1911
LED	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1769
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	1415
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	1696
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	1344
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	1623
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	1344
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	1498
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	1623
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	1720
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	1720
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	1635
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	1635
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	1635
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	1762
LED	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	1635

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyutu:168,75 m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Yok	2377,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	2541
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	2731,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Yok	2377,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	2541
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	2731
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Yok	2271
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	2554
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	2640
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	2764,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	2869,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	2764,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	2764,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	2869,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	2764,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	2653,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	2866,5
Flüoresan	Manüel	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	2653,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Yok	2122,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Güney	İç jaluzi	2544
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Yok	2122,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Güney	İç jaluzi	2544
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Yok	2016
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Güney	İç jaluzi	2434,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	2580
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	2580
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Yok	2580
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	2580
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Yok	2452,5
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	240wx180h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	2452,5

Tablo 64'ün devamı

Mekân Boyut:168,75m ²						
Kullanıcı Sayısı: 18 kişi- Grup Ofis						
Mekânda gerçekleşen eylemler: okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma						
YAPAY AYDINLATMA		DOĞAL AYDINLATMA DEĞİŞKENLERİ				ENERJİ KWH
LAMBA TÜRÜ	KONTROL SİSTEMİ	PENCERE BİÇİMİ	CAMIN GEÇİRGENLİĞİ	YÖNELME	GÖLGELEME ELEMANI	
Flüoresan	Manüel	360w x120h	0,65	Güney	Yok	2378
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	2541
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	2731,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Yok	2271
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	2541
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	2640
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Yok	2271
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	2541
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	2640
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	2764,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	2869,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	2764,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	2653,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	2866,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	2653,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	2653,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	2866,5
Flüoresan	Manüel	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	2653,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Yok	2122,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Güney	İç jaluzi	2544
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Yok	2016
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Güney	İç jaluzi	2434,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	2016
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Dış saçak	2247
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	İç jaluzi	2434,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Yok	2580
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,65	Kuzey	İç jaluzi	2580
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Yok	2452,5
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,78	Kuzey	İç jaluzi	2452
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Yok	2452
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	Dış saçak	2643
Flüoresan	Otomatik	360wx120h	0,90	Kuzey	İç jaluzi	2452,5

3.4.2. Elde Edilen Toplam Aydınlatma Enerjisi Tüketim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yaklaşımda önerilen enerji hesap yöntemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan değişkenlerin yıllık aydınlatma enerji gereksinimlerini farklı düzeylerde etkiledikleri görülmektedir. Tablo 65’de tüm ofis hacimlerinde yapma aydınlatma sistemi, kontrol sistemi, pencere biçimi, yönelme, camın ışık geçirgenliği ve güneş kontrol elemanı parametreleri ile aydınlatma enerjisi gereksinimi arasındaki anlamlı ilişkileri gösteren korelasyon değerleri sunulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, yapma aydınlatma sisteminin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etki eden parametre olduğu görülmektedir. Hacim boyutlarındaki değişim de anlamlı düzeyde mekânlardaki enerji tüketimini etkilemektedir. Yönelme parametresi yani pencere açıklıklarının bina cephesinde hangi yönde yer aldığı, yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etki eden ikinci parametre olarak grafikte yer almaktadır. Hacimlerde kontrol sisteminin varlığı ve güneş kontrol elemanına ilişkin parametrelerin enerji tüketimine etki eden parametreler arasında sırasıyla üçüncü ve dördüncü derecede yer aldığı görülmektedir. Pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliğinin yıllık toplam aydınlatma enerjisini daha düşük düzeyde etkilediği görülmektedir.

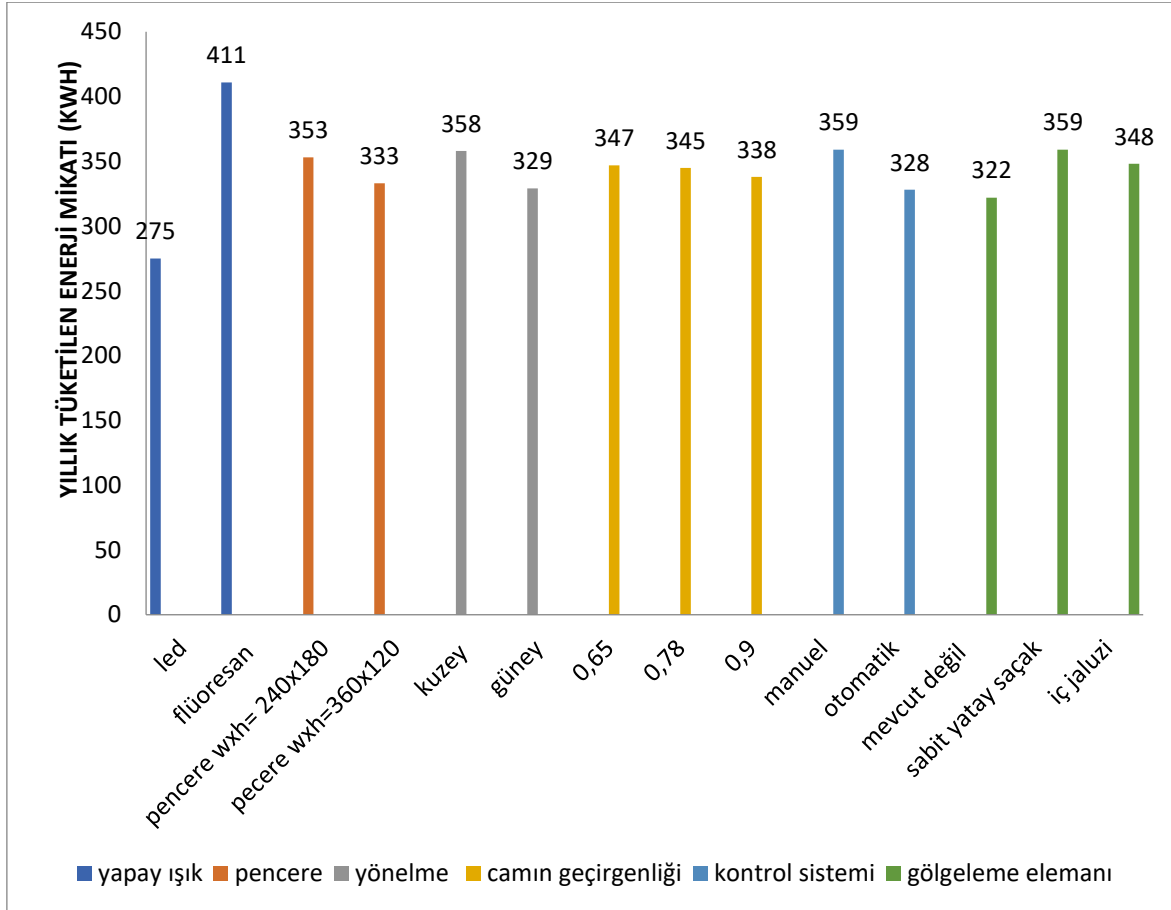
Yıllık toplam aydınlatma enerjisine etki eden parametreler üç farklı hacim için ayrıca incelenmiştir. Hacim 1 için yapay aydınlatma sisteminin yıllık toplam aydınlatma enerjisine en fazla etki eden parametre olduğu görülmektedir. Yönlenme ve kontrol sistemi parametreleri yakın derecelerde ve önemli etkiye sahiptirler. Güneş kontrol elemanı, pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliği parametrelerinin enerji gereksinimini daha düşük düzeyde etkilediği görülmektedir. Hacim 2 için elde edilen sonuçlar Hacim 1 ile çoğunlukla benzer özellikler göstermektedir. Hacim 2’de Hacim 1’den farklı olarak pencere biçiminin daha yüksek değerlerde etki ettiği görülmektedir. Hacim 3 için elde edilen sonuçlara göre yönelmenin etki derecesi diğer hacimlere göre düşmektedir. Pencere biçiminin sağladığı etki diğer hacimlere göre oldukça yüksektir. Camın ışık geçirgenliğinin etkisi ise diğer hacimlere göre oldukça azalmaktadır.

Tablo 65. Bütünleşik aydınlatma senaryoları ile yıllık toplam aydınlatma enerjisi arasındaki anlam ilişkileri

		TS EN 15193-1+A1 Yıllık Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi			
Yapay aydınlatma parametreleri	Korelasyon katsayısı Anlamlılık değeri	Toplam hacimler	Hacim 1	Hacim 2	Hacim 3
Lamba Gücü	r	.311**	.901**	.920**	.914**
	p	.000	.000	.000	.000
Lamba türü	r	.311**	.901**	.920**	.914**
	p	.000	.000	.000	.000
Kontrol Sistemi	r	-.069	-.209*	-.200*	-.205*
	p	.151	.012	.017	.014
Doğal aydınlatma parametreleri	Korelasyon k. Anlamlılık d.	Toplam hacimler	Hacim 1	Hacim 2	Hacim 3
Pencere biçimi	r	-.014	-.134	-.049	-.023
	p	.768	.108	.562	.786
Camın ışık geçirgenliği	r	-.017	-.051	-.044	-.055
	p	.721	.545	.603	.515
Yönelme	r	.079	.193*	.230**	.242**
	p	.100	.021	.006	.004
Güneş kontrol elemanı	r	.049	.141	.143	.144
	p	.311	.091	.087	.084
Hacim boyutları	r	-.919**			
	p	.000			
p<0.01		p< 0.05	0.1 < p < 0.05	0.7 < p < 0.1	

Yaklaşımda önerilen enerji hesap yöntemi ile bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan yapma aydınlatma sistemi, kontrol sistemi, pencere biçimi, yönelme, camın ışık geçirgenliği ve güneş kontrol elemanı parametrelerine bağlı olarak hesaplanan yıllık aydınlatma enerji gereksinim değerleri her hacim için karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Şekil 32’ de Hacim 1 için hesaplanan sonuçlar incelendiğinde seçenekler arasında en büyük fark LED ve Flüoresan ışık kaynakları arasında olduğu belirlenmiştir. Yapma aydınlatma tasarımının LED lamba kullanımı ile gerçekleştiği durumda, flüoresan lamba kullanımına oranla %33 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Gölgeleme elemanları arasındaki fark dikkate alındığında, gölgeleme elemanın mevcut olmadığı durumda %10 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Gölgeleme elemanının yatay saçak olduğu alternatiflerde enerji tüketimini arttığı görülmüştür. Kontrol sisteminin otomatik olması manuel seçeneğine göre %9 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Yönlenme parametresi incelendiğinde pencere açıklıklarının güney cephesinde yer almasının kuzey cephesine göre enerji tüketiminde %8 oranında düşüş sağladığı görülmektedir. Pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliği

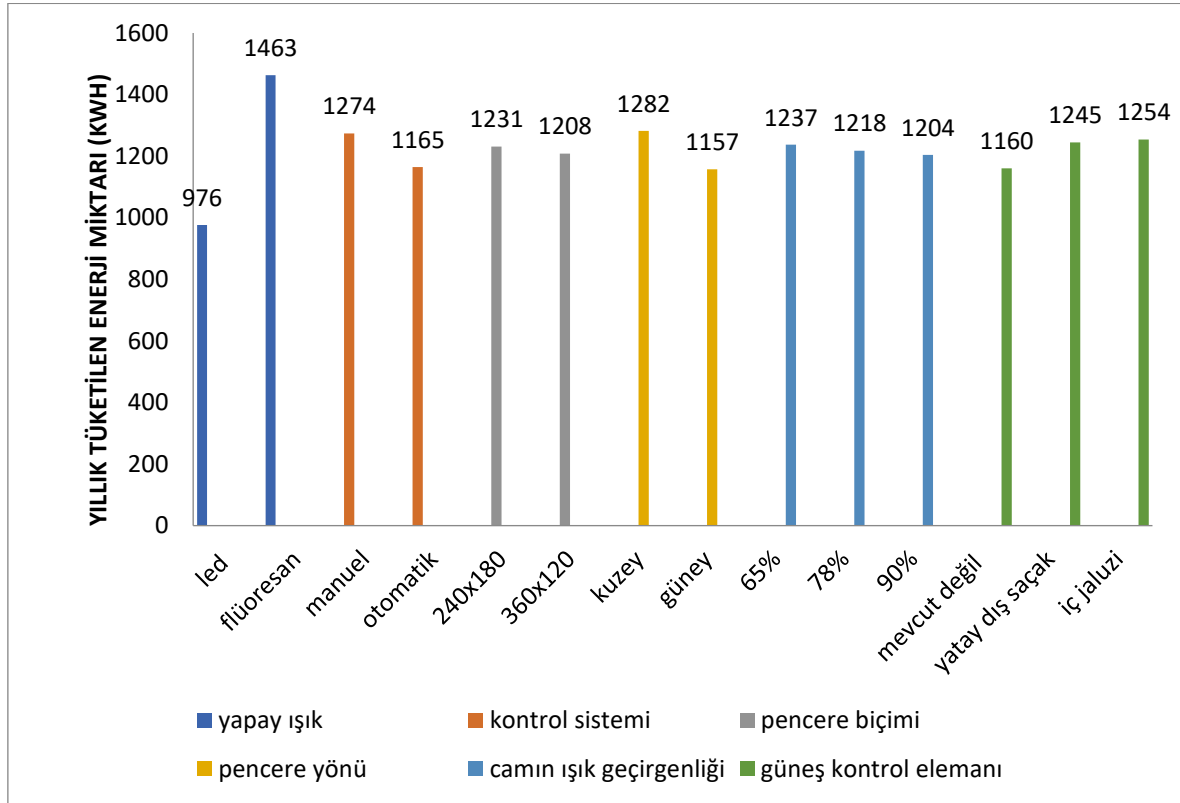
parametreleri dikkate alındığında, alternatifler arasında yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri arasında değişimler olmakla beraber farkların çok düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 32. Hacim 1 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri

Hacim 2 için elde edilen hesaplama sonuçları Şekil 33'deki grafikte belirtilmektedir. Hacim 1'de olduğu gibi seçenekler arasında en büyük fark LED ve Flüoresan ışık kaynakları arasında çıkmaktadır. Yapma aydınlatma tasarımının LED lamba kullanımı ile gerçekleştiği durumda, flüoresan lamba kullanımına oranla %50 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Hacim 1'den farklı olarak gölgeleme elemanları arasında iç jaluzi kullanımı enerji tüketiminin en yüksek gerçekleştiği alternatif olmaktadır. Yönlenme parametresi incelendiğinde, pencere açıklıklarının güney cephesinde konumlanmasının enerji tüketiminde %10 oranında düşüş sağladığı görülmektedir. Hacim 1 ile benzer şekilde kontrol sisteminin otomatik olması manuel seçeneğine göre %8,5 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

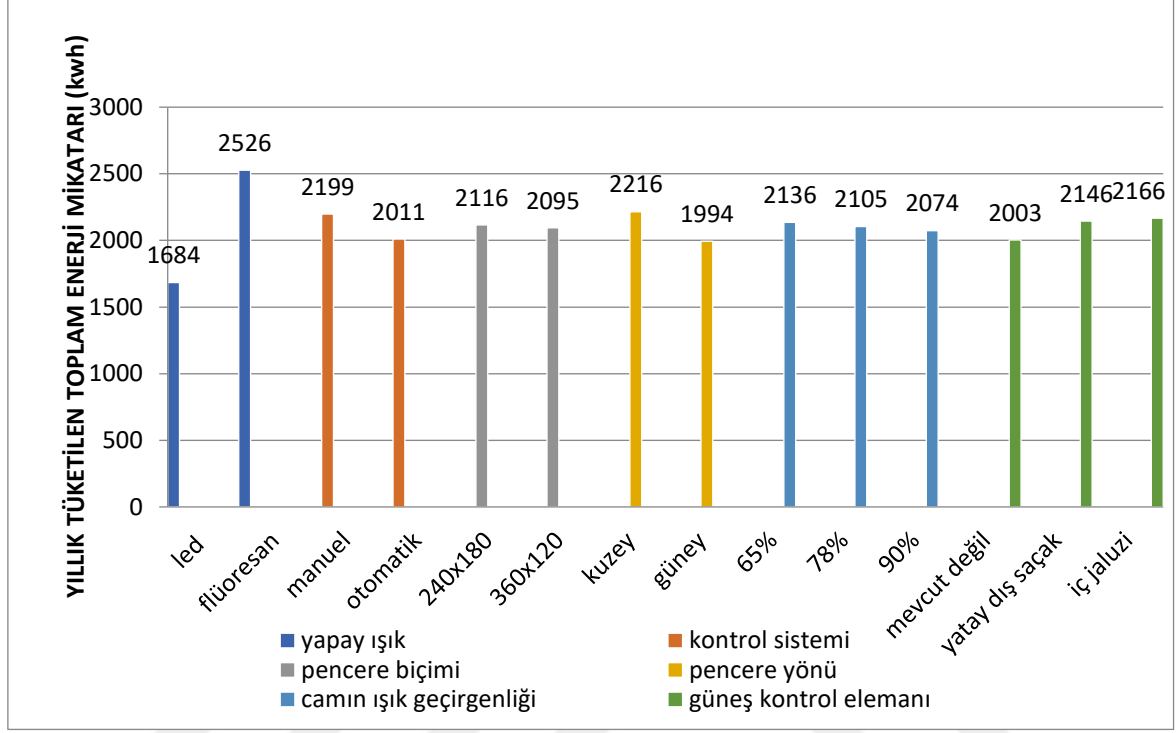
Pencere biçimleri arasındaki farkın Hacim 1'e oranla oldukça azaldığı görülmektedir. Camın ışık geçirgenliğine ait alternatifler dikkate alındığında, yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimleri arasında değişimler olmakla beraber farkların çok belirgin olmadığı görülmektedir.



Şekil 33. Hacim 2 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri

Hacim 3'e ait hesaplamalar doğrultusunda oluşturulan grafik Şekil 34'de verilmektedir. Diğer iki hacimde olduğu gibi seçenekler arasında en büyük fark LED ve Flüoresan ışık kaynakları arasında çıkmaktadır. Yapma aydınlatma tasarımının LED lamba kullanımı ile gerçekleştiği durumda %50 oranında tasarruf sağlandığı görülmüştür. Hacim 2 ile benzer olarak gölgeleme elemanları arasında iç jaluzi kullanımı enerji tüketiminin en yüksek olduğu alternatif olmaktadır. Kontrol sistemi ve yönelme parametreleri incelendiğinde, Hacim 2 ile aynı oranda değişimler hesaplanmıştır. Pencere biçimleri arasındaki farkın Hacim 1 ve 2'ye oranla oldukça azaldığı görülmektedir. Diğer hacimlerde olduğu gibi camın ışık geçirgenliğine ait alternatifler dikkate alındığında, yıllık aydınlatma

enerjisi gereksinimleri arasında değişimler olmakla beraber farkların çok belirgin olmadığı görülmektedir.



Şekil 34. Hacim 3 için geliştirilen alternatiflere ait yıllık toplam aydınlatma enerjisi gereksinimleri

3.4.3. Ofis Hacimlerinin Aydınlatma Enerji Sınıflarının Belirlenmesi

Ele alınan ofis hacimlerinde aydınlatma enerjisi sınıflarının belirlenmesi, Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine (BEP-TR) göre gerçekleştirilmiştir. Avrupa Birliği tarafından yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2002/91/EC) üzerine Türkiye için geliştirilen bu yöntem, TS EN 15193 standardında tanıtılan yöntemi esas alarak ofisler, eğitim binaları, hastaneler, ticari binalar gibi çeşitli tipolojilerdeki mevcut ve yeni binaların aydınlatma enerji performansını değerlendirmektedir (Şener ve Ünnü, 2011; Karatay ve Günaydın, 2021).

Çalışmada geliştirilen bütünleşik aydınlatma senaryoları için aydınlatma enerji gereksinimine dair hesaplamalar bir önceki bölümde TS EN 15193 standardı doğrultusunda yapılmıştır. Burada elde edilen verilerden her hacim için en iyi sonucu veren seçenek belirlenerek bu seçenekteki özelliklere sahip bir hacim için aydınlatma enerji sınıfının

belirlenmesine karar verilmiştir. Ele alınan ofis hacimlerinde aydınlatma enerjisi sınıflarının belirlenmesi Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yöntemi'ne göre gerçekleşmiştir. Bu yönteme göre referans bina enerji kimlik belgesi üretilecek bina ile aynı yerde aynı geometriye sahip fakat bina sistemlerine minimum uygunluk gösteren bir bina olarak nitelendirilmektedir (BEP-TR, 2010). Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yönteminde binalarda işleve bağlı olarak istenen aydınlık düzeyinin sağlanması için gerekli ışık akısının %50'sinin 35 W güce, 3150 lümen ışık akısına sahip tüp floresan lambalarla; %30'unun 18 W güce, 1100 lümen ışık akısına sahip kompakt flüoresan lambalarla ve %20'sinin 20 W güce, 1900 lümen ışık akısına sahip led lambalarla sağlandığı kabul edilmiştir. Ele alınan hacmin veya bölümün aydınlatma sistemi, direkt aydınlatma, genişliği etkisi zayıf ve yapma aydınlatma kontrol sistemi manüel olarak kabul edilmektedir (URL- 17, 2022). Bu kabuller dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucu referans hacimlerin yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Tablo 66'da seçilen üç ofis hacmi ve referans hacimler için hesaplanan yıllık enerji tüketim değerlerine yer verilmiştir.

Tablo 66. Asıl hacim ve referans hacimler için hesaplanan yıllık enerji tüketim değerleri

	Yapay Aydınlatma Değişkenleri		Doğal Aydınlatma Değişkenleri				Enerji kwh
	Lamba türü	Kontrol sistemi	Pencere biçimi	Camın geçirgenliği	Yönelme	Gölgeleme elemanı	
Hacim1	LED (30W, 3540lm)	Otomatik	360w x120h	0,90	Güney	Yok	219
Referans Hacim	Flüoresan (35W, 3150lm)	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	350
Hacim 2	LED (30W, 3540lm)	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	768,3
Referans Hacim	Flüoresan (35W, 3150lm)	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	1163
Hacim 3	LED (30W, 3540lm)	Otomatik	360wx120h	0,90	Güney	Yok	1344
Referans Hacim	Flüoresan (35W, 3150lm)	Manüel	240wx180h	0,65	Kuzey	Yok	2036

Ele alınan bir binanın ya da hacmin enerji performansı 8 numaralı Eşitlikle hesaplanabilmektedir. Eşitlik 9'e göre Hacim 1'in E_p değeri 62.8, Hacim 2'nin E_p değeri 66.6 ve Hacim 3'ün E_p değeri 66.3 olarak hesaplanmıştır. Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yönteminde yer alan ve Tablo 67'de ayrıca belirtilen bina performansı değer

aralıklarına göre ele alınan ofis hacimlerinin aydınlatma enerji performansları ‘B’ sınıfı olarak belirlenmiştir.

$$E_p = 100.(EP_a / EP_r) \quad (9)$$

E_p = Binanın Enerji Performansı

EP_a = Asıl Bina'nın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarı (kwh/m^2)

EP_r = Referans Bina'nın yıllık m^2 başına düşen enerji tüketim miktarı (kwh/m^2)

Tablo 67. Enerji performans aralıkları

Enerji sınıfı	E_p aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-.....

3.5. Geliştirilen Aydınlatma Tasarım Parametreleri ile Görsel Konfor ve Enerji Performansı İlişkilerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde ofis hacimlerine ait aydınlatma tasarım parametreleri ve elde edilen görsel konfor ile enerji analiz değerleri arasındaki korelasyon değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde SPSS analiz programı ile Pearson Korelasyon Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient) hesaplaması kullanılmıştır. Korelasyon hesaplama sonuçlarının verildiği Tablo 68’de Pearson korelasyon katsayısı mutlak değeri (r) ve anlamlılık düzeyi (p) belirtilmiştir. Korelasyon değerlendirmelerinde %95 güven düzey aralığı eşik değer olarak kabul edilmiştir. Güven aralığı verilerinin yanı sıra korelasyon katsayısının mutlak değerinin (r) değişkenler arasındaki etki büyüklüğü de önem taşımaktadır. Anlamlılık düzeyinin %99 ve %95 olduğu durumlar tablodaki r değerlerinde sırasıyla çift yıldız (**) ve tek yıldız (*) üs değeri ile belirtilmiş ve renklendirilmiştir. Korelasyon katsayısı değeri (r) pozitif veya negatif bir değer alabilmektedir. Bu değer pozitif ise değişkenler arası pozitif

yönlü doğrusal bir ilişkinin olduğu, negatif ise değişkenler arası negatif yönlü bir ilişki olduğu ifade edilmektedir (Bursal, 2017).

Elde edilen verileri bütüncül bir çerçevede göstermek amacıyla değerlendirmeler bütün hacimleri kapsayacak şekilde bir tabloda sunulmuştur (Tablo 68). Yapay aydınlatma değişkenlerinden ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü ve iç yüzeylerin yansıtma katsayı ortalaması ile görsel konfor koşullarından aydınlık düzeyi arasında %99 güven düzeyinde korelasyon bulunmaktadır ($p < 0.01$). Aydınlatma biçimi ve hacim boyutları değişimleri ile aydınlık düzeyi arasında %95 oranında bir korelasyon olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Görsel konfor koşullarından aydınlığın dağılımını gösteren düzgünlük değeri ile yapay aydınlatma değişkenlerinden aygıt yansıtıcı özellikleri, yüzey yansıtma katsayı ortalaması ve hacim boyutu değişimleri arasında %99 güven düzeyinde korelasyon bulunmuştur ($p < 0.01$). Düzgünlük değeri ile ışık akısı ve etkinlik faktörü değişimleri arasında %95 oranında bir ilişki görülmüştür ($p < 0.05$). Görsel konfor koşullarından kamaşma değeri ile lamba gücü, etkinlik faktörü, aygıt yansıtıcı özelliği ve yüzey yansıtma katsayıları değişimleri arasında %99 güven düzeyinde korelasyon görülmüştür ($p < 0.01$). Yapay aydınlatma değişkenlerinden aydınlatma biçimi ile kamaşma değeri arasında %95 oranında ilişki bulunmaktadır ($p < 0.05$).

Günlüğü performansını ölçmek üzere günışığının hacimlerde minimum aydınlığı sağlama oranı ile hedef aydınlığı sağlama oranları değerlendirmeye alınmıştır. Pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, güneş kontrol elemanı ve yüzeylerin yansıtma katsayısı özellikleri üzerinden geliştirilen doğal aydınlatma değişimleri ile günışığı görsel konfor koşulunu ölçen minimum aydınlığı sağlama oranı ve hedef aydınlığı sağlama oranları arasında %99 oranında korelasyon bulunmuştur ($p < 0.01$). Yönelme değişkeni dikkate alındığında ise hedef aydınlığı sağlama oranı ile %99 oranında olan ilişki minimum aydınlığı sağlama oranında %95 güven düzeyinde görülmüştür.

Yapay aydınlatma değişimleri ile ofis hacimlerinde oluşturulan senaryoların enerji performanslarını değerlendirmek üzere m^2 başına harcanan enerji miktarını gösteren (w/m^2) aydınlatma güç yoğunluğu analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapay aydınlatma değişimleri arasında ışık akısı, lamba gücü, etkinlik faktörü, lamba türü ve iç yüzeylerin yansıtma katsayı ortalaması ile aydınlatma güç yoğunluğu değerleri arasında %99 güven düzeyinde korelasyon görülmüştür ($p < 0.01$).

Çalışmada geliştirilen bütünleşik aydınlatma senaryolarına ilişkin yıllık aydınlatma enerji gereksinimleri hesaplanmıştır. Geliştirilen değişimler ile enerji değerlerinin

ilişkilerine bakıldığında lamba gücü ve lamba türü değişkenleri ile yıllık aydınlatma enerji gereksinimi değerleri arasında %99 güven düzeyinde korelasyon görülmektedir. Pencere biçimi, camın ışık geçirgenliği, yönelme ve güneş kontrol elemanı özellikleri üzerinden yapılan değişkenler ile yıllık aydınlatma enerji gereksinimi değerleri arasında anlam düzeyinde bir ilişki görülmemiştir.



Tablo 68. Oluşturulan aydınlatma aarametreleri için yapılan korelasyon hesaplamaları

		Dialux Evo					Aydınlatma güç yoğunluğu	Enerji TS EN 15193- 1+A1
		Görsel Konfor TS EN 12464-1 Işık ve Aydınlatma- Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması			Görsel konfor TS EN 17037 Binalarda Güneşliği Standardı			
Yapay aydınlatma parametreleri	Korelasyon k. Anlamlılık d.	Aydınlık düzeyi	Düzensizlik	Kamaşma	Hedef aydınlığı sağlama oranı	Minimum aydınlığı sağlama oranı	W/lm/m ²	Yıllık Aydınlatma Enerjisi Gerekisini (KWH)
Işık Akısı	r	.647**	-.128*	-.041			-.357**	
	p	.000	.025	.475			.000	
Lamba Gücü	r	-.383**	.066	.253**			.406**	.311**
	p	.000	.247	.000			.000	.000
Etkinlik Faktörü	r	.565**	-.113*	-.181**			-.437**	
	p	.000	.048	.002			.000	
Lamba türü	r	.563**	-.086	-.017			-.405**	.311**
	p	.000	.134	.761			.000	.000
Aydınlatma Biçimi	r	.121*	.083	-.117*			.018	
	p	.034	.147	.041			.753	
Aygıt yansıtıcı özelligi	r	.065	.217**	-.241**			.017	
	p	.256	.000	.000			.761	
İç Yüzeylerin yan. katsayıları	r	.412**	.248**	-.447**	.130**	.255**	-.157**	
	p	.000	.000	.000	.000	.000	.006	
Kontrol Sistemi	r							-.069
	p							.151
Doğal aydınlatma parametreleri	Korelasyon k. Anlamlılık d.	Aydınlık düzeyi	Düzensizlik	Kamaşma	Hedef aydınlığı sağlama oranı	Minimum aydınlığı sağlama oranı	W/lm/m ²	Yıllık Aydınlatma Enerjisi Gerekisini (KWH)
Pencere biçimi	r				-.250**	-.216**		-.014
	p				.000	.000		.768
Camın ışık geçirgenliği	r				.245**	.153**		-.017
	p				.000	.001		.721
Yönelme	r				-.196**	-.105*		.079
	p				.000	.020		.100
Güneş kontrol elemanı	r				-.552**	-.214**		.049
	p				.000	.000		.311
İç Yüzeylerin yan. katsayıları	r	.412**	.248**	-.447**	.130**	.255**	-.157**	
	p	.000	.000	.000	.004	.000	.006	
Hacim Boyutları	r	-.146*	-.166**	.103	-.485**	-.773**	.781**	-.919**
	p	.011	.004	.072	.000	.000	.000	.000

p < 0.01

p < 0.05

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mekânlarda, insanların çevresini doğru algılayabilmesi, güvenli yaşama ve çalışma koşullarının oluşabilmesi için uygun fizik ortam koşullarının oluşturulması gerekmektedir. Söz konusu koşulların en önemli öğelerinden biri aydınlatma sistemi tasarımıdır. Aydınlatma sistemi tasarımlarında ele alınan tipoloji ve eylem türü için gerekli görsel konfor koşullarının sağlanması, fizyolojik ve psikolojik gereksinimlere karşılık veren doğru tasarım kararları ile mümkündür. Ofisler, 25-65 yaş aralığında geniş bir kitle tarafından gün boyunca aktif kullanılan, kullanıcı sağlığı, konforu ve verimi yönünden önemli mekânlardır. Bu nedenle, ofis mekânlarında doğal ve yapay aydınlatma düzenlerinin, işleve uygun ve görsel konfor koşullarını sağlayacak biçimde uluslararası standartlarda belirlenmiş kriterlerin dikkate alınarak tasarlanması büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde giderek artan enerji ihtiyaçları ve maliyetleri nedeniyle, aydınlatma sistemi tasarımlarında enerji etkinliğinin gözetilmesi konusu son derece önemlidir. Binalarda aydınlatma enerjisinin etkin kullanımı bina enerji tasarrufunda önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle ofis mekânları gibi uzun süreli ve gün boyu kullanılan hacimlerde, harcanan aydınlatma enerjisinin optimum düzeyde tutulması hedefi ile doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin bu amaca yönelik tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ofislerde aydınlatma konusunun yeri ve önemini ortaya koyan bu değerlere bağlı olarak, ofislerde aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji tüketimine etkilerini belirlemeye yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen yaklaşım, aydınlatma sistemi tasarım aşamasında görsel konfor ve enerji performansı açılarından değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi ile optimum aydınlatma tasarım kararlarının elde edilmesini konu edinmiştir.

Belirlenen tasarım parametreleri ile oluşturulan senaryolar sonucu, mekânlarda simülasyon ölçümleri ile elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Yapay aydınlatma sisteminde, görsel konfor analizleri için aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma değerlerini tahmin eden eşitlikler, enerji performansı için $W/(lm/m^2)$ değerlerini tahmin eden eşitlikler üç farklı boyuttaki ofis hacimlerinin her biri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Doğal aydınlatma sisteminde simülasyonlar sonunda elde edilen veriler ile gün ışığı performansını belirlemek üzere, hedef aydınlık düzeyinin ve minimum aydınlık

düzeyinin mekânda günışığı ile sağlanma oranlarını tahmin etmek için, belirlenen değişkenler vasıtasıyla regresyon analizleri yapılmıştır.

Elde edilen modellere ait özet tabloları Bulgular kısmında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu yaklaşıma bağlı olarak, mimarlar ve kullanıcılar, ofis yapıları için aydınlatma sistemi ön tasarım aşamasında, yapay aydınlatma sistemi için görsel konfor ve enerji etkinliği değerlerini, doğal aydınlatma sistemi için günışığı aydınlık düzeyinin mekânlarda sağlanma değerlerini, geliştirilen istatistiksel modeller ile yaklaşık olarak görebilmektedir. Bu yöntem, aydınlatma tasarım parametrelerinin görsel konfor ve enerji etkinliği üzerindeki etkilerini kıyaslamalı olarak göstererek, görsel konfor kriterleri ve enerji etkinliği açısından en uygun parametre özelliğinin belirlenmesine yardımcı olmakta ve ön tasarım aşamasında fikir vermektedir.

İstatistiksel modeller karşılaştırmalı olarak incelendiğinde özetle şu sonuçlara varılmıştır:

- Yapay aydınlatma sistemi için, görsel konfor kriterlerinden aydınlık düzeyi üzerindeki en etkili parametreler; etkinlik faktörü, yüzeylerin yansıtma katsayıları ve aydınlatma biçimi (dolaysız sarkıt aydınlatma) olarak belirlenmiştir.
- Aydınlığın dağılımını etkileyen parametreler; aygıtların yansıtıcı özellikleri, aydınlatma biçimi (dolaysız sarkıt ve dolaylı-dolaysız aydınlatma), ve yüzeylerin yansıtma katsayılarındaki değişim olarak belirlenmiştir.
- Kamaşma kriteri üzerinde etkili olan parametreler; aydınlatma biçimi (dolaysız sarkıt ve dolaylı-dolaysız aydınlatma), aygıtların yansıtıcı özellikleri (mikroprizmatik yansıtıcı aygıtlar) ve yüzeylerin yansıtma katsayılarındaki değişimler olarak belirlenmiştir.
- Tasarım parametrelerinin enerji performansı üzerindeki etkileri dikkate alındığında ise; etkinlik faktörü değerlerindeki ve yüzey yansıtma katsayı değerlerindeki değişimin bu kriterde önemli olduğu belirlenmiştir.
- Doğal aydınlatma sistemi için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, hacimlerin derinliklerindeki artışın mekânlardaki günışığı etkinliğini en fazla etkileyen parametre olduğu belirlenmiştir. Mekânlarda günışığı etkililiğinde; güneş kontrol elemanı ikinci önem derecesinde, pencere biçimi ise üçüncü önem derecesinde yer almıştır.

İstatistiksel analizlerin diğer aşamasında, geliştirilen aydınlatma tasarım parametrelerinden sürekli değişkenler de kategorik olarak gruplanarak diğer kategorik

değişkenlerle birlikte SPSS programında ANOVA ve T- test analizleri ile incelenmiştir. Bu testler aracılığı ile tasarım parametlerine ait oluşturulan grupların sunduğu ortalama değerler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çıkarımsal İstatistik Yöntemi (T-Test ve ANOVA) ile yapılan değerlendirmelerin sonuçları özetle aşağıda belirtilmektedir:

- Işık akısı, lamba gücü, lamba türü ve etkinlik faktöründeki değişimler aydınlık düzeyi ve enerji performansı kriterlerinde anlamlı değişime yol açmıştır.
- Aydınlatma biçimindeki değişimin aydınlık düzeyi, aydınlığın dağılımı ve kamaşma kriterleri için anlamlı etkiye neden olmuştur.
- Aygıt yansıtıcı türündeki değişimin düzgünlük ve kamaşma kriterlerini anlamlı olarak etkilediği görülmektedir.
- Yüzey yansıtma katsayılarındaki değişimin bütün kriterleri anlamlı olarak etkilemiştir.

Yapılan analizler sonucunda yapay aydınlatma sistemi için görsel konfor ve enerji performansı, doğal aydınlatma sistemi için gün ışığı performansının optimum değerlerde elde edilmesini sağlayan alternatifler tasarımcılar ve kullanıcılar için faydalı olabilecek öneriler olarak Tablo 69’da sunulmaktadır.

Tablo 69. Kullanıcılar ve tasarımcılar için sunulan öneriler

MEKAN TÜRÜ: Ofis			
KULLANICILAR: Ofis personeli			
MEKÂNDAKİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULMASI GEREKEN EYLEMLER: Genel ofis çalışma alanı, okuma, yazma, bilgisayar ortamında çalışma			
YAPAY AYDINLATMA ÖNERİLERİ			
Sabit alınan değerler: CCT:4000K, Ra≥80,Aygıt Formu: lineer			
Yapay Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 12464-1			
	Hacim 1: 18.75 m ² Hücresele ofis: 2 kişi	Hacim 2: 72.5 m ² Grup Ofis: 8 kişi	Hacim 3: 168.75 m ² Grup Ofis: 18 kişi
Işık Akısı:	2900-4000 lm	3200-4000 lm	3200-4000 lm
Lamba gücü:	20-38W	20-30 W	30-38 W
Lamba Türü :	LED	LED	LED
Aydınlatma Biçimi:	Dolaysız yüzeye monte	Dolaysız yüzeye monte	Dolaysız yüzeye monte
Aygıt Yansıtıcı Türü:	Mikroprizmatik	Mikroprizmatik	Mikroprizmatik
YüzeyYansıtma Katsayısı:	Döşeme: 0,3 Duvar: 0,5 Tavan: 0,7	Döşeme: 0,5 Duvar: 0,7 Tavan: 0,9	Döşeme: 0,5 Duvar: 0,7 Tavan: 0,9
DOĞAL AYDINLATMA ÖNERİLERİ			
Sabit alınan değerler: Saydamlık Oranı: %40 Engel durumu: Engelsiz			
Doğal Aydınlatma Ölçütleri: TS EN 17037			
	Hacim 1, 2, 3		
Pencere Biçimi:	(240 cm w x180cm h)Tek parça		
Camın Geçirgenliği:	0,90		
Gölgeleme Elemanı:	Yatay Dış Saçak		
Yönelme:	Güney		

Çalışmanın bir sonraki bölümünde ele alınan ofis hacimleri için yapay ve doğal aydınlatma sistemlerinin optimum birleştirilmesi sürecine yer verilmiştir. Ele alınan ofis hacimleri için geliştirilen yapay ve doğal aydınlatma senaryolarına ilişkin aydınlatma enerjisi gereksinimleri hesaplanmış ve enerji performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım uyarınca, ele alınan senaryolara ilişkin doğal ve yapma çevre tasarım parametreleri, bina kullanıcılarına ilişkin parametreler, binanın kullanım saatleri ve binanın yapay ve doğal aydınlatma sistemine ait özellikleri dikkate alan TS EN 15193-1+A1:2021 standardında önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

Elde edilen toplam aydınlatma enerjisi tüketimi sonuçlarının değerlendirilmesi özetle şu şekildedir:

Yaklaşımında önerilen enerji hesap yöntemi ile, bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan değişkenlerin yıllık aydınlatma enerji gereksinimleri üzerindeki etkilerini görmek üzere korelasyon değer tablosu oluşturulmuştur. Buradaki sonuçlar incelendiğinde,

- Yapay aydınlatma sisteminin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etkileyen parametre olduğu görülmüştür.
- Doğal aydınlatma sistemi değişkenleri arasından yönelme parametresinin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en fazla etkileyen parametre olduğu görülmüştür.
- İkinci derecede önem düzeyine sahip parametrenin güneş kontrol elemanı olduğu görülmüştür. Pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliğinin yıllık toplam aydınlatma enerjisini en düşük düzeyde etkilediği görülmüştür.

Yaklaşımda önerilen enerji hesap yöntemi ile bütünleşik aydınlatma senaryolarında tanıtılan yapma aydınlatma sistemi, kontrol sistemi, pencere biçimi, yönelme, camın ışık geçirgenliği ve güneş kontrol elemanı parametrelerine bağlı olarak hesaplanan yıllık aydınlatma enerji gereksinim değerleri her hacim için karşılaştırmalı olarak kıyaslanmıştır. Hesaplanan sonuçlara bağlı olarak yapılan değerlendirmeler özetle aşağıda belirtilmektedir:

- Yapma aydınlatma tasarımının LED lamba kullanımı ile gerçekleştiği durumda, flüoresan lamba kullanımına oranla %33-50 oranında tasarruf sağlandığı ve yıllık aydınlatma enerji gereksiniminin tüm seçenekler içinde en düşük değerde olduğu görülmüştür.
- Doğal aydınlatma seçenekleri kapsamında gölgeleme elemanları arasındaki fark dikkate alındığında, gölgeleme elemanı olmadığı durumda %8-10 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Hacim 1 için gölgeleme elemanın dış yatay saçak olması durumu en fazla enerji tüketiminin görüldüğü seçenek olmuştur. Hacim 2 ve Hacim 3’de Hacim 1’den farklı olarak, gölgeleme elemanları arasında iç jaluzi kullanımı enerji tüketiminin en yüksek olduğu alternatif olmuştur.
- Kontrol sisteminin otomatik olması manuel seçeneğine göre her üç hacim için de % 8-9 oranında enerji tasarrufu sağlamıştır.
- Yönlenme parametresi incelendiğinde, pencere açıklıklarının güney cephesinde konumlanmasının enerji tüketiminde %8-10 oranında düşüş sağladığı görülmüştür.
- Bütün hacimler açısından pencere biçimi ve camın ışık geçirgenliği parametreleri dikkate alındığında, alternatifler kapsamında yıllık aydınlatma enerji gereksinimleri arasında değişimler olmakla beraber farkların çok düşük düzeyde olduğu görülmüştür.

Çalışmada geliştirilen bütünleşik aydınlatma senaryoları için aydınlatma enerji gereksinimine dair hesaplamalar TS EN 151963 standardı doğrultusunda yapılmıştır. Burada elde edilen verilerden her hacim için en iyi sonucu veren seçenek belirlenerek bu seçenekteki

özelliklere sahip bir hacim için aydınlatma enerji sınıfının belirlenmesine karar verilmiştir. Ele alınan ofis hacimlerinde aydınlatma enerjisi sınıflarının belirlenmesi Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yöntemi'ne göre gerçekleşmiştir. Bina Enerji Performansı Referans Bina Belirleme Yöntemi'nde yer alan değer aralıklarına göre ele alınan ofis hacimlerinin aydınlatma enerji performansları 'B' sınıfı olarak belirlenmiştir.

Çalışmada son olarak, elde edilen verileri bütüncül bir çerçevede göstermek adına ofis hacimlerine ait aydınlatma tasarım parametreleri ve elde edilen görsel konfor ile enerji analiz değerleri arasında korelasyon değerlendirmeleri yapılarak, ilişkilerdeki anlamlılık düzeyleri kapsamlı olarak Tablo 68'de sunulmuştur.

Tüm bu değerlendirmeler sonucu elde edilen veriler, ofislerde görsel konfor ve optimum enerji kullanımına ilişkin bir yaklaşım ortaya koymakta olup, aydınlatma tasarımlarında uygun tasarım seçeneklerinin oluşturulması ya da bir aydınlatma düzeninin iyileştirilmesi sürecinde kullanılabilir olmayı hedeflemektedir. Geliştirilen yaklaşım tüm Türkiye kapsamında başka bölge ya da illerde tekrarlanarak geliştirilebilir. Uygulama çalışması, ofis örneğinde gerçekleştirilmiştir. Başka bir çalışma kapsamında, farklı bina tipolojilerine ilişkin geliştirilmesi de mümkündür. Bu durumda ele alınacak olan diğer bina tipolojilerine ilişkin gerekli aydınlatma kriterlerinin ofislerde olduğu gibi uluslararası standartlar uyarınca tanımlı olması beklenmektedir.

Geliştirilen yaklaşım ile birlikte sürdürülebilir binaların aydınlatma tasarımları ve mevcut binaların bu doğrultudaki yenilenmesi sürecinde, doğal ve yapma aydınlatma ürünlerinin uygun bir şekilde seçimi, analizi ve kullanımı konularındaki farkındalığın artması beklenmektedir.

Ofis mekânlarında doğal ve yapay aydınlatma düzenlerinin işleve ve eyleme uygun, enerji etkin tasarım ölçütleri dikkate alınarak, görsel konfor koşullarını karşılayacak biçimde kurgulanması ile kullanım süresince kullanım ve bakım giderlerinin azaltılması sağlanarak ülke ekonomisine, iş kalitesinin artması sağlanarak da verimliliğe katkısı büyük olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Acosta, I., Munoz, C., Campano, M. A. ve Navarro, J., 2016. Analysis of Daylight Factors and Energy Saving allowed by Windows under Overcast Sky Conditions, Renewable Energy, 77, 194-207.
- Aghemo, C. ve 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.
- Atmaca, A. B., Çağlar, F. Z., Ünver, F. R. ve Gedik, G. Z., 2022. Güçlendirme Yapılan Binalarda Görsel Konfor Değişiminin Saptanması ve İyileştirilmesi için Bir Yöntem: eğitim binası-derslik örneği, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37, 4, 1915-1930.
- Bailey, S., 1990. OFFICES, Butterworth Architecture Briefing and Desing Guides, Courier International LTD, London.
- Baker, N. ve Steemer, K., 2002. Daylight Design of Buildings, James & James, London.
- Başkan, T. B. ve Sözen, M. Ş., 2006. Dersliklerde Görsel Konfor ve Enerji Etkin Kullanımı- Bir Örnek Derslik Aydınlatması, Megaron, 1(2-3), 143-153.
- Başkan, T. B., 2004. Bir Tasar Ölçütü Olarak Dersliklerde Görsel Konfor ve Optimum Enerji Kullanımı için Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayram, G., 2015. A Proposal For A Retrofitting Model For Educational Buildings in Terms of Energy Efficient Lighting Criteria, Doktora Tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İzmir.
- Bayram, N., 2004. Sosyal Bilimlerde SPSS ile Veri Analizi, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Bircan, P. ve Yener, A., K., 2019. İlköğretim Dersliklerinde Günışığı Performansının TS EN 17037 Standardı Açısından Değerlendirilmesine ilişkin bir Çalışma, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 18-19 Eylül, İstanbul Bildiri Kitabı: 97-105.
- Birren, F., 1988. Light, color and environment. Pennsylvania: Schiffer Publishing Ltd.
- Bostancı, T. B., 1996. Büroların Aydınlatma Düzenleri Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boyce, P. R., 2003. Human Factors in Lighting, Lighting Research Center, London: Taylor and Francis.

- Bursal, M., 2017. SPSS ile Temel Veri Analizleri, 1. baskı, Anı Yayıncılık, Ankara.
- Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. ve Köklü, N., 2018. Sosyal bilimler için istatistik, Pegem Akademi, Ankara.
- Can, A., 2017. SPSS ile bilimsel araştırma sürecinde nicel veri Analizi (4. Baskı), Pegem Akademik Yayıncılık, İstanbul.
- Çelebi, Ş., (2009). Büro Hacimlerinin İç Yüzeylerindeki Işıklık Dağılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çelebi, Z., 2007. Aydınlatma Tasarımında Kullanılan Bilgisayar Programları Üzerine bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, K. ve Ünver, F. R., 2019. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı Yaklaşımı, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34, 3, 49-63.
- Çelik, K., 2018. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Aydınlatma Tasarımı için Bütüncül bir Yaklaşım, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Çelik, K., Özcan, K. E. ve Ünver, R., 2015. Hacim ve Aygıt Özelliklerinin Aydınlığa Etkisinin Açık Planlı Ofis Örneğinde İncelenmesi, Megaron, 10,1, 80-91.
- Çelikkol, Y., 2012. Lighting Energy Management For Office Buildings and A Case Study, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- CIBSE Commissioning Code C., 2001. Automatic controls, The Chartered Institution of Buildings Services Engineers, London.
- CIBSE Guide, F., 2012. Energy Efficiency in Buildings, The Chartered Institution of Buildings Services Engineers, London.
- CIBSE., 1984. Code for Interior Lighting, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- CIBSE., 1999. LG 10: Daylighting and Window Design (Lighting Guide), The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
- CIE Publication., 1995. Discomfort Glare In Interior Lighting, No: CIE 117-1995, Commission Internationale de L'eclairage, Viyana.
- CIE Publication., 2006. Test Cases to Assess the Accuracy of Ligthing Computer Programs, No: 171:2006, Commission Internationale de L'eclairage, Viyana.

- CIE Publication.,1955. Natural daylight, Official recommendation, *Compte Rendu CIE 13*, Commission Internationale de L'eclairage, Paris.
- Cilasun, A., 2016. Using Daylight Systems to Reduce Energy Consumption Due to Lighting: A Case Study of Yaşar University Cafeteria. 2. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 4-6 Mayıs, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 331-340.
- Düzgün, N. ve Yağmur, Ş. A., 2019. Nitelikli Aydınlatma için Günışığı-Pencere Camı Özelliklerinin Hacim içi Aydınlığa Etkisi, 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 18-19 Eylül, İstanbul Fuar Merkezi, İstanbul, 137-145.
- Egan, M., D. ve Olgyay, V., W., 2002. Architectural Lighting, McGraw Hill, New York.
- Eldem, N., 1978. İdari ve Ticari Büro Binaları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yeterlilik Çalışması, İstanbul Matbaacılık.
- Erhart, K. D., 2012. An Approach to the Evaluation of Daylight Impact and Contribution to the Energy Demand of Office Buildings in the Urban Context, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Erkin, E., 2012. Ofis Binaları İçin Aydınlatma Enerjisi Tasarruf Potansiyelleri Hesaplama Amaçlı Bir Yöntem Önerisi, Doktora Tezi, İTÜ, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Erkin, E., Yurtseven, M. B., Güler, Ö. ve Onaygil, S., 2013. LED Panel Armatürlerin Ofis Aydınlatmasında Retrofit Amaçlı Kullanımının İncelenmesi, VII. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 21-24 Kasım, İzmir, 15-21.
- Francesco, G., 2016. Search for optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and implications on total energy saving potential, *Solar Energy*, 132, 467-492.
- Ghisi, E. ve Tinker, J., 2005. An Ideal Window Area Concept for Energy Efficient Integration of Daylight and Artificial Light in Buildings, *Building and Environment*, 40, 51-56.
- Güvenkaya, R. K., 2008. İlköğretim Dersliklerinde Aydınlatma Enerjisi Yönetimi Açısından Yönlere Göre Uygun Cephe Seçeneklerinin Belirlenmesi Üzerine bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Hasol, D., 1990. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, YEM Yayınları, 4. Baskı, İstanbul.
- IESNA., 2011. The Lighting Handbook Reference and Application, 10th Edition. Editors: D.L. DiLaura, K.W. Houser, R.G. Mistrick, G.R. Steffy. New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Jakubiec, A. ve Reinhart, C., 2010. The use of Glare Metrics in Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice, 9th International Radiance Workshop, Eylül 20-21.

- Kaçel, S. ve Yener, A. K., 2008. The Effect of Facade Design on Lighting Energy Consumption in Offices: A case Study in Turin, Italy, Architectural Science Review, 51, 4, 360-368.
- Kalaycı, Ş., 2005. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karatay, M. ve Günaydın, İ. T., 2021. Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Yapma Aydınlatma Sistemi ve Farklı İklim Bölgeleri Üzerinden Analizi, Euroasia Journal Of Mathematics, Engineering, Nautral & Medical Sciences, 8 ,17, 95-113.
- Keleş, N. S., 2016. Gölgeleme Elemanlarının Bina Enerji Harcamalarına ve Kullanıcı Konforuna Etkisinin Değerlendirilmesi: Üniversite Kampüsünde bir Ofis Binası Örneği, 2.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 4-6 Mayıs, İTÜ Mimarlık Fakültesi İstanbul, 63-73.
- Kesten, D., 2006. Investigation of Efficient Lighting System Design In Educational Buildings at The Example “Municipal School of La Tour De Salvagny, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kılıç, Z. A., 2018. Cephe Açıklıklarının İç Mekandaki Güneşliği Performansına Etkisinin Konut Örneğinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kılıç, Z. A., Harputoğlu, E., R. ve Yener, A., K., 2021. Binalarda Güneşliği Etkinliğine bağlı Aydınlatma Enerji Gereksiminin Belirlenmesi: TS EN 1593-1:2017 ve İklimle Dayalı Güneşliği Modeli, 13. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 6-7 Ekim, Bildiriler Kitabı, 151-159.
- Kruithof, A. A., 1941. Tubular Fluorescent Lamps for General Illumination, Philips Technical Review, 6, 3, 65-99.
- Kutlu, R., 2019. Bir Tasarım Ögesi Olarak Güneşliği, The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication- TOJDAC 9, 2, 226-233.
- Küçükdoğu, M. Ş., vd. (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Proje No: İNTAG 201, TÜBİTAK İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Araştırma Projesi Raporu.
- Kwong, Q. J., 2020. Light level, visual comfort and lighting energy savings potential in a green-certified high-rise building, Journal of Building Engineering, 29, 101198.
- Law, W., 1977. Perception and Lighting as Form Giver for Architecture, McGraw-Hill, New York, ABD.
- Lehner, N., 2015. Heating, Cooling, Lighting, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Manav, B. ve Küçükdoğu, M. Ş., 2006. Aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığının performansa etkisi, İTÜ dergisi/a mimarlık, planlama, tasarım, 5, 2, 8-10.

- Manav, B., 2007. An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to color temperature and illuminance, Building and Environment, 42, 979-983.
- Manav, B., Erkin, E., Güler, Ö., ve Onaygil, S., 2013. An Experimental Study on Tubular Fluorescent and LED Lamps with Respect to Energy Performance and Visual Comfort, Light & Engineering, 11, 4 , 50-57.
- Memiş, Ö. ve Ekren, N., 2019. İnsan Odaklı Aydınlatma, International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering, 1, 30-35.
- Nabil, A. ve Mardaljevic, J., 2005. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings, Lighting Research and Technology, 37, 1, 41-59.
- Neufert, E., 1983. Neufert Yapı Tasarımları Temel Bilgileri, 30. Baskı, Güven Yayıncılık, İstanbul.
- O'Connor, J., Lee, E., Rubinstein, F. ve Selkowitz, S., 1997. Tips for Daylighting with Windows, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, California.
- Ofluoğlu, S., 2018. Güneş Kontrolü: Güneş Kırıcı ve Rafları, GSK Magazine.
- Onak, B. ve Yıldırım, N., 2020. Eğitim Yapılarında Aydınlatma Türü ve Kullanım Önerileri: Kocareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası, Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 5, 2, 361-380.
- Onaygil, S., 2022. Fotometrik Büyüklükler, ATMK Aydınlatma Semineri “2022-1” Eğitim Notları.
- Onaygil, S. ve Yurtseven, M. B., 2022. Lambalar ve Aygıtlar. ATMK Aydınlatma Semineri “2022-1” , Eğitim notları.
- Özdeniz, M., B., 1992. Mimarlıkta Işık ve Ses Denetimi, Erhan Ofset Matbaacılık, Trabzon.
- Özkaya, M., 2004. Aydınlatma Tekniği, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Perdahçı, C. ve Hanlı, U., 2010. Verimli Aydınlatma Yöntemleri, 3E Electrotech, Mart.
- Phillips, D., 2000. Lighting Modern Buildings, Architectural Press, Oxford.
- Pompei, L., Blaso, L., Fumagalli, S. ve Bisegna, F., 2022. The impact of key parameters on the energy requirements for artificial lighting in Italian buildings based on standard EN 1593-1:2017, Energy & Buildings, 263, 112025.
- Principi, P. ve Fioretti, R., 2014. A comparative life cycle assessment of luminaries for general lighting for the office- compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED)- a case study, Journal of Cleaner Production, 83, 96-107.

- Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. ve Rogers, Z., 2006. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design, Leukos, 3, 1, 7-31.
- Resmi Gazete, 2010. BEP-TR Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi, Ek 07-Referans Bina Belirleme, 27778.
- Ryckeart, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts I. A. A., Van Gils, M. ve Hanselaer, P., 2012. Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An Evaluation, Energy and Buildings, 49, 429-436.
- Sezer, F. Ş., 2005. Farklı Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10, 1, 15-21.
- Sirel, Ş., 1992. Aydınlığın Niteliği, YFU, Nr: 4, İstanbul.
- Sirel, Ş., 1997. Aydınlatma Sözlüğü, Yapı Endüstri Merkezi Yayınevi, İstanbul.
- Sümengen, Ö., 2015. Türkiye için Konut Binalarının Aydınlatma Enerjisi Gereksinimi Açısından Değerlendirilmesine İlişkin Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Şahinler, S., 2000. En küçük kareler yöntem ile doğrusal regresyon modeli oluşturmanın temel prensipleri, MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5, 1-2, 57-73.
- Şahinoğlu, S., 2012. Gölge Elemanlarının Pencerenin Isıtma/Soğutma Enerjisi ve Görsel Konfor Performansına Etkisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şener, F. ve Ünnü, Y. S., 2011. Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının BEP_TR Yöntemi ile Belirlenmesi: Örnekler, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir, 839-849.
- Şerefhanoglu, M., 1972. Konutlarda Aydınlatma, Karaca Ofset Basımevi, İstanbul.
- T.S.E., 2014. Işık ve Aydınlatma – İş Yerlerinin Aydınlatılması- Bölüm1: TS EN 12464-1. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- T.S.E., 2019. Binalarda Gün Işığı: TS EN 17037. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- T.S.E., 2021. Binalardaki Enerji Performansı-Aydınlatma ile ilgili Enerji Gereklileri – Bölüm 1 : Özellikler, Modül M9 : TS EN 1593-1 +A1. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Tagliabue, L. C., Buzzetti, M. ve Arosio, B., 2012. Energy Saving through the sun: Analysis of visual comfort and energy consumption in office space, Energy Procedia, 30, 693-703.

- Tekin, Ç., Özgünler, M. ve Beyaztaş, H., 2018. Yapı Kabuğu Saydamlık Oranlarının Simülasyon Programı Aracılığıyla Belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 41, 49-68.
- Uç, B. ve Öztürk, L. D., 2022. Konutlarda Hedeflenen Aydınlik Düzeyine Göre Gereken Pencere Cam Alanının Belirlenmesi, Megaron, 17, 1, 68-82.
- URL-1, Özdeniz, D., Ofislerde Aydınlatma Otomasyonu. <https://www.emo.org.tr/ekler/0d965fca19f20ccek.pdf> 24 Mart 2023.
- URL-2, <https://tr.pinterest.com/pin/345721708881446083/> Açık Planlı Ofis. 31 Mart 2023.
- URL-3, <http://andrewmarsh.com/software/cie-sky-web/> CIE Sky Generator. 3 Nisan 2023.
- URL-4, <https://cbsakademi.ibb.istanbul/solar-enerji-potansiyeli-haritasi/> Cbs Akademi. 04 Nisan 2023.
- URL-5, https://dressyourwall.net/mimarlik-ve-dinamizm-kinetik-yapilar/Kinetik_golgeleme_elemani. 11 Nisan 2023.
- URL-6, https://hareketlicephe.com/gunes_kiricilar/smf-01/ Hareketli gölgeleme elemanı. 11 Nisan 2023.
- URL-7, <https://www.alcodec.com/cephe-sistemleri> Jalûzi gölgeleme elemanı. 11 Nisan 2023.
- URL-8, <https://trendperde.com.tr/dekoratif-perde-sistemleri/> Stor perde. 11 Nisan 2023.
- URL-9, <https://jaluzi.com/jaluzi-ve-fon-perde-2/> Jalûzi ve fon perde. 11 Nisan 2023.
- URL-10, <https://trendperde.com.tr/stor-perde/> Ofislerde stor perde. 11 Nisan 2023.
- URL-11, Çetin, E., Aydınlatma Tekniği Ders Notları. <https://docplayer.biz.tr/153723808-Eem-445-aydinlatma-teknigi.html>. 2 Mayıs 2022.
- URL-12, Ünver, R., Yapı Dışı Engeller ve Hacim içi Doğal Aydınlik İlişkisi Üzerine bir İnceleme. https://www.emo.org.tr/ekler/7635bfd99248a2c_ek.pdf. 10 Aralık 2022
- URL-13, <https://www.lighting.philips.com.tr/consumer/led-isiklar/led-isik-kalitesi> Philips Ligthing, Yüksek CRI LED ampuller ile gerçek renkleri deneyimleyin. 11 Nisan 2023
- URL-14, <https://www.hella.info/en/produkte/ar-63-s-ecna> AR 63 S ECN perfect for narrow wall constructions or retrofitting. 16 Eylül 2022.
- URL-15, https://media.warema.com/dokumente/512234/warema_2018813_pd_produktda_tenblatt_traeger-rollo-select_1seitig_210519_en-int_low.pdf Cassette roller blind Select. 17 Eylül 2022.

- URL-16, Ünnü, S.Y., Şener, F. ve Yener, A.K., Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesinde Kontrol Sistemlerinin Rolü. https://www.emo.org.tr/ekler/2c98423fcdec6bf_ek.pdf .16 Eylül 2021.
- URL-17, Yılmaz, E., DIALux evo Eğitim Notları. <https://dokumen.tips/documents/dialux-evo-egitim-notlari-emre-yilmaz-elektrik-elektronik-muehendisi-dialux.html?page=1> 9 Ocak 2021.
- URL-18, Şen, S., Eğitimde İstatiksel Yöntemler: Yüksek Lisans Dersi Notları <https://sedatsen.com/2018/12/25/sedat/> 17 Mayıs 2021.
- URL-19, Bep-tr Eğitimi Kullanıcı Kılavuzu, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı https://beptr.csb.gov.tr/bep-web/BEPTR_E%C4%9Fitim_K%C4%B1lavuzu.pdf 20 Şubat 2023
- URL-20, Yener, A., K., 2005. Binaların Enerji Etkin Aydınlatma Sistemleri Olarak Tasarlanması. http://www.emo.org.tr/ekler/d77279f7d325eec_ek.pdf 4 Nisan 2022.
- URL-21, Yener, A., K., Sümengen Ö., Kaçel, S. ve Kılıç, A., 2019. Aydınlatma enerji performansının belirlenmesinde yeni standart: TS EN 15193-1 <https://pldturkiye.com/aydinlatma-enerji-performansinin-belirlenmesinde-yeni-standart-ts-en-15193-1/PLD> Türkiye Mimari Aydınlatma Tasarımı Portalı. 21 Ocak 2021.
- Ünver, R., 2002. Yapı Dışı Engellerin Hacim İçi Güneşliği Aydınlığına Etkisi: İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- Ünver, R., 2011. Görsel Konfor ve Aydınlatma, VI. Aydınlatma Sempozyumu, 127-128, 24-25 Kasım, İzmir.
- Ünver, R., 2022. Aydınlatma Tasarımında Nicelik ve Nitelik, ATMK Aydınlatma Semineri “2022-1” Seminer Notları.
- Ünver, R., Akdağ, N. Y., Gedik, G. Z., Öztürk, L. D. ve Karabiber, Z., 2004. Prediction of Building Envelope Performance in the Design Stage: An Application for Office Buildings, Building and Environment, 39, 143-152.
- Varlı, E., 2004. Büro Tasarımında Kullanıcı Standartları ve Teknoloji Kullanımının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Edirne.
- Veitch, J. A. ve Newsham, G. R., 1998. Lighting Quality and Energy-Efficient Effects on Task Performance, Mood, Health, Satisfaction and Comfort, Journal of the Illuminating Engineering Society, 27,1, 107-130.
- Veitch, J. A., Newsham, G. R., Boyce, P. R. ve Jones, C. C., 2008. Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach, Lighting Research Technology, 40, 133-151.

- Wienold, J. ve 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.
- Yağmur, Ş. A. ve Sözen, M. Ş., 2016. Dersliklerde Görsel Konfor ve İç Yüzeylerin Etkisi, Megaron, 11, 1, 49-62.
- Yener, A. K., 1999. A method of obtaining visual comfort using fixed shading devices in Rooms, Built And Environment, 34, 285-291.
- Yener, A. K., 2007. Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim , İzmir, 231-241.
- Yener, A. K., 2011. Binalarda Aydınlatma Enerjisi Performansının Belirlenmesi için bir Yöntem: Bep-tr, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan, İzmir, 829-836.
- Yener, A. K., 2022. Enerji Etkin Tasarım ve Doğal Aydınlatma, ATMK Aydınlatma Semineri “2022-1” Eğitim Notları.
- Yener, A. K., Güvenkaya, R., K. ve Şener, F., 2009. İlköğretim Derliklerinin Görsel Konfor açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, itüdergisi/a, mimarlık, planlama, tasarım, 8, 1, 105-116.
- Yılmaz, Ç., 2016. Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimari Aydınlatma ve Bir Örnekleme, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yılmaz, E., Şahin, İ., ve Kocadağ, N.Y., 2019. LED Işık Kaynaklı, Enerji Tasarruflu ve Yüksek Verimli Ofis Aydınlatma Armatürü Tasarımı, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 2, 138-150.
- Yılmaz, F. Ş., 2014. Mimari Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor ve Enerji Performansı Açılarında Ürün Seçimi Üzerine bir İnceleme, 1. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, 13-14 Mart, İstanbul, 193-204.
- Yılmaz, F. Ş., 2014. Sürdürülebilir Çevre İçin Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, F. Ş., 2016. Güneş Kontrolü Tasarımının Görsel Konfor ve Günışığı Performansına Etkisi: Ofis Binaları, Online Journal of Art and Design, 4, 4, 47-62.
- Yılmaz, F. Ş., 2019. Binalarda Günışığı Performans Ölçütlerine Güncel bir Bakış: EN 17037 Standardı ve Uygulaması, 10. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 16-19 Ekim, İzmir.
- Yücel, B. Ş., 2019. Açık Planlı Ofislerde Aydınlatma Tasarımının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yun, G. Y., Kim, H. ve Kim, J. T., 2012. Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption, Energy and Buildings, 46, 152-158.
- Yun, G. Y., Kong, H. J., Kim, H., ve Kim, J. T., 2012. A field survey of visual comfort and lighting energy consumption in open plan offices. Energy and Buildings, 46, 146-151.



ÖZGEÇMİŞ

Elif ÖZTÜRK GÜL; ilk,orta ve lise eğitimlerini Trabzon'da tamamladı. 2008 yılında Bilkent Üniversitesi İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'nden mezun oldu. Mezun olduğu yıl aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. Bu süreçte yine aynı bölümde burslu öğrenci statüsünde sözleşmeli olarak asistanlık yaptı. 2010 yılında yüksek iç mimar unvanı aldı. 2010-2012 yılları arasında özel sektörde çalıştı, aynı zamanda ODTÜ Mimarlık Bölümü'nden özel öğrenci olarak doktora dersleri aldı.

2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. Aynı yıl Avrasya Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2018 yılında Giresun Üniversitesi Şebinkarahisar MYO' da İç Mekân Tasarımı Programı'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen Giresun Üniversitesi'nde çalışmaya devam etmektedir. Aydınlatma tasarımı ve renk bilgisi konularında akademik çalışmaları bulunmakta ve iyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.