T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İÇ MİMARLIK ANABİLİM DALI
İÇ MİMARLIK BİLİM DALI

AÇIK OFİSLERDE AYDINLATMA TASARIMININ İNCELENMESİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Özge İLGEN

İstanbul, 2025

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İÇ MİMARLIK ANABİLİM DALI
İÇ MİMARLIK BİLİM DALI

AÇIK OFİSLERDE AYDINLATMA TASARIMININ İNCELENMESİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Özge İLGEN

Öğrenci No
2120007006

ORCID ID
0000-0002-9099-6889

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Gözde TAŞÇI

İstanbul, 2025

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘’**Açık Ofislerde Aydınlatma Tasarımının İncelenmesi: Örnek Bir Çalışma’’** başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiğini ve çalışmamın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını, patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım. 06/01/2025

Özge İLGEN

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

29/01/2025

Enstitümüz ***İç Mimarlık*** Anabilim Dalı ***İç Mimarlık*** Programı Yüksek Lisans öğrencilerinden ***2120007006*** numaralı ***Özge İLGEN'in*** "İstanbul Beykent Üniversitesi Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak Enstitümüze teslim ettiği ***"Açık Ofislerde Aydınlatma Tasarımının İncelenmesi: Örnek Bir Çalışma"*** konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 07/01/2025 tarih ve 2025/01 sayılı toplantısında seçilen ve On-Line toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, İstanbul Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 29. maddesinin 3. fıkrası gereğince Zoom programı aracılığıyla on-line olarak aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında ***"OYBİRLİĞİ"*** ile ***"KABUL"*** kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 2 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gö*** TA***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Prof. Dr. Şe*** YÜ***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Dr. Öğr. Üyesi Al*** AK***
(İstanbul Bilgi Üniversitesi)

Adı ve Soyadı : Özge İLGEN

Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gözde TAŞÇI

Derecesi ve Tarihi : Yüksek Lisans (Tezli), 2025

Alanı : İç Mimarlık

Anahtar Kelimeler : Açık ofis, Aydınlatma tasarımı, Dialux Simülasyon, Işık

ÖZ

AÇIK OFİSLERDE AYDINLATMA TASARIMININ İNCELENMESİ: ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Bu çalışma, açık ofislerde çalışanların görsel konforunu ve ofis alanlarının enerji verimliliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini arttırmayı hedefleyen bir aydınlatma tasarımı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla Vadi İstanbul Bilişim Vadisi'nde bulunan örnek bir yazılım ofisinin açık ofis bölümü ele alınmıştır.

Çalışmanın kapsamında, seçilen örnek ofis projesi özelinde aydınlatma firmasının uygulamış olduğu aydınlatma tasarımı üzerinden iyileştirmeler yapılarak uluslararası ve ulusal aydınlatma standartlarına uygun, gün ışığı ve yapay aydınlatma kaynaklarının bir arada etkin şekilde kullanıldığı bir tasarım süreci ele alınmıştır. Tasarım süreci boyunca Dialux evo 12.0 yazılımı kullanılarak örnek açık ofis üzerinden çeşitli simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar örnek mevcut ofis üzerinden iyileştirmeleri içeren senaryoları test etmiştir. Senaryolar kapsamında, açık ofiste gün ışığı, yapay aydınlatma ve her iki faktörün kombine edildiği durumlar simülasyonun parametrelerini oluşturmaktadır. Gün ışığı faktörünün incelenmesi için, yılın belli günleri ve günün belli saatleri simülasyon parametrelerine dahil edilmiştir. Yön faktörünün, doğal aydınlatmadan faydalanmadaki etkisini test edebilmek amacıyla, binanın mevcut yönüne ek olarak yeni bir yön önerisinde bulunulmuş, binanın mevcut ve yeni önerilen yönleri de bu senaryolara ek olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Yapay aydınlatma senaryoları oluşturulurken ise Litpa isimli aydınlatma firmasının aydınlatma armatürleri kullanılmıştır. Bu sayede, çalışanlar için standartlar tarafından belirlenen görsel performans kriterlerine uygun olan, optimum değere ulaştıran yeni aydınlatma tasarımı önerisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, gün ışığının iç

mekâna entegrasyonunun standartlarca verilen değerler çerçevesinde kontrolü ve yapay aydınlatmanın uluslararası ve ulusal aydınlatma standartlarına uygun şekilde düzenlenmesi ile standartların öngördüğü şekilde çalışanların görsel konforunu ve görsel performansını arttıracak yönde olmuştur. Bu çalışma ile aynı zamanda, gün ışığının psikolojik etkisinden faydalanma ve doğal ve yapay aydınlatmanın standart verilerine uygun entegrasyonu sonucu optimal görsel konfor koşullarının sağlanması ile açık bir ofiste insan odaklı aydınlatma tasarımı sağlamanın yöntemi ortaya konmuştur.

Bu değerlendirmeler, daha ileriki çalışmalarda aydınlatma kaynaklı enerji tüketimlerinin azaltılmasını değerlendirmek amacıyla da kullanılabilir. Çalışma kapsamında, gün ışığından faydalanıldığı zamanlarda yapay aydınlatmanın kısılarak, anahtarlama sistemi yapılarak veya gölgeleme elemanları kullanarak kısmi kullanımları önerilmiştir. Bu da aydınlatma armatürlerinden kaynaklanan enerji tüketimlerinin azaltılmasını sağlayacaktır. Çalışma açık ofisin, belirlenen oranlarda gün ışığı almasını ve bu ışığın yapay aydınlatma ile dengeli bir şekilde entegre edilmesini içermektedir. Böylece hem görsel konfor gereksinimleri sağlanmakta hem de yapay kaynakların verimli kullanımını teşvik edilmektedir. Böylece çalışma çevresel sürdürülebilirlik açısından da katkı sağlamaktadır.

Bu tez, açık ofislerde, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve mekânsal gerekliliklere uygun çözümler geliştirerek sürdürülebilir ve insan odaklı aydınlatma tasarımları oluşturmak için bir rehber niteliği taşımaktadır.

Name and Surname : Özge İLGEN

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Gözde TAŞÇI

Degree and Date : Master's (Thesis), 2025

Major : Interior Architecture

Keywords : Open Office, Lighting design, Dialux simulation, Light

ABSTRACT

EXAMINATION OF LIGHTING DESIGN IN OPEN OFFICES: A CASE STUDY

This study aims to develop a lighting design that enhances the visual comfort of employees working in open offices while improving the energy efficiency and environmental sustainability of office spaces. For this purpose, the open office section of a sample software office located in Vadi Istanbul Informatics Valley has been examined.

Within the scope of the study, improvements were made on the lighting design implemented by the lighting company for the selected sample office project. The design process focused on creating a solution that complies with international and national lighting standards and effectively combines daylight and artificial lighting sources. Throughout the design process, various simulations were conducted using Dialux evo 12.0 software based on the sample open office. These simulations tested scenarios that included improvements to the existing office lighting design. The scenarios involved parameters such as daylight, artificial lighting, and the combination of both factors in the open office. To analyze the daylight factor, specific days of the year and specific times of the day were included in the simulation parameters. Additionally, to test the effect of orientation on benefiting from natural lighting, a new orientation was proposed alongside the existing orientation of the building, and both orientations were included in the study as part of the scenarios. For artificial lighting scenarios, lighting fixtures from the company Litpa were utilized. In this way, a new lighting design proposal that meets the visual performance criteria defined by the standards and achieves optimal

values for employees was evaluated. The results demonstrated that integrating daylight into the interior space within the framework of values defined by standards, and arranging artificial lighting in compliance with international and national lighting standards, effectively enhances employees' visual comfort and visual performance as prescribed by the standards. This study also establishes a method for achieving human-centered lighting design in an open office by leveraging the psychological effects of daylight and integrating natural and artificial lighting in accordance with standard data to ensure optimal visual comfort conditions.

These evaluations can also be used in future studies to assess reductions in energy consumption caused by lighting. Within the scope of the study, partial use of artificial lighting was proposed during times when daylight is utilized, achieved through the implementation of a switching system or shading elements. This approach reduces energy consumption caused by lighting fixtures. The study ensures that the open office receives daylight at specified levels and integrates this light with artificial lighting in a balanced manner. Thus, both visual comfort requirements are met, and the efficient use of artificial resources is encouraged. In this way, the study also contributes to environmental sustainability.

This thesis serves as a guide for developing sustainable and human-centered lighting designs in open offices by creating solutions tailored to users' needs and spatial requirements.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ

ABSTRACT

TABLOLAR LİSTESİ ..... **iii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **iv**

KISALTMALAR ..... **vi**

SÖZLÜK ..... **vii**

GİRİŞ **1**

1. AYDINLATMA KAVRAMI VE GENEL TANIMLAR

1.1. Görsel Konfor **12**

1.2. Görsel Performans **14**

1.3. Doğal Aydınlatma **15**

1.3.1. Gün Işığı Aydınlığı (Daylight Provision) 15

1.3.2. Gün Işığının Enerji Verimliliği Üzerindeki Rolü 18

1.3.3. Pencereler ve Cam Tipleri 21

1.3.3.1. Pencereler 21

1.3.4. Cam Tiplerinin Değerlendirmesi 31

1.4. Yapay Aydınlatma **31**

1.4.1. Aydınlık Düzeyi (Illuminance) 32

1.4.2. Kamaşma (UGR) 34

1.4.3. Renksel Geriverim (CRI) 35

1.4.4. Işıklılık Dağılımı 38

2. AYDINLATMA VE İNSAN SAĞLIĞI İLİŞKİSİ

2.1. Işığın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri **42**

2.1.1. Işığın Sirkadiyen Ritim Üzerindeki Etkileri 43

2.1.2. Işığın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkisi 45

2.1.3. Işığın Performans Üzerindeki Etkisi 48

2.2. İnsan Odaklı Aydınlatma Kavramı **50**

2.2.1. Ofis Ortamlarında İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri 51

2.2.2. Örnek İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri 54

2.3. Çevresel Sürdürülebilirlik **57**

3. OFİS ALANLARININ AYDINLATILMASINDA GENEL İLKELER
3.1. Ofis Tanımı ve Tarihsel Süreç 59
3.1.1. Ofis Alanlarında Görsel Konfor Gereksinimleri 61
3.2. Açık Ofis Tanımı 63
3.2.1. Açık Ofis Alanlarının Aydınlatılmasında Genel İlkeler 65
4. ÖRNEK ÇALIŞMA: TS EN 12464-1 AYDINLATMA GEREKSİNİMLERİNE UYGUN AÇIK OFİS AYDINLATMA TASARIMI
4.1. Örnek Çalışma Projesine ait Genel Bilgiler 66
4.2. Yöntem 69
4.2.1. Simülasyon Aracı: Dialux Evo 12.0 71
4.2.2. Dialux Yazılımının Tezdeki Rolü 71
4.2.3. Optimum Görsel Konfor Gereksinimlerinin Sağlanabilmesi İçin Standartların İrdelenmesi 74
4.2.4. Çalışma düzleminin Zonlara (Alanlara) Ayrılması 77
4.3. Aydınlatma Senaryolarının Tanımlaması 78
4.3.1. Gün ışığına Bağlı Senaryolar 79
4.3.3. Yapay ve Doğal Aydınlatma Entegrasyonu Senaryoları 82
4.4. Simülasyon Sonuçları ve Analizler 83
4.4.1. Mevcut Aydınlatma Projesi Modeli 84
4.4.2. Gün ışığına Bağlı Senaryo Sonuçları 87
4.4.3. Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryo Sonuçları 101
4.4.4. Gün Işığı Faktörü - (Y0) ve (Y9) Entegrasyonu Sonuçları 113
4.5. Senaryo Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi 131
4.6. Sonuçlar ve Öneriler 133
SONUÇ 151
KAYNAKÇA 154

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. Gün ışığından yararlanmaya ilişkin dereceler 18

Tablo 2. A) Isı Kontrol (Low-E) Kaplamalı Cam Isı Geçirgenlik Katsayıları B) Isı ve Güneş Kontrol (Solar Low-E) Kaplamalı Cam Isı Geçirgenlik Katsayıları 26

Tablo 3. Renksel Geri Verim Indeksi 36

Tablo 4. Aydınlatma Gereksinimleri Tablosu 41

Tablo 5. Ofisler ve Sirkülasyon Alanları İçin Belirlenen Gereksinimler 77

Tablo 6. Gün Işığı Parametresine Bağlı Senaryolar ve Tanımları 80

Tablo 7. Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryolar ve Tanımları 81

Tablo 8. Yapay ve Doğal Aydınlatma Entegrasyon Senaryolar ve Tanımları 83

Tablo 9. Gün Işığına Bağlı Senaryo Sonuçları 89

Tablo 10. Gün ışığına Bağlı GG1 Senaryo Sonuçları 92

Tablo 11. Gün Işığına Bağlı GG2 Senaryo Sonuçları 95

Tablo 12. Gün Işığına Bağlı GG3 Senaryo Sonuçları 97

Tablo 13. Gün Işığına Bağlı GG4 Senaryo Sonuçları 100

Tablo 14. Yapay Aydınlatma Seçimine Bağlı Senaryoların Aydınlık Düzeyi Sonuçları 102

Tablo 15. Gün Işığı Faktörü ve Yapay Aydınlatma Entegrasyonu 114

Tablo 16. GG1Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları 118

Tablo 17. GG2Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları 122

Tablo 18. GG3Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları 126

Tablo 19. GG4Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları 130

Tablo 20. Proje Kapsamında Önerilen Gölgeleme Elemanları 144

Tablo 22. GG2Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu 147

Tablo 23. GG3Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu 148

Tablo 24. GG4Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu 149

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1. Elektromanyetik Tayf – Dalga Boyu Gösterimi 16
Şekil 2. Pencerelerde Dış Görüş..... 22
Şekil 3. Pencere Boyutlarının Gün Işığı Dağılımına Etkisi 22
Şekil 4. A) Tek Cam Kesiti B) Çift Cam Kesiti C) Yalıtımlı Cam Kesiti 25
Şekil 5. a) Isı Kontrol (Low-E) Kaplamalı Yalıtım Camı ve b) Isı ve Güneş Kontrol (Solar Low-E) Kaplamalı Cam 27
Şekil 6. Termo-Kromik Malzemenin Şematik Gösterimi 28
Şekil 7. Termo-Kromik Camın Farklı Durumda Görünümleri 29
Şekil 8. Foto-Kromik Cam Malzemesinin Dış Çevre İle Rengini Değiştirmesi..... 30
Şekil 9. Polonya'daki Gdansk Teknoloji Üniversitesindeki Konferans Salonu Çatısı 30
Şekil 10. Renk Sıcaklıkları ve Kelvin değerleri..... 37
Şekil 11. Aydınlatmada Renk Sıcaklığı ve Lamba Seçimi 38
Şekil 12. Armatür Işık Dağılımı / CIE Işık Dağılım Eğrileri Sınıflandırması 40
Şekil 13. ipRGC Hücrelerinin İşleyişi 44
Şekil 14. Sirkadiyen Ritim veya Biyolojik Saat Döngüsü 45
Şekil 15. Işık Renk Sıcaklığı (Kelvin) 46
Şekil 16. Parlak Işık Terapisi (BLT) 47
Şekil 17. Güneşin Konumuna Bağlı Olarak Gün Boyunca Değişen Renk Sıcaklığını ve Parlaklığı Gösteren Fotoğraf Çalışması 49
Şekil 18. Günün Farklı Saatlerinde Güneş Işığının Renk Sıcaklığı 49
Şekil 19. 1939'da Frank Lloyd Wright Tarafından Tasarlanan The Johnson Wax Şirketinin Açık Plan Ofisi 64
Şekil 20. Örnek Ofisin Bulunduğu Binanın Dış Görünümü 67
Şekil 21. Örnek Ofisin Bulunduğu Binanın İç Görünümü..... 67
Şekil 22. Örnek Ofis Yerleşim Planı..... 68
Şekil 23. Örnek Ofis Yerleşimi Örnek Model Çalışması..... 68
Şekil 24. Açık Ofis Aydınlatma Planı..... 69
Şekil 25. Örnek Açık Ofis Projesi İsoline Haritası Model Gösterimi..... 73

Şekil 26. Örnek Açık Ofis Projesi Detaylı Aydınlık Düzeyi Değerlerinin İsoline Haritasında Gösterimi 73
Şekil 27. Örnek Açık Ofis Alanlar (Zonlama) 78
Şekil 28. Dialux Gün Işığı Gökyüzü Modeli Seçim Arayüzü – Doğal Aydınlatma. 79
Şekil 29. Dialux Gün Işığı Gökyüzü Modeli Seçim Arayüzü – Yapay Aydınlatma 82
Şekil 30. Spot Armatürlerin Yerleşim Planı 85
Şekil 31. Lineer Armatürlerin Yerleşim Planı 86
Şekil 32. Y0 Dialux Simülasyon Düzlemi 103
Şekil 33. Y1 Dialux Simülasyon Düzlemi 104
Şekil 34. Y2 Dialux Simülasyon Düzlemi 105
Şekil 35. Y3 Dialux Simülasyon Düzlemi 106
Şekil 36. Y4 Dialux Simülasyon Düzlemi 107
Şekil 37. Y5 Dialux Simülasyon Düzlemi 108
Şekil 38. Y6 Dialux Simülasyon Düzlemi 109
Şekil 39. Y7 Dialux Simülasyon Düzlemi 110
Şekil 40. Y8 Dialux Simülasyon Düzlemi 111
Şekil 41. Y9 Dialux Simülasyon Düzlemi 112
Şekil 42. Alan 4 için Y8 ve Y9 Kıyaslanması 113
Şekil 43. Mevcut Proje İçin Anahtarlama Önerisi 139

KISALTMALAR

CEN : European Committee for Standardization (Avrupa Standardizasyon Komitesi)

CENELES : European Committee for Electrotechnical Standardization (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)

CRI : Color Rendering Index (Renk Geriverim İndeksi)

DIAL : Deutsches Institut für Angewandte Lichttechnik (Uygulamalı Aydınlatma Teknolojisi Alman Enstitüsü)

DWG : Drawing File Format (AutoCAD dosya formatı

EN : European Standard

HCL : Human-Centric Lighting (İnsan Merkezli Aydınlatma)

K : Kelvin (Renk sıcaklığı birimi)

LED : Light Emitting Diodes (Işık yayan Diyotlar)

Lm : Lumen (Işık akısı birimi)

LUX : Aydınlatma şiddetini ölçen bir birim (lm/m²)

pRGC : Intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells, ışığa duyarlı melanopsin içeren ve sirkadiyen ritmi düzenleyen retinal hücrelerdir.

Ra : Renk Geriverim İndeksii

RGS : Reference Glare Strength Referans, Görsel Şiddet anlamına gelir. Aydınlatma sistemlerinin görsel rahatsızlık yaratmadan yeterli ışık sağlama kapasitesini ifade eder.

TSE : Türk Standartları Enstitüsü'nün kısaltmasıdır. Türkiye'deki standartların belirlenmesinden sorumlu resmi kuruluştur.

UGR : Unified Glare Rating (Bütünleşik Parıltı Değerlendirmesi)

W : Watt (Güç birimi)

SÖZLÜK

Bürolandschaft: Hiyerarşik düzenin ve özel odaların yerine, açık ofis düzenlemeleriyle etkileşim ve iletişimi teşvik etmeyi amaçlar. Hem çalışanların verimliliği artırılmaya çalışılır hem de daha demokratik bir çalışma ortamı yaratılır. Bu yaklaşım, özellikle açık ofis düzenlemelerinin temelini oluşturmuş bir kavramdır.

Çevresel Sürdürülebilirlik: Gelecek nesilleri de gözeterek ekosistemlerin dengeli ve verimli bir şekilde korunması.

Dialux: Aydınlatma tasarımı ve simülasyonu için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım, iç mekânlar ve dış mekânlar için ışıklandırma projeleri oluşturmaya ve aydınlatma performansını görselleştirmeye yardımcı olur.

Kelvin (K): Sıcaklık ölçü birimidir ve özellikle ışık rengini tanımlamak için kullanılır. Aydınlatma sektöründe, ışığın renk sıcaklığını belirleyerek, soğuk beyazdan sıcak sarıya kadar farklı tonları ifade eder.

Mevsimsel Afektif Bozukluk (SAD): Genellikle kış aylarında görülen ve güneş ışığının azalmasıyla tetiklenen depresyon türüdür. Belirtileri arasında enerji kaybı, uyku sorunları, karamsarlık ve sosyal geri çekilme bulunur.

Parlak Işık Terapisi (BLT): Mevsimsel Afektif Bozukluk (SAD) ve depresyon tedavisinde kullanılan, güneş ışığına benzer parlak ışıklarla yapılan bir terapidir. Bu yöntem, serotonin düzeylerini düzenleyerek ruh halini iyileştirmeyi amaçlar ve genellikle sabahları uygulanır.

Sirkadiyen ritim: Vücudun yaklaşık 24 saatlik döngüdeki biyolojik süreçlerini düzenleyen doğal bir zamanlayıcıdır. Bu ritim, uyku, enerji seviyesi ve metabolizma gibi birçok fizyolojik işlevi etkiler ve genellikle ışık ve karanlıkla senkronize olur.

Taylorizm: İş verimliliğini artırmak amacıyla iş süreçlerini bilimsel yöntemlerle analiz edip düzenleyen bir yönetim anlayışıdır. Frederick Taylor tarafından geliştirilen bu sistem, işçilerin her hareketini standartlaştırarak üretkenliği maksimize etmeyi hedefler.

GİRİŞ

Işık, yaşamın temelidir ve hayatımızın her anında yer alır. Etrafımızdaki nesneleri algılayabilmemiz için ışık, vazgeçilmez bir gerekliliktir. Çevremizi diğer duyularımızla da hissedebiliriz, ancak göz yoluyla yapılan algılama ve tanımlama çok daha ayrıntılıdır. İnsan, yönünü belirlerken öncelikli olarak gözlerini kullanır ve çevresini bir görüntüler dünyası olarak algılar. Duyularla alınan bilgilerin yaklaşık %80'i, en önemli duyu organımız olan göz aracılığıyla elde edilir (Getman,1962).

İç mekânlarda da ışığın rolü, bu algılama sürecinin kalitesini doğrudan etkiler. İyi tasarlanmış bir iç mekân aydınlatması, görsel konforu artırmanın yanı sıra, ruh halini iyileştirir, verimliliği artırır ve güvenliği sağlar. Gözümüzün ışıkla olan etkileşimi, sadece mekânın görsel yönünü değil, aynı zamanda iç mekândaki işlevselliği ve atmosferi de belirler. Örneğin, ofislerde doğru aydınlatma, çalışanların dikkatini ve odaklanmasını artırırken, evlerde doğru aydınlatma, dinlenme ve sosyalleşme gibi günlük aktiviteleri daha verimli hale getirir. Dolayısıyla iç mekân aydınlatması hem fiziksel hem de psikolojik açıdan çevremizi algılarken kritik bir faktördür. Işık, sadece görsel bir araç değil, aynı zamanda insanların mekânla olan duygusal ve fonksiyonel bağlantısını da güçlendiren bir unsurdur.

Gün ışığı, bir mekânın aydınlatma ihtiyaçlarını günün her saati ve mekânın her alanında optimum düzeyde karşılayamaz. Mekânda gün ışığının yetersiz kaldığı durumlarda bir yapay aydınlatma tasarımı hem mekânın fonksiyonu için hem de görsel konfor için oldukça önemlidir. Görme eyleminin gerçekleşebilmesi için öncelikle ışık ve ışığın yansıyabileceği yüzeylerin olması gerekmektedir. Yani görsel konforun sağlanabilmesi için gerek gün ışığıyla gerekse yapay aydınlatmayla ihtiyaç duyulan aydınlatmanın sağlanması gerekmektedir.

Bir mekânda görsel konfordan söz edebilmek için, kamaşma, aydınlık düzeyi, ışığın düzgün dağılımı, ışık kaynağının rengi gibi ölçülebilir veya tanımlanabilir parametrelerin bulunması gerekmektedir. Farklı fonksiyonlara sahip mekânlar için belirlenen, standartlara uygun aydınlık düzeylerinin sağlanması, mekânın optimum şekilde düzgün aydınlatılması ve doğru renkte lamba seçimi ile görsel konforu sağlayan uygun aydınlatma tasarımları yapılabilir. Bu tezde örnek bir açık ofis üzerinden simülasyonlar aracılığıyla incelemeler yapılmıştır.

Açık ofisler hem çalışanların görsel konforunu hem de çalışma verimliliğini doğrudan etkileyen aydınlatma çözümleri gerektirmektedir. Bu tür mekânlarda, doğal ve yapay aydınlatmanın birbiriyle dengeli bir şekilde entegrasyonu, çalışanların odaklanma ve verimliliğini artırırken, enerji verimliliği ve enerjinin etkin kullanımı açısından da kritik bir rol oynamaktadır.

Bu tez, açık ofis ortamlarında görsel performans gereksinimlerine uygun aydınlatma tasarımının nasıl optimize edilebileceğini incelemekte ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve insan odaklı bir aydınlatma tasarımının sağlanabilmesi için gün ışığı ile yapay aydınlatmanın en etkili entegrasyon yöntemlerini ortaya koymaktadır.

Tezin Amacı

Bu tez, açık ofis ortamlarında görsel performans kriterlerine uygun, kullanıcı odaklı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunan bir aydınlatma tasarımı geliştirmeyi amaçlamaktadır. İyi bir aydınlatma tasarımının, çalışanların görsel konforunu artırmasının yanı sıra iş verimliliği ve ruh hali üzerinde de olumlu etkiler yaratacağı kabul edilmektedir. Bu kapsamda, gün ışığı ve yapay aydınlatma sistemlerinin optimal entegrasyonunun, ofis ortamlarında görsel performansı nasıl iyileştirebileceği incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, açık ofislerde çalışanların odaklanma, görsel konfor ve verimlilik düzeylerini artırmaya yönelik bir aydınlatma tasarımı yaklaşımını ortaya koymaktır.

Tez kapsamında görsel performans kriterlerinin yanı sıra, uluslararası ve ulusal standartlara dair kriterler de göz önünde bulundurulacaktır. Tezin bir diğer önemli amacı ise, bu entegrasyonun enerji verimliliği ve çevresel etkiler açısından nasıl daha sürdürülebilir hale getirilebileceğini inceleyerek öneriler sunmaktır. Bu bağlamda, açık ofis ortamlarında enerji etkin, görsel konforlu ve verimli aydınlatma tasarımlarının geliştirilmesine yönelik yeni yöntemler önerilmiştir.

Tezin Kapsamı

Bu tez, seçilen örnek açık ofisin mevcut aydınlatma tasarımı üzerinden, görsel performansı artırmaya ve görsel konfor koşullarını sağlamaya yönelik olarak iyileştirilmesi ile yeni bir aydınlatma tasarımı sunulmasını içermektedir. Çalışma, doğal ve yapay ışığın entegre bir şekilde kullanıldığı, çalışanların görsel konforunu ve verimliliğini artırmayı amaçlayan bir aydınlatma tasarımının oluşturulma sürecini incelemektedir.

Birinci bölüm, aydınlatma kavramlarını ve bu kavramlara ait genel bilgileri içermektedir. Bu başlık altında doğal ve yapay aydınlatma olarak iki alt başlık üzerinden dağılım yapılarak genel tanımlara yer verilmiştir.

İkinci bölümde, aydınlatma ile insan sağlığı arasındaki ilişki ele alınmış ve ışığın sirkadiyen ritim üzerindeki etkileri ile ruh hali üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Tüm bunları kapsayan, insan odaklı aydınlatma sisteminin önemine de yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, ofis alanlarının aydınlatılmasında genel ilkeler üzerinde durulmuştur. Öncelikle ofis tanımı yapılarak ofislerin tarihsel süreç boyunca fiziksel değişimleri yorumlanmıştır. Ofislerde yerleşim planının önemi vurgulanarak, açık ofislerin önemi ortaya konarak araştırmaya derinlik katılmıştır. Açık ofis tanımı ve açık ofis alanlarının aydınlatılmasında genel ilkeler incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise, örnek açık ofis üzerinden standartlar tarafından belirlenen görsel performans kriterlerine uygun aydınlatma tasarımı oluşturma süreci irdelenmiştir. Bu bölümde seçilen projeye dair genel bilgilere ve planlara yer verilmiştir. Tezin, verileri analiz etme yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca, veri inceleme aracı olarak kullanılan Dialux yazılım programının tez üzerindeki rolü ve önemi anlatılmıştır. Ek olarak, açık ofislerde görsel konforu ve enerji verimliliğini sağlamak için çalışmada kullanılan referans kriterlerinin belirlenmesini sağlayan güncel uluslararası ve ulusal standartlar da incelenmiş ve önerilen tasarımlar bu standartlarla karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında, ofislerin görsel performans gereksinimlerini karşılayan, dolayısıyla insan odaklı bir aydınlatma tasarımı sunan optimum bir aydınlatma tasarım modeli önerilmiştir. Bu model, sunulmuş olan öneriler ile açık ofislerin tasarımında, yenilikçi yaklaşımlarla çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine katkı sunmayı ve kullanıcı odaklı çözümler sunmayı hedeflemektedir.

Tezin Yöntemi

Bu tezde, açık ofislerde görsel performans gereksinimlerine uygun ve görsel verimliliği sağlayabilen bir aydınlatma tasarımı yapmak amacıyla mevcut bir açık ofis projesinin yapay aydınlatma tasarımı üzerinde iyileştirme yapılmış ve doğal aydınlatma ile entegrasyonu değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için mevcut projede yer alan açık ofis içerisinde yer alan mahaller, cepheye yakınlık ve cephede baktıkları yönlere göre zonlara ayrılmıştır. Her zonun görsel performans kriterlerine göre durumunu inceleyebilmek için referans değerler TS EN 12464-1:2021 standardı ile belirlenmiştir. Referans değerler, aydınlık düzeyi ve ışığın düzgün yayılması parametrelerini içermektedir.

Mevcut aydınlatma tasarımının görsel performans açısından değerlendirilebilmesi ve referans değerlerin sağlanabilmesi için yapılan iyileştirmelerin test edilebilmesi amacıyla Dialux evo 12.0 simülasyon aracı kullanılmıştır. Dialux yazılımı, aydınlatma tasarımı simülasyonu ve analizi için yaygın olarak kullanılan, yüksek doğruluklu ve detaylı sonuçlar sağlayan bir araçtır. Simülasyonlar, günün saatleri açısından özel günler olan 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül, 21 Aralık günleri için ve 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 saatleri için yapılmıştır. Gün ışığından hiç faydalanılamayan 21 Aralık günü saat 18:00'a ek olarak saat 17:00 da analiz edilmiştir.

Tezde, öncelikle en geniş cephenin mevcut yönünde (Batı) iç mekânda doğal aydınlatmadan ne kadar faydalanılabildiği analiz edilmiştir. Ardından, yön faktörünün doğal aydınlatmadan faydalanmadaki etkisini değerlendirebilmek amacıyla en geniş cephe Güney yönüne çevrilerek analizler yinelenmiştir. Bu analizlerde, doğal aydınlatmadan maksimum faydanın analiz edilebilmesi için, açık gök modeli seçilmiş ve gölgeleme elemanlarının kullanılmadığı varsayılmıştır.

Ardından, doğal aydınlatmadan hiç faydalanılamadığında, standart referans değerlerine uygun bir yapay aydınlatma tasarımı olabilmesi için, açık ofisin gün ışığından hiç faydalanamadığı varsayılarak mevcut yapay aydınlatma tasarımında referans aydınlık düzeyini ve ışığın düzgün yayılmasını sağlayacak iyileştirmeler yapılmıştır.

Son olarak gün ışığından faydalanmanın psikolojik etkisi göz önünde bulundurularak insan odaklı bir aydınlatma tasarımı sağlayabilmek, aynı zamanda gün ışığından faydalanarak yapay aydınlatma kaynaklı enerji tüketimini azaltabilmek ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmak amacıyla doğal ve yapay aydınlatma tasarımının entegrasyonu analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, görsel performansı sağlarken doğal aydınlatmadan maksimum faydalanabilmek ve yapay aydınlatma kullanımını azaltabilmek amacıyla öneriler sunulmuştur.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ofis ortamlarının fonksiyonel ve estetik gereksinimlerini karşılayacak şekilde optimize edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, açık ofislerde insan odaklı aydınlatma tasarımına dair genel ilkeler ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunabilecek öneriler sunulmuştur.

Literatür Taraması

Çalışmalar, ofis mekânlarındaki aydınlatma tasarımının görsel konfor ve enerji tüketimi ve insan üzerindeki etkilerini belirlemeye odaklanmıştır (Kunduracı, 2016; Gül, 2023; Uygun, 2018; Köseli, 2018; Taoluk, 2014; Marangoz, 2018; Gali vd., 2013; Civan, 2006).

Bu konuda yapılan bir çalışma, ofislerde doğal ışığın tasarımına yönelik doğal ışığın verimli kullanımıyla ilgili aydınlık düzeylerinin ofis çalışanlarının görsel konforunu ve verimliliğini nasıl etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, bina tasarımında kullanılan pencere özellikleri, çevre dokusu ve iç mekân düzenlemeleri gibi faktörlerin, doğal aydınlatma seviyelerini nasıl iyileştirebileceği üzerine önerilerde bulunmuştur. Çalışmada, doğal aydınlatmanın, ofislerde çalışanların görsel konforunu ve yaşam kalitesini artırıcı etkileri dikkate alınarak, ofis iç mekânlarında sağlanması gereken aydınlık düzeylerinin ölçülmesi ve analiz edilmesi amaçlanmıştır (Taoluk, 2014).

Diğer bir çalışmada, ofislerde gün ışığından en verimli şekilde faydalanarak, gün ışığının etkisi azaldığında yapay ışık sistemleriyle doğru aydınlatma sağlanması, ofislerdeki aydınlatma tasarımlarının nasıl verimli bir şekilde uygulanacağı ve tasarımda dikkate alınması gereken unsurlar ele alınmıştır. Teknolojik gelişmelerle birlikte, doğru aydınlatma sistemlerinin uygulandığı ofisler, daha konforlu, verimli ve

sağlıklı çalışma ortamları yaratılmasına olanak sağlamaktadır. Ofislerdeki aydınlatma tasarımlarının insan psikolojisini ve iş gücünü nasıl dönüştürdüğünü derinlemesine incelemiş olan bu çalışma, tasarımın insan merkezli olmasının önemini vurgulamıştır (Marangoz, 2018).

İnsan odaklı aydınlatmanın nasıl uygulanabileceğinin ele alınması, ofislerin tasarımında kullanılan modern aydınlatma sistemleri ve değerlendirme kriterleri de oldukça önemlidir.

Bu konu kapsamında yapılan bir çalışmada, ofis iç mekânlarında mevcut ürünlerle yapılan tasarımlar ile önerilen HCL (Human Centric Lighting / İnsan Merkezli Aydınlatma) sistemlerinin karşılaştırılması yapılmış, bu alandaki eksiklikler ve gelişen teknolojilerle yapılması gereken iyileştirmeler tartışılmıştır. HCL, kullanıcıların bioritimleriyle uyumlu bir aydınlatma sağlayarak, çalışma ortamlarında verimliliği artırmayı ve insanların biyolojik saatlerini desteklemeyi amaçlar. Ayrıca, aydınlatma tasarımında yalnızca estetik ve görsel konfor değil, aynı zamanda sağlık, iyilik hali ve üretkenlik gibi faktörler de ön plana çıkarılmalıdır. Sonuç olarak, aydınlatma tasarımında sadece görsel etkilerin değil, görsel olmayan etkilerin de dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır (Köseli, 2018).

Ofis ortamlarında aydınlatma tasarımı, kullanıcıların konforunu artırırken enerji tüketimini optimize etmeye yönelik önemli bir tasarım unsuru olarak öne çıkmaktadır.

Bu konu özelinde yapılan bir çalışmada, ofislerdeki aydınlatma tasarımını görsel konfor ve enerji verimliliği açısından optimize etmeye yönelik analizler, doğal ışığın verimli kullanımı ve yapay aydınlatmanın enerji tüketiminin minimize edilmesi için stratejiler üretilmiştir. Hem doğal hem de yapay aydınlatma sistemleri için tasarım parametreleri analiz edilerek, bu parametrelerin enerji etkinliği ve görsel konfor üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aydınlatma sistemlerinin ön tasarım aşamasında enerji tasarrufu ve görsel konfor açısından uygun seçeneklerin belirlenmesine yönelik istatistiksel modeller ve öneriler sunulmuştur. Böylece, enerji etkinliği sağlanırken kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerine uygun tasarımlar yapılmasına katkı sağlanmıştır (Öztürk Gül, 2023).

Ofis aydınlatma sistemlerinde, enerji tasarrufu sağlarken kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun çözümler geliştirmek giderek daha önemli hale gelmiştir. Sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, ofislerde aydınlatma tasarımı, enerji verimliliğini artırırken kullanıcıların görsel konforunu sağlayan yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır.

Yapay aydınlatma kullanımının yanında enerji tasarrufunun sağlanması konusunda yapılan bir çalışmada, doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı durumlarda yapay aydınlatmanın etkin kontrolüne değinilmiştir. Aydınlatma tasarımında, daha az armatürle doğru aydınlatma sağlama hedefiyle kullanılan simülasyon araçlarının yerine, OptimLUM, ideal armatür sayısını ve yerleşimini belirlemek için bir rehber niteliği taşımaktadır. Geleneksel tasarımlardan farklı olarak, simetrik olmayan ancak daha az sayıda armatürle enerji tasarrufu sağlayan etkili çözümler sunmaktadır. Ana hedef çalışma düzleminde eşit aydınlatma düzeyini sağlamaktır. Ayrıca, dikey yüzeylerdeki aydınlık ve parıltı seviyelerine dair kısıtlamalarla görsel konfor sağlanmaktadır. OptimLUM modeli, ölçüm ve simülasyon sonuçları ile doğrulanmış ve farklı ofis boyutları için enerji verimli yerleşim düzenleri sunmuştur. Bu düzenler, gün ışığı ile entegre edilerek yapay aydınlatmanın enerji yükünü azaltmaktadır. OptimLUM, geleneksel aydınlatma tasarımlarından farklı olarak, simetrik olmayan ancak daha az sayıda armatürle enerji tasarruflu çözümler sunmaktadır. Bu model, tasarımcıların ofislerde yapay aydınlatmayı daha verimli kullanmalarına yardımcı olurken, görsel konforu da sağlamaktadır (Uygun, 2018).

Bu konuda yapılan bir başka çalışmada, ofis binalarında yapay ve doğal aydınlatmanın uyumlu bir şekilde entegrasyonu ele alınmıştır. Çalışmanın ana amacı, her iki aydınlatma türünün bir arada kullanılarak enerji verimliliğinin arttırılmasını ve bina enerji performansının optimize edilmesini sağlamaktır. Çalışmada, yapay aydınlatmanın tek başına bir unsur olmadığı ve tüm bina enerji performansı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Bu amaçla mevcut bir ofis binasında hem LED lamba kullanımı hem de yapay aydınlatma sistemlerinde standartların öngördüğü değerler çerçevesinde iyileştirmeler detaylı dinamik simülasyon araçları aracılığıyla test edilmiştir. Buna ek olarak senaryolarda değişkenlik göstermek üzere, gün ışığına bağlı otomasyon kontrolü eklenmiştir. Böylece, gerekmediği durumlarda yapay aydınlatmadan tasarruf sağlanmıştır. Senaryolar ile aydınlatmadan kaynaklı yıllık

elektrik tüketimindeki değişmeler ile sadece aydınlatma senaryolarına bağlı olarak yıllık ısıtma ve soğutma ihtiyacındaki değişmeler incelenmiştir. Bu analizler ile yapay aydınlatma tipolojisi seçimi ve yapay ışık kullanımının doğal ışıkla nasıl denetim altına alınabileceğini ve bu iki parametrenin bina enerji performansı üzerindeki etkilerini gösterilmiştir. Sonuç olarak, çalışma, ofis binalarında yapay ve doğal ışık arasındaki uyumlu bir entegrasyonun, enerji verimliliğini büyük ölçüde artırabileceğini ve sürdürülebilir bina tasarımı açısından önemli bir katkı sunduğunu ortaya koymaktadır. Hem aydınlatma tasarımında hem de genel bina enerji yönetiminde bu tür bir entegrasyonun sağlanması, verimliliği arttırırken kullanıcı memnuniyetini de yükseltebilir. Bu nedenle, tasarımcıların her iki aydınlatma türünü bir arada düşünmeleri, uzun vadede önemli enerji tasarrufları ve çevresel faydalar sağlayacaktır. Bu çalışma, doğal ve yapay aydınlatmanın sadece birbirini tamamlayan unsurlar olmadığını, aynı zamanda birbirleriyle uyumlu bir şekilde entegre edildiğinde önemli bir enerji verimliliği aracı haline geldiğini savunmaktadır. (Gali vd., 2013).

Tüm bu çalışmalara ek olarak otomasyon sisteminin bulunmadığı ofislerde manuel aydınlatma kontrolünün sağlanması hem görsel konfor açısından hem de enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Manuel aydınlatma kontrolü, otomasyon sistemlerinin bulunmadığı ofislerde enerji verimliliği ve görsel konfor açısından kritik bir rol oynamaktadır. Kullanıcı davranışlarının enerji tüketimi üzerindeki etkilerini anlamak, ofis aydınlatma tasarımlarında sürdürülebilir ve kullanıcı dostu çözümler geliştirmek için önemli bir adımdır.

Bu konuda yapılan bir çalışmada araştırmacı, manuel aydınlatma kontrolünü etkileyen fiziksel, zamansal ve mimari faktörleri analiz ederek, kullanıcı davranışlarının enerji tüketimi üzerindeki etkilerini anlamayı hedeflemiştir. Elde edilen veriler, iç mekân düzenlemeleri ve gün ışığı performansının, yapay aydınlatma kullanımını azaltabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, manuel aydınlatma kontrolüne etki eden fiziksel, zamansal ve mimari faktörleri inceleyerek ofislerde kullanıcı davranışlarının aydınlatma enerjisi tüketimini nasıl etkileyebileceğini analiz etmiştir. Araştırma, manuel aydınlatma kontrolüne yönelik gerçekçi veriler elde etmeyi amaçlamış ve bu kapsamda hem anket yöntemiyle hem de sensör tabanlı ölçümlerle veri toplanmıştır (Cılasun Kunduracı, 2016).

Bu araştırma, manuel aydınlatma kontrolünün yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kullanıcıların görsel konforunu artırarak çalışma verimliliğini de olumlu yönde etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, gün ışığının etkin kullanımının ve kullanıcı davranışlarını yönlendiren tasarım stratejilerinin, enerji verimliliği hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle, iç mekân tasarımında gün ışığına erişimin artırılması ve kullanıcıların yapay aydınlatmayı bilinçli bir şekilde kullanmalarını teşvik eden kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi, sürdürülebilir bina tasarımı açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Bu bağlamda, manuel kontrolün yanı sıra kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarının, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili olduğu vurgulanmaktadır.

Manuel aydınlatma kontrolüne ilişkin bu bulgular, enerji verimliliği ve kullanıcı davranışlarının bina tasarımı üzerindeki etkisini daha kapsamlı bir şekilde anlamamıza olanak tanımaktadır. Özellikle, kullanıcı odaklı yaklaşımların ve doğal ışık kullanımının optimize edilmesi, enerji tüketimini azaltırken görsel konforu artırma potansiyeline sahiptir. Bu tür çalışmalar, akıllı bina sistemlerinin yalnızca teknolojik çözümlerle değil, aynı zamanda kullanıcı davranışlarını dikkate alan bütüncül tasarım stratejileriyle desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu bağlamda, akıllı ve sürdürülebilir bina kavramları arasındaki ilişkiyi anlamak, enerji verimliliği, çevresel etkiler ve kullanıcı memnuniyeti açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu konuda yapılan bir başka çalışmada açıklandığı üzere, akıllı ve sürdürülebilir bina kavramları, günümüzde sıklıkla bir arada kullanılmakla birlikte aynı anlamı taşımaz. Bir binanın sürdürülebilir olması için akıllı sistemlere sahip olması gerekmediği gibi, bu sistemlerin varlığı da binanın sürdürülebilir olduğunu kanıtlamaz (Civan, 2006). Bu bağlamda, akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine uygunluğu önemli bir araştırma konusudur. Literatürde, çevresel sürdürülebilirlik kriterlerinin genellikle çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda ele alındığı görülmektedir. Akıllı binalar, ısıtma, soğutma, iklimlendirme, aydınlatma, güvenlik ve bilgi sistemlerini entegre bir şekilde yöneterek enerji verimliliği ve kullanıcı konforu sağlar. Ancak, bu sistemlerin etkinliği, doğal kaynakların

kullanımını önceliklendiren pasif tasarım stratejileriyle desteklenmediğinde sınırlı kalabilir. Çevresel sürdürülebilirlik açısından, akıllı binaların enerji tüketimi, su kullanımı, malzeme seçimi ve arazi yönetimi gibi temel kategorilerdeki performansları değerlendirme metotlarıyla incelenmektedir. BREEAM, LEED, BEPAC ve HK-BEAM gibi uluslararası çevresel bina değerlendirme sistemleri, bu kriterleri kapsamlı bir şekilde ele alır ve akıllı binaların sürdürülebilirlik performansını ölçmek için referans sağlar.

Literatürde, akıllı binaların çevresel sürdürülebilirliğe katkılarının özellikle enerji verimliliği ve iç mekân çevresel kalitesi kategorilerinde öne çıktığı belirtilmektedir. Ancak, sadece elektronik sistemlere dayalı çözümler yerine, doğal kaynaklardan maksimum düzeyde yararlanan ve bağlamla uyumlu tasarımlar, sürdürülebilirliğin etik ve çevresel boyutlarını daha etkili bir şekilde destekler. Akıllı binaların, gelecekte çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir rol oynayabileceği; ancak bu katkının doğaya saygılı tasarım, toplumsal çevre bilinci ve etkin yasal düzenlemelerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Civan, 2006).

Literatür Taraması Sonucu

Literatür taraması sonucunda, açık ofislerde doğal ve yapay aydınlatmanın entegre edilmesi ile insan odaklı bir aydınlatma tasarımı sunan ve geliştirdiği öneriler ile çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunan bir çalışma yapılmasının literatüre katkıda bulunacağı belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan tez kapsamındaki çalışma, açık ofis alanlarında kullanıcıların görsel konforunu ve görsel verimliliğini artıran ve yapay ve doğal aydınlatmanın entegrasyonu ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmayı hedefleyen bir aydınlatma tasarımı geliştirmektedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, bu tezde Vadi İstanbul Bilişim Vadisi'nde bulunan bir yazılım ofisinin açık ofis bölümü üzerinde özgün bir örneklem incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu tez, mevcut aydınlatma tasarımının ulusal ve uluslararası standartlar doğrultusunda iyileştirilmesi için öneriler sunmuş ve önerilen tasarımları simülasyon aracı ile test etmiştir. Tasarım sürecinde, gün ışığı ve yapay aydınlatmanın birlikte kullanımını ele alan farklı senaryolar detaylı bir şekilde incelenmiş, gün ışığının iç mekâna entegrasyonu için bina yönelim önerileri ve mevcut ofis düzenlemeleri

değerlendirilmiştir. Bu tez, yalnızca teorik analizlerden öte, gerçek bir proje üzerinden yapılan iyileştirmelerle görsel konfor ve enerji verimliliği kriterlerini bir araya getiren bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca, yapay aydınlatma senaryolarında belirli bir marka (Litpa) armatürlerinin kullanımı ve bu doğrultuda optimize edilen aydınlatma çözümleri ile özgün bir yaklaşım sergilemektedir.

Tez çalışması, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik ve görsel konfor kriterlerini birleştirmekle kalmamış, aynı zamanda kullanıcı memnuniyetini artırmaya yönelik insan odaklı tasarım ilkelerini de dikkate almıştır. Önerilen tasarımlar, çalışanların mekân içindeki konforunu artırırken, aynı zamanda enerji tüketimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmayı hedeflemiştir. Bu kapsamda, farklı aydınlatma senaryolarının çalışanların üretkenliği ve görsel algısı üzerindeki etkileri de değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeler tasarım önerilerine entegre edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, açık ofislerde kullanıcı odaklı ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunan bir aydınlatma tasarımı geliştirme sürecinde görsel konfor ve enerji etkinliği açısından ortaya konulan öneriler ile yenilikçi bir rehber sunmaktadır. Bu tez, yalnızca mevcut bir ofis projesinin iyileştirilmesine odaklanmakla kalmayıp, uluslararası ve ulusal standartların pratiğe nasıl entegre edilebileceğini uygulamalı olarak göstermesi açısından da farklılık sunmaktadır. Bunun yanı sıra, önerilen bina yönlendirmesi ve simülasyon parametreleri ile gün ışığı verimliliği ve yapay aydınlatma uyumunu optimize etme yaklaşımı, benzer çalışmalardan ayrılan yenilikçi bir boyut getirmektedir. Ayrıca, Litpa firmasının ürünlerinin doğrudan kullanımı sayesinde teorik modelleme ile gerçek dünyadaki uygulanabilirlik arasında güçlü bir köprü kurulmuştur. Bu çalışma, enerji verimliliği ve görsel konforu aynı anda sağlamayı hedefleyen açık ofis aydınlatma tasarımlarında hem akademik hem de uygulamalı bir referans olarak kullanılabilir.

1. AYDINLATMA KAVRAMI VE GENEL TANIMLAR

1913 yılında kurulan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun aydınlatma tanımı şu şekildedir. "Aydınlatma; nesnelere, çevrelerine ve ufak ya da büyük bölgelere, bunların görülebilmesi için, ışık uygulamaktır." (Sözen, 2020) Başka bir deyişle aydınlatma, ışığın bilinçli bir şekilde kullanılarak pratik, fonksiyonel ve estetik bir etki yaratılmasıdır. Işık yalnızca çevremizi görmemizi sağlayan bir araç değil, doğru kullanıldığında her nesneye estetik bir değer katabilen bir unsurdur. "Aydınlatma nedir?" sorusuna sadece teknik bir bakış açısıyla yanıt vermek, konuyu tam anlamış olmak anlamına gelmez. Aydınlatmanın hem teknikle hem de sanatla iç içe bir konu olduğunu göz ardı etmememiz gerekmektedir. Aydınlatma kavramı iç mekân tasarımı yapılırken üzerinde detaylı düşünülmesi gereken bir konudur.

Aydınlatma doğal ve yapay aydınlatma olmak üzere iki tür altında incelenmektedir. Bu bağlamda her iki aydınlatma türü ile de optimal seviyede sağlanması hedeflenen iki kavram vardır. Bu kavramlar görsel konfor ve görsel performanstır.

1.1. Görsel Konfor

Zihinsel bir süreç olan algılama, göz, kulak ve diğer alıcılara gelen uyarıların zihinde anlamlı hale getirilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanır. Dünyayı algılama, tüm duyuların etkileşimi ile gerçekleşir. Ancak görsel algılama, diğer algılara kıyasla en etkili ve güçlü algımızdır (Morgan, 1984). Görsel algılama sürecinde birey, görme duyusuyla elde ettiği bilgileri anlamlandırmak için görsel uyarıcıları anlamlı bir şekilde organize eder ve sınıflandırır. Lerner (1976), görsel algıyı "görsel-duyusal uyaranlar yoluyla bilgi edinme ve bu bilginin işlenip yorumlanması" olarak tanımlar. Görsel algı, obje tanıma, görsel ayırt etme, şekil-zemin ayrımı, görsel tamamlama, mekânsal ilişkiler ve görsel sıralama gibi öğelerden oluşur.

Bu çerçevede, görsel algıyı oluşturan unsurların sağlıklı bir şekilde işleyebilmesi için, kullanıcıların çevrelerini net bir şekilde görebilmesi ve görme verimliliğinin yüksek düzeyde olması önemli bir faktördür. Günümüzde insanlar, zamanlarının büyük bir kısmını çalışarak geçirmekte ve ofislerde bulundukları süre boyunca çevreleri ile etkileşim içinde olmaktadırlar. Bu doğrultuda ofislerde yapılan

işin verimli, sağlıklı ve doğru bir şekilde sürdürülebilmesi için mekânın görme verimliliği büyük önem taşımaktadır. Uzun vadede verimli görme sağlanabilmesi için ise aydınlatma tasarımının, kullanıcının görsel konfor gereksinimlerini sağlaması gerekmektedir.

Çalışma mekânlarında aydınlığın karakteri, seviyesi, ışığın renksel niteliği, gölge ve kamaşma bileşenleri, 'genel konfor etkisi' olarak adlandırılmakta ve çalışma mekânındaki görsel konfor koşullarını oluşturmaktadır. Kullanıcının görsel açıdan konforlu olabilmesi, görsel konfor durumunun sürekliliğinin sağlanması, göz sağlığının korunması ve dolayısıyla iş performansının artması için bu değerlerin belirli ölçülerde tutulması önemlidir (Alkan, 2010; Küçükdoğu, 1976).

TS EN 12464-1 standardına göre görsel konfor, insan gözünün görsel algılamasında rahatlık ve yorgunluk hissi yaratmadan, uzun süreli göz kullanımı sırasında göz sağlığını koruyan bir ortamın sağlanması olarak tanımlanır. Görsel konfor, ortam ışık seviyeleri, kontrast, parlama, renk uyumu ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin uygun şekilde düzenlenmesi, görsel rahatlık sağlamak ve göz yorgunluğunu engellemek için önemlidir (TS EN 12464-1, 2021).

Işıklı çevre/ortam

Işıklı çevre/ortam, insanların çeşitli faaliyetlerini gerçekleştirebileceği, görsel algının sağlandığı ve aydınlatma gereksinimlerinin belirli standartlara göre düzenlendiği alanlardır. TS EN 12464-1:2021 standardında ışıklı çevre/ortam başlığı altında aydınlatma gereksinimleri tanımlanmıştır. Buna göre aydınlatma gereksinimini belirleyen üç temel insan ihtiyacı:

- Görsel performans
- Görsel konfor
- Güvenlik

(TS EN 12464-1, 2021).

Standartta, aydınlatma ihtiyacının insanın görsel konfor, görsel performans ve güvenlik olarak belirlenen üç temel gereksinimine göre belirlendiği ifade edilmiştir. Belgede, aydınlatma için ışıklı/aydınlık ortamı belirleyen ana ölçütler,

- Işıklılık (luminance) dağılımı,
- Aydınlık düzeyi,
- Kamaşma,
- Kapalı mekânda ışığın doğrultusu,
- Işığın renksel görünümü ve renksel geriverim indisi
- Işığın titremesi,
- Işığın değişkenliği (aydınlık düzeyi ve ışık rengi) olarak sıralanmıştır (TS EN 12464-1, 2021).

1.2. Görsel Performans

Görsel performans, aydınlatmanın yeterliliği, homojenliği, renk algısı ve parlamanın kontrolü gibi faktörleri kapsar. Standart, ayrıca aydınlatma seviyelerinin belirlenmesi, ışık dağılımının yönlendirilmesi ve görsel dikkat gereksinimlerinin karşılanması gibi unsurları da dikkate alır. Bu sayede, kullanıcıların göz yorgunluğunu azaltarak daha verimli ve konforlu bir çalışma ve yaşam ortamı sağlanması hedeflenir. Sonuç olarak, TS EN 12646-1 standardı, iç mekân aydınlatmasının görsel performansını optimize etmek için önemli bir çerçeve sunar (TS EN 12464-1, 2021).

İnsanların görsel konforunu, performansını ve güvenliğini sağlamak amacıyla belirlenen standartlar, aydınlatma ihtiyaçlarının sistematik bir şekilde ele alınmasını gerektirir. TS EN 12464-1:2021 standardında belirtilen ölçütler, aydınlatma tasarımında dikkate alınması gereken temel unsurları sunarak hem bireylerin dikkatini artırmak hem de göz yorgunluğunu azaltmak için gerekli olan aydınlık ortamların oluşturulmasına yardımcı olur. Bu bağlamda, uygun aydınlatma çözümleri, bireylerin genel yaşam kalitesini iyileştirmede önemli bir rol oynamaktadır.

Görsel performans, çalışma düzleminin aydınlık düzeyi ve ışık dağılımı ile doğrudan ilişkilidir; bu, kullanıcıların işlerini daha verimli bir şekilde yapabilmelerini sağlar. Ayrıca, çalışma düzlemi üzerindeki homojen aydınlık düzeyi, göz yorgunluğunu azaltarak görsel konforu artırır ve dikkat dağınıklığını önler. Görsel performansın optimize edilmesi, çalışanların motivasyonunu ve genel verimliliğini artırarak iş ortamında daha olumlu bir atmosfer yaratır.

1.3. Doğal Aydınlatma

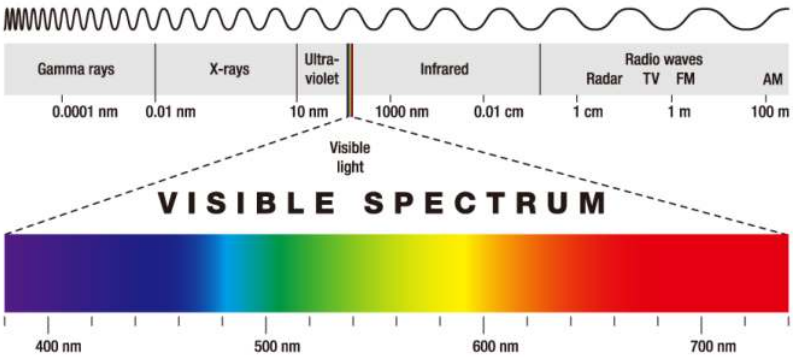
Doğal ışık, iç mekânlarda yaşam kalitesini artırır ve kullanıcıların kendilerini daha zinde hissetmelerini sağlar. Yeterli doğal aydınlatma, görsel konforu artırır, ruh halini olumlu yönde etkiler ve stresi azaltır. Doğal ışık, yapının içindeki yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlar ve bu durum hem çevresel hem de ekonomik açıdan avantajlıdır. Doğal ışık, iç mekânlara dinamizm, derinlik ve canlılık katar. Mimari detaylar, dokular, renkler ve malzemeler doğal ışık altında daha etkileyici görünebilmektedir. İnsanlar için doğal ışığa maruz kalmanın fizyolojik ve psikolojik faydaları vardır. Düzenli olarak doğal ışık alan mekânlarda çalışanların daha iyi odaklanma, daha yüksek verimlilik ve daha az göz yorgunluğu yaşadığı gözlemlenmiştir. Enerji verimliliği açısından, doğal aydınlatma seviyelerinin yüksek olması yapay aydınlatma ihtiyacını azaltmaktadır. Ancak, büyük ve derin mekânların iç kısımlardaki düşük aydınlık seviyeleri yapay aydınlatmaya olan ihtiyacı artırmaktadır. Ayrıca düşük aydınlık seviyesi kullanıcı konforunu da düşürmektedir. İç mekânların aydınlatma tasarımında doğal ve yapay aydınlatmanın birlikte ele alınarak birbirine entegre edilmesi gerekmektedir (Karabulut, 2024).

1.3.1. Gün Işığı Aydınlığı (Daylight Provision)

Güneş hem canlılar hem de cansız varlıklar için doğal bir ışık ve enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynağı olması, gerekli enerjiyi sağlama, fosil yakıt kullanımını azaltma ve çevre dostu olma açısından önem taşır. Gün ışığı, doğrudan gelen güneş ışınları ve gökyüzünden yayılan ışınların toplamını ifade eder. Doğrudan gelen ışınlar, güneşten direkt olarak gelen ışınlardır ve bu ışınların şiddeti, geldiği açıya göre sürekli değişiklik gösterir. Öğle saatlerinde bu ışınlar en yüksek seviyeye ulaşırken, güneş doğarken ve batarken düşük açılarla geldiklerinden dolayı daha fazla yansır ve güçlerini kaybederler. Yaygın ışınım ise, belirli bir yönü olmayan ve tüm gökyüzünden gelen ışınlardır. Güneş ışığının atmosferdeki su buharı, toz ve hava molekülleri tarafından dağılması veya emilmesi sonucu yaygın ışınım meydana gelir (Çiftçi ve Arpacıoğlu, 2021).

Gün ışığı, yeryüzündeki canlılara hayat veren ışınımlardır. Işığın maddesel bir yapıya sahip olduğu kabul edilir ve hem dalga hem de parçacık özelliği gösterir. Hem

dalga hem de parçacık özelliği gösteren ışık; boşlukta 300.000 km/sn hızla yol alan, foton adı verilen parçacıklardan oluşan elektromanyetik ışınımlardır. Elektromanyetik ışınım, elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılan bir tür enerjidir. İnsan gözü tarafından algılanabilen görünür ışık, elektromanyetik dalga boyunun ve elektromanyetik tayfın bir parçasıdır (Moayed, 2011). Görünür ışık, yalnızca 380nm-780nm aralığında dalga boylarını içerir. İnsan, gözüyle bu aralıktaki ışık kaynaklarını algılayabilmektedir. İnsan gözü, görünür ışık spektrumundaki elektromanyetik dalgaların cisimlerden yansıyarak göze ulaşan ışınımlarını algılar ve bu ışınımlar renk olarak tanımlanır (Şekil 1).



Şekil 1. Elektromanyetik Tayf – Dalga Boyu Gösterimi

Kaynak: Okutan, H. (2008). *Gün ışığı ile aydınlatmanın temel ilkeleri ve gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Yüzyıllardır var olan güneş ışığı, yeryüzündeki en büyük doğal ısı ve ışık kaynağı olma özelliğine sahiptir. Bu nedenle, güneş ışığının farklı iklimlerdeki olumlu etkilerinden yararlanmak ve olumsuz etkilerinden korunmak amacıyla tasarımcılar gerekli önlemleri almışlardır. Bina tasarımında gün ışığının kullanımının araştırılması mimarlık ve iç mimarlık alanında önemli bir konudur. Binalar için gün ışığının ana ışık kaynağı olarak uygun şekilde tasarlanması durumunda, insan sağlığını ve kullanıcı aktivitesini destekleyen, binanın enerji ihtiyacını azaltan dinamik mekânlar yaratılır. Çeşitli tasarım araçlarının (ölçekli modeller, matematiksel formüller ve bilgisayar programları) gelişmesiyle birlikte binalarda doğal ışıkla ilgili tasarım araştırmalarına ilgi artmaktadır. Binaların konumu, simülasyonlar yardımıyla doğal ışığın binayla ilişkisi incelendikten sonra değerlendirilmesi hem görsel konfor koşullarını hem de sonraki tasarımları destekleyen parametreleri optimum şekilde tasarlamayı sağlar.

İç mekândaki yeterli gün ışığı aydınlatma değerleri, kullanıcıların rahat görmesine olanak sağladığı gibi, yorulmadan ve strese girmeden mekânlarda verimli ve etkili performans göstermelerini de kolaylaştırır. Ancak görsel konforun sağlanabilmesi için parlaklık oranlarının uygun seviyede tutulması gerekir ki bu da ışık kaynaklarının türü, kamaşma oranları, gölgeleme şekilleri ve tüm yüzeylerin yansıtıcılığı gibi faktörlerin dikkate alınmasını gerektirir. Parlaklığın eşit dağılımı odanın görsel performansını artırır (Okutan, 2008). Performans değerlendirme çalışmalarında yöntem oluşturulurken öncelikle günün saati, hava koşulları, pencereler, binanın konumu gibi değişkenler dikkate alınmalıdır.

Güneş hem enerji üretiminde hem de doğal aydınlatmada kritik bir rol oynar, bu da onun yenilenebilir enerji kaynakları arasında en değerli olanlardan biri olmasını sağlar. Doğrudan ve yaygın ışınımın dinamikleri, aydınlatma tasarımında dikkate alınarak, mekânların doğal ışıkla daha verimli bir şekilde aydınlatılmasına ve enerji tasarrufu sağlanmasına olanak tanır.

Aydınlık ihtiyacının mümkün olan en yüksek oranda gün ışığıyla sağlanması büyük önem taşır. TS-EN 17037 (Binalarda Gün Işığı Standardı) standardına göre, iç mekânlarda gün ışığı ile sağlanması gereken minimum, orta ve yüksek ortalama aydınlık düzeyleri sırasıyla ≥300 lx, ≥500 lx ve ≥750 lx olarak belirlenmiştir. Bu değerler arasında, tercih edilen aydınlık düzeyinin hacmin referans düzleminin en az %50'sinde sağlanması gerektiği belirtilmektedir. Referans düzlemde önerilen aydınlık düzeyinin (örneğin, en az 300 lx) karşılandığı alan veya alanlar, hacmin ve pencere özelliklerinin farklılıklarına bağlı olarak çeşitli biçimlerde ve boyutlarda olabileceği ifade edilmiştir (TS-EN 17037, 2019).

TS-EN 17037 standardına göre, çalışma (referans) düzlemi üzerinde (h: 0,85 m) ve hacmin en yoğun kullanılan bölümünde, referans düzlemin %50'sinde ve tamamında hedeflenen aydınlık düzeylerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmelidir. Eğer hedeflenen aydınlık düzeyi ≥300 lx olarak belirlenmişse, ortalama aydınlık düzeyinin referans düzlemin %50'sinde en az 300 lx, %95'inde ise en az 100 lx olması gerekmektedir (TS-EN 17037, 2019). Ayrıca, aydınlık düzeyi gereksinimlerinin en az, orta ve yüksek düzeyde olduğu üç basamağa ilişkin önerilen değerler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Gün ışığından yararlanmaya ilişkin dereceler

Günışığından yararlanma derecesi	Ortalama Aydınlık düzeyi	
	Referans düzlemin ≥ %50'sinde	Referans düzlemin %95'inde
En az	≥ 300 lx	≥ 100 lx
Orta	≥ 500 lx	≥ 300 lx
Yüksek	≥ 750 lx	≥ 500 lx

Kaynak: Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Binalarda gün ışığı* (TS-EN 17037). TSE.

Herhangi bir hacimde aydınlatma gereksinimi, o mekânın kullanım amacına ve konumuna bağlı olarak farklılık gösterebilir. Gün ışığı kullanımı için tasarlanan bir mekânda, aşağıda açıklaması verilen etkenler göz önünde bulundurulmalıdır.

- **İklimsel Koşullar:** Bölgenin iklimi, yıl boyunca güneşlenme süresi ve bulutluluk düzeyi gibi faktörler gün ışığının kullanımını etkiler.
- **Engeller:** Yapının çevresindeki yapay ve doğal engeller gün ışığının mekâna ulaşmasını engelleyebilir veya yönlendirebilir. Örneğin, büyük binalar, ağaçlar veya diğer yapılardan kaynaklanan gölgeler gün ışığını sınırlayabilir.
- **Açıklıklar ve Camlar:** Pencere açıklıkları, yeterli düzeyde gün ışığının mekânın içine girmesini sağlamalıdır. Pencerelerin boyutu, sayısı ve yerleşimi bu konuda kritiktir. Camların ışık geçirme özellikleri de göz önüne alınmalıdır.
- **Mimari Özellikler:** Yapının biçimi, hacmin yönü ve boyutu gibi mimari özellikler gün ışığının dağılımını etkiler. Örneğin, bir yapının doğu veya batıya bakan yüzeyleri farklı saatlerde farklı miktarda güneş ışığı alabilir.
- **Renk ve İç Mekân Elemanları:** İç mekânın duvar renkleri ve iç mekân elemanları, ışığın yansımasını ve dağılımını etkiler. Açık renkler daha fazla yansıma yapar ve daha fazla ışık sağlar.

1.3.2. Gün Işığının Enerji Verimliliği Üzerindeki Rolü

Doğal ışık, binalarda büyük bir konfor kaynağıdır. Mimari tasarımda, gün ışığının iç mekâna entegre edilmesi ve kullanılması, görsel konforu artırarak iç mekân aktivitelerinin verimliliğini olumlu yönde etkiler. Gün ışığını kullanarak iç mekânları aydınlatmak için tasarlanan sistemler, tasarımcılara konforlu bir ortam yaratma

konusunda yardımcı olur. Gün ışığı kullanımının ön planda olduğu bir aydınlatma planı oluşturmak için tasarım sürecinde bu konuya önem verilmesi gerekmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için, ön proje aşamasında gerekli olanların belirlenmesi, daha sonraki proje aşamalarında maliyet hesaplamaları, enerji analiz simülasyonları yapılması ve iklimsel ile fiziksel koşullar göz önüne alınarak daha verimli sistemlerin seçilmesi gibi birçok faktörün uyumlu bir şekilde değerlendirilmesi önem taşır. Gün ışığı her ne kadar yüksek konfor ve aydınlatmada enerji verimliliği sağlasa da yüksek miktarda olmasının kamaşma sorununa yol açabileceği düşünülerek bunun için kamaşma kontrolü sağlayan ekipmanlardan faydalanılması gerekmektedir.

Gün ışığının bir başka avantajı, binanın iç aydınlatmasında kullanılan elektrik enerjisinin azaltılması ve elektrik tüketiminin düşürülmesidir. Güneşin geliş açısı ve yönelimine uygun olarak tasarlanmış yapılar, kullanıcılarına konforlu iç mekânlar sağlar. Özellikle gündüz ve öğle saatlerinde içeriye alınan maksimum gün ışığı, doğru şekilde kullanıldığında, insanların hormonal, fiziksel ve ruhsal sağlıkları üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. Gün ışığından faydalanma, yalnızca doğru saydamlık oranı, pencere konumu ve cam seçimi ile sağlanabilir. Fakat derinliği fazla olan bazı yapılarda, iç kısımlarda gün ışığından faydalanabilmek için cephelerden alınan ışık yeterli olmayacaktır. Bu durumda ışık rafları veya daha derin iç mekânlar için ışık tüpleri ve benzeri gelişmiş bazı sistemlerden faydalanılması gerekecektir. Ancak, bu sistemlerin ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle, yeni bina projelerinde sistemlerin tasarım aşamasında değerlendirilmesi ve ön proje aşamasında ele alınması büyük önem taşır. Bazı sistemler basit bir kurulum gerektirirken, bazıları boyutları ve detayları nedeniyle daha özel bir kurulum gerektirebilir. Uygulamaya konulan bazı sistemler ise, detay ve boyutları nedeniyle binaya entegre edildikten sonra değiştirilmesi zor hale gelebilir. Bu sebeplerle, bina için kullanılacak sistemin doğru seçimi kritik bir rol oynar. Sistem seçilmeden önce, binanın ihtiyaçları dikkatlice belirlenmeli; coğrafi konum, yön, geometri ve çevresindeki yapıların özellikleri doğru bir şekilde analiz edilerek ihtiyaçlar bu analizlere dayalı olarak tanımlanmalıdır. Gün ışığının enerji verimliliği üzerindeki rolü hem doğal aydınlatma hem de ısı yönetimi açısından oldukça kritiktir. Bu konuda öne çıkan temel noktaları aşağıdaki başlıklarla inceleyebiliriz:

- **Aydınlatmadan Kaynaklı Elektrik Enerjisi Tüketiminin Azaltılması**

Gün ışığından faydalanmak, iç mekânda yapay aydınlatma ihtiyacını büyük ölçüde azaltır.

Özellikle konut, ofis ve ticari binalarda gün ışığına dayalı tasarımlar, elektrik tüketimi ihtiyacını düşürerek iç mekân için enerji verimliliği sağlar.

- **Doğal Aydınlatma Stratejileri**

Gün ışığını iç mekânda daha verimli kullanmak amacıyla binalarda uygun saydamlık oranında pencere açıklıkları kullanılması, bina tipolojilerine göre giydirme cam cepheler uygulanması, ışık rafları veya ışık tüpleri gibi mimari çözümler ile gün ışığına bağlı otomasyon kontrolü gibi akıllı sistemler kullanılabilir. Doğru yerleştirilmiş pencereler ve güneş kırıcılar, binanın yönüne uygun seçilmiş cam tipleri iç mekândaki yapay aydınlatma ihtiyacını düşürür, görsel konfor kalitesini artırır ve enerji tasarrufu sağlar.

- **Çevresel ve Ekonomik Etkiler**

Gün ışığının kullanımı, fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimini azaltarak karbon emisyonlarını düşürür. Çevreye katkı sağlar. Uzun vadede, enerji maliyetlerini düşürerek ekonomik tasarruf sağlar.

- **Isı Yönetimi ve Termal Konfor**

Doğal ışığın etkin bir şekilde yönlendirilmesi, iç mekânların daha az enerji ile ısınmasını veya soğutulmasını sağlar. Uygun pencere tasarımı ve yalıtım malzemesi aşırı ısınmayı veya ısı kaybını önler. Öte yandan, yoğun yapay aydınlatma kullanımı, iç mekânlarda önemli miktarda ısıl yüke sebep olur. Bu durum da özellikle soğutma ihtiyacını oldukça arttırır. Soğutma mevsimlerinde gün ışığından faydalanıyor olmak, soğutma kaynaklı enerji tüketiminin de azalmasını sağlayacaktır.

- **Sağlık ve Verimlilik Katkıları**

Gün ışığı, insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler yaratarak sirkadiyen ritimle paralel olarak çalışma performansını ve genel yaşam kalitesini artırır. Daha iyi bir uyku düzeni sağlayarak bireylerin enerjik ve üretken kalmasına destek olur.

Gün ışığının etkili bir şekilde kullanımı, sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunurken enerji tüketimini azaltan çevre dostu bir yaklaşımdır.

1.3.3. Pencereler ve Cam Tipleri

Pencereler ve cam tipleri, iç mekânda gün ışığından faydalanırken gelen ışığın etkin bir şekilde dağıtılmasında önemli bir rol oynar. Doğru seçilmiş pencere tasarımları ve cam türleri hem enerji verimliliği sağlamakta hem de görsel konforu destekleyerek yaşam ve çalışma alanlarında daha sağlıklı bir çevre sunabilmektedir.

1.3.3.1. Pencereler

Pencereler, bina dış duvarlarında yer alan ve çalışma düzleminde ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyini sağlamayı amaçlayan düşey veya düşeye yakın eğimli gün ışığı açıklıkları olarak tanımlanabilir. Pencereler, her iklim bölgesine özel olarak seçilmeli ve tasarımın ilk aşamalarında dikkate alınmalıdır. Göz hizasında bulunan ve dış görüşü sağlayan görüş pencereleri ile dış görüşü sağlamayan yüksek pencereler (clerestories) bu kategori altında değerlendirilebilir (Yener, 2007).

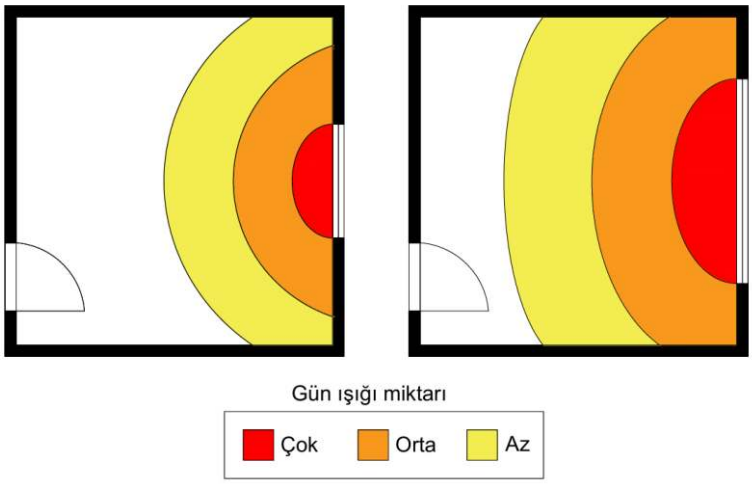
Göz hizasında yer alan pencereler, doğal ışığın içeri girmesini sağlarken, dış manzaranın da gözlemlenmesine olanak tanıyarak çalışma ortamının kalitesini artırır. Ayrıca, yüksek pencereler gibi alternatif tasarımlar, farklı iklim koşullarında aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak için dikkatlice seçilmeli ve entegre edilmelidir.

Göz hizasında bulunan pencerelerin en belirgin özelliği, iç ve dış ortam arasında bir köprü oluşturarak görsel bağlantıyı sağlamasıdır. Özellikle doğaya açılan pencereler, kullanıcı performansını olumlu yönde etkileyebilir ve aynı zamanda göz kaslarının gevşemesine yardımcı olarak sağlığa fayda sağlayabilir (Şekil 2).

Şekil 2. Pencerelerde dış görüş

Kaynak: Korkmaz, A. (2025). *Kişisel Fotoğraf Arşivi.* Üsküdar.

Bu pencerelerde aydınlık düzeyi, pencerenin dışarıya en yakın olduğu bölgede en yüksek olmasıyla birlikte hacmin iç kısımlarına doğru bu aydınlık düzeyi giderek düşmektedir. Bu karakteristik dağılımda, pencerenin açıldığı yönün ve gökyüzü koşullarının hem niteliksel hem de niceliksel etkisi oldukça büyük bir rol oynamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Pencere Boyutlarının Gün Işığı Dağılımına Etkisi

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Pencereler, kullanıcıların doğrudan görüş açısında yer aldıkları için, gün ışığından optimum faydalanmak amacıyla tasarımın ilk aşamasında düşünülmelidirler. Güneşin yıl boyunca gün içerisindeki hareketi dikkate alındığında, pencerenin yönü, boyutları ve kullanılan gölgeleme sisteminin tipi ışık kontrolü açısından belirleyici

faktörlerdir. Tüm bu sistemler birbiri ile de bağlantılıdır. Pencere boyutları hem yön hem de iklimsel faktörlere göre belirlenmelidir. Gölgeleme elemanı seçimleri de iç veya dış elemanlar ve farklı tipolojiler içerisinde iklimsel faktörler ve yöne bağlı olarak seçilmelidir. Tüm bu seçimler yapılırken iç mekân fonksiyonları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Bunlara ek olarak, pencere camlarının seçimi de gün ışığından ve güneş enerjisinden faydalanmada belirleyicidir. Camların SHGC (Solar Heat Gain Coefficient / Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenlik Değeri) ve Tvis (Visible Transmittance / Gün Işığı Geçirgenlik) değerleri seçilen camdan oransal olarak ne miktarda gün ışığı ve güneş enerjisi kazancı olacağının belirleyicisidir. Bu nedenle, cam seçimi çok dikkatli yapılmalı; yön ve iklim faktörleri göz önünde bulundurularak bu iki değerin ne olacağı belirlenmelidir. Pencere camlarının bu iki değeri, iç mekânda oluşacak görsel konforu ve termal konforu sağlamadaki etkisi oldukça önemlidir.

TS EN 410 (Camlar- Camın optik özelliklerinin belirlenmesi) standardına göre Tvis'in tanımı, görülebilir ışığın camdan geçiş oranı olarak tanımlanır. Tvis, camın içeriye ilettiği toplam görülebilir ışık oranını belirler. Yüksek Tvis değeri, camın daha fazla ışık geçirdiğini, düşük Tvis değeri ise daha az ışık geçirdiğini gösterir. SHGC, güneş enerjisinin camdan geçiş miktarını tanımlar. Cam üzerine gelen güneş ışınımının bir kısmını emer, bir kısmını yansıtır ve bir kısmını da geçirir. TS EN 410'a göre SHGC, camın içeriye ilettiği toplam güneş enerjisi miktarını ölçer. Yüksek SHGC değeri, camın daha fazla güneş enerjisi geçireceğini, düşük SHGC değeri ise daha az güneş enerjisi geçireceğini gösterir (TS EN 410, 2011). Her iki parametre de camın performansını anlamak ve iç mekân konforunu optimize etmek için kullanılır.

SHGC ve Tvis değerleri önceleri daha kısıtlı olarak ele alınabiliyorken artık yeni teknolojilerde her ikisinden de iklime uyumlu olarak maksimum veya minimum faydalar sağlayacak şekilde camlar seçmek mümkün olabilmektedir.

Ek olarak, gün ışığından maksimum fayda sağlamak adına kirlilik faktörü ve bakım konusu oldukça önemlidir. Pencere camlarının yüzeyinde biriken kir, toz ve dış etkenler ışık geçirgenliğini azaltarak iç mekânda elde edilen gün ışığı miktarını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle düzenli bakım ve temizlik, ışık verimliliğini artırmada önemli bir faktördür. Bakımın ihmal edilmesi, gün ışığı geçirgenliğinde (Tvis) düşüşe neden

olabileceği gibi uzun vadede yapay aydınlatmaya olan bağımlılığı artırarak enerji tüketimini de da artırabilir. Aynı zamanda camların SHGC faktörünü de olumsuz yönde etkileyerek, iklimsel özelliğe göre ısıtma veya soğutma ihtiyacını etkileyebilir. Bu sebeple camların belli periyotlarda bakımı gereklidir.

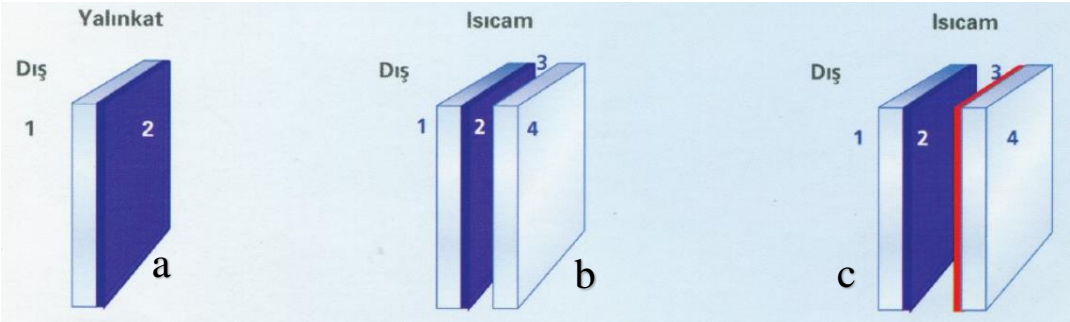
1.3.3.2. Güneş Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Camlar

Bina tasarımında cam seçimi, gün ışığının kontrollü şekilde içeri alınması, güneş ışınımından ısı kazancı sağlanması, dış görüşün desteklenmesi ve güneş ışınımının hacimlerdeki ısıtıcı etkisinin kontrol edilmesi amacı taşır. Pencere camının ışık geçirgenlik değeri, hacimlere alınan gün ışığı miktarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Doğal aydınlatma sisteminin tasarımında, görsel konfor ve aydınlatma enerjisi verimliliği açısından bu konuya özenle yaklaşılması gerekmektedir.

Aşağıda bazı cam tipleri incelenmiştir.

- **Çift Cam**

Çift camlar iki ya da üç düz camdan meydana gelmektedir. Camların arasında ısı yalıtımı amaçlı olarak belirli bir ölçüde (farklı seçenekler mevcuttur) boşluk bulunur. Bu boşluk hava, argon, ksenon veya kripton gibi gazlarla doldurulmuş olabilmektedir (Şekil 4). Kullanılan gaz türüne göre, cam bileşeninin ısı yalıtım özelliği değişmektedir. Bu yönleriyle, binalarda enerji tasarrufu konusunda etkili çözümler sunabilirler. Ayrıca, çift camlar ses yalıtımı açısından da önemli avantajlar sunar ve dış ortamdan gelen gürültüyü büyük ölçüde azaltabilir. Bu özellikleri sayesinde hem enerji verimliliği hem de yaşam konforu açısından modern yapıların vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir (Özdaş, 2022).



Şekil 4. A) Tek Cam Kesiti B) Çift Cam Kesiti C) Yalıtımlı Cam Kesiti

Kaynak: Gürsan (t.y.). *Güneş kontrol camları.* 12.08.2024 tarihinde https://www.gursanglass.com.tr/gunes-kontrol-camlari/ adresinden edinilmiştir.

İki basit cam paneli arasına boşluk eklenerek, camın ısıl iletkenliği büyük ölçüde azaltılır. Bu sayede camdan geçen ısı miktarı kontrol edilebilir ve enerji maliyetleri, yoğuşma, gürültü ve UV geçirgenliği azaltılabilir. Genellikle konutlarda çift camlar standart olarak tercih edilmektedir. Çift camların yalıtımını artırmak amacıyla cama kaplamalar da eklenebilir. "Kaplamalı cam, yalıtkan ve kızılötesi ışınlara dirençli hale getirilmek üzere özel olarak modifiye edilmiş bir düz camdır" (Özdaş, 2022). Kaplama uygulamaları ile seçilen cam, mekânın ısıl verimliliğine katkı sağlayabilir. Kaplamalar, gün ışığını daha verimli bir şekilde yansıtmak ve iç mekânda aydınlatma performansını artırmak için de kullanılabilmektedir.

- **Low-e ve Solar Low-e Yalıtımlı Cam**

Yalıtımlı cam, birbirine paralel duran iki veya daha fazla cam panelden oluşur. Cam panellerin kenarlarında çıtalar bulunur ve bu çıtalar sayesinde paneller arasında 8-20 mm kalınlığında boşluklar oluşur. Hava veya asal gaz içeren bu boşluk, ısı yalıtımı sağlar (Aykan Yapı, 2022). Yalıtımlı camı çift camdan ayıran en önemli özelliği camın arasına eklenen yalıtım kaplama malzemesidir.

Yalıtımlı çift camlar, ısı kayıplarını azaltmak amacıyla şeffaf filmlerle desteklendiğinde, tek camlara kıyasla ısı korunumu oranı yüzde 80'lere kadar daha fazla olmaktadır (Teknik Pencere, 2022). Mekânlarda ihtiyaç duyulan kontrol gereksinimlerinin sağlanması için çeşitli kaplamalar ve boyalar mevcuttur. Tercih edilen boya ve kaplamaların temel amacı, gün ışığının geçirgenlik derecesinin yüksek

tutulmasını sağlayarak güneş ışığını ve ısısını kontrol altına almaktır. Gelişmiş yalıtımlı camlarda günümüzde iki ana kaplama türü bulunmaktadır: Low-e kaplamalı cam ve Solar Low-e kaplamalı cam. Bu cam türlerinin kendi içinde de çeşitli alt kategorileri bulunmaktadır.

Low-e ve Solar Low-e kaplamalı camların özelliklerini karşılaştırabilmek için camlarda kullanılan termal katsayının bilinmesi önemlidir. Isıl performans, ısı geçirgenlik katsayısı (Ugl) yardımıyla belirlenir ve bu katsayının düşük olması, daha iyi bir termal performans anlamına gelir. Tek camlarda katsayı değeri yaklaşık 6 W/m^2K iken, çift camlarda bu değer 1.1 W/m^2K'e kadar düşmektedir (Teknik Pencere, 2022). Bu veri ile camlar arasındaki ısı iletkenlik katsayılarında yaklaşık 6 katlık bir fark gözlemlenebilmektedir. Aşağıdaki Tablo 2a ve 2b'de, Türkiye'de üretilen Low-e ve Solar Low-e yalıtımlı camların ara boşluk genişliklerine göre ısı geçirgenlik değerleri yer almaktadır. Ayrıca, kullanılacak dolgu tercihi, camlar arasındaki boşluğun ısı geçirgenlik değerini değiştirebilmektedir.

Tablo 2. A) Isı Kontrol (Low-E) Kaplamalı Cam Isı Geçirgenlik Katsayıları B) Isı ve Güneş Kontrol (Solar Low-E) Kaplamalı Cam Isı Geçirgenlik Katsayıları

Araboşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m²K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,3

a.

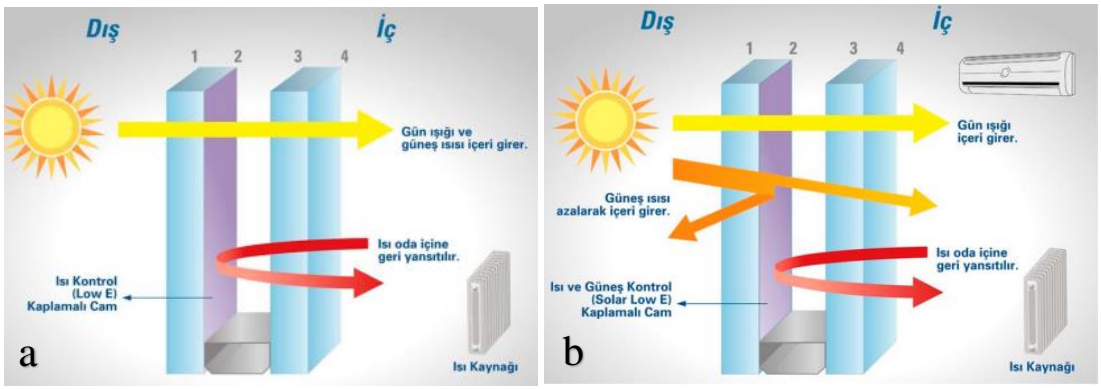
Araboşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m²K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,1

b.

Kaynak: Türk Standartları Enstitüsü. (2011). *Yapılarda cam – Isı geçirgenliği (U-değeri) tayini – Hesaplama yöntemi* (EN 673). TSE.

Low-E kaplamalı camların kullanıldığı yalıtım camları, iç mekânda yer alan radyatör ve soba gibi ısı kaynaklarından yayılan enerjiyi yeniden içeriye yönlendirerek bina içerisindeki ısı kaybını minimize etmeyi amaçlar (Şekil 5). Ayrıca, düz camlara kıyasla UV ışınlarının geçişini azaltarak iç mekândaki renklerin daha uzun süre korunmasına katkı sağlar.

Cam panellerde kaplama yapılacak yüzey, camın kullanılacağı bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak belirlenmelidir. Ülkemizde genellikle dış cam panelin iç yüzeyi, 2. yüzeydeki gibi tercih edilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. a) Isı Kontrol (Low-E) Kaplamalı Yalıtım Camı ve b) Isı ve Güneş Kontrol (Solar Low-E) Kaplamalı Cam

Kaynak: Yıldız Cam (2015). *Isıcam sinerji.* 06.02.2025 tarihinde https://yildizcam.com.tr/tr/urunler/yalitim-camlari/isicam/isicam-sinerji adresinden edinilmiştir.

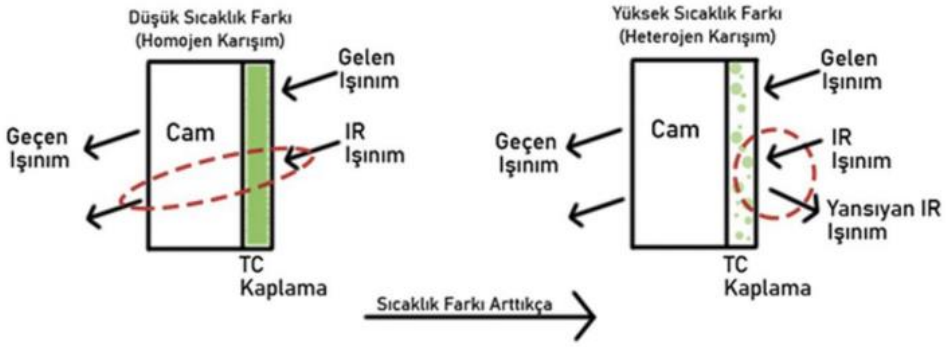
Low-e kaplamalı camlar, sadece iç mekân ısısının korunmasını sağlamakla kalmayıp aynı zamanda güneş ısısını da etkin bir şekilde kontrol edebilmesiyle öne çıkar (Şekil 5a). Düşük yayınımlı ısı ve güneş kontrol kaplamalarına sahip Solar Low-E yalıtım camlarının amacı, gün ışığını tamamen içeri alırken güneşten gelen ısıyı azaltarak içeriye almasını sağlamaktır (Şekil 5b).

Solar Low-E cam tipinin kaplama malzemesi, dış cam ile iç camın ara boşluğuna bakan yüzeylerinde (1 ve 2. yüzeyler) yer almaktadır. Isı ve güneş kontrol sistemine sahip Solar Low-E kaplamalı camların, UV geçirgenliği basit camlara kıyasla daha düşüktür. Bu sayede iç mekânda bulunan perde, mobilya ve benzeri iç mekân ögelerinin renklerinin korunmasına olanak sağlar. Cam seçimi yaparken Low-e yalıtımlı cam tipinde ısı geçirgenlik katsayısına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu katsayı değeri bilinmiyorsa camın ara boşluk genişliği, ara boşluk dolgusun yayınım değeri ve doğramaların U (ısıl geçirgenlik katsayısı) değerleri dikkate alınmaktadır (İzoder, 2009).

- **Termokromik Cam (TC)**

Termokromik malzemeler sıcaklığa göre renk değişimi gösteren malzemelerdir. Yunancadan gelen Termo-kromik kelimesinde termo (thermos) sıcaklığı, kromik (chroma) ise rengi ifade etmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018). Termokromik camlarda diğer cam tiplerinden farklı olarak kimyasal tepkime gerçekleşmektedir. Gün ışığının

geliş açısına göre sıcaklık farkının oluşmasıyla birlikte iki farklı hal arasında geçiş gerçekleşmektedir. Termokromik özellikteki camlar düşük sıcaklıklarla karşılaştığında saydam olmaktadır (Şekil 6). Bu tip camlarda saydamlık durumu dışarıdaki sıcaklık şiddetiyle ters orantılıdır. Dışardaki sıcaklık artıkça iç mekâna giren güneş ışığı da artar. Bu durumda görsel konforun sağlanabilmesi için camın saydamlığı azalmalı ve cam, iç mekân içerisine daha az ışık geçirmelidir. Örneğin iç mekân ile dışarısı arasında oluşan sıcaklık farkı 6 C° olduğunda camda yüksek düzeyde saydamlık gözlenirken, sıcaklık farkı 55 C° olduğunda saydamlık özelliği minimuma düşmektedir. Termokromik özellik, birçok organik ve inorganik bileşende görülmektedir. Örneğin, termokromik özellik gösteren metal oksitlerden biri olan vanadyum oksit, yarı iletkenlikten metalik hale geçiş yaptığı zaman, kızılötesi (IR) bölgede yüksek yansıtıcılık gösteren bir hale gelir ve bu sayede camın kızılötesi ışınları yansıtmasını sağlar (Erdemli, 2018).



Şekil 6. Termo-Kromik Malzemenin Şematik Gösterimi

Kaynak: Açıksarı, C., ve Karasu, B. (2018). Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering (ECJSE), 5(2)*, 437–457.

Termokromik camları oluşturan bileşenler, saydamlıklarının sıcaklığa göre değişken olmasında büyük bir rol oynar. Bu bileşen, iki cam arasında sıkıştırılmış jellerden oluşur ve sıkıştırılmış jel içinde farklı kırılma indisine sahip bileşenler bulunmaktadır. Bu tür malzemeler genellikle temel materyal olarak su ve plastiği veya iki farklı plastiği (polimer karışımı) içerir. Düşük sıcaklıkta sıkıştırılmış jel, homojen bir şekilde dağılarak şeffaf bir görünüme dönüşürken, yüksek sıcaklıkta heterojen olarak dağılarak beyazlaşmaktadır (Şekil 7). Bu durum sonucunda cam, opak durumdan yansıtıcı duruma geçmektedir. Saydamlık ve opaklık arasındaki geçiş, tersinir bir tepkimeyle tersine dönebilir (Erdemli, 2018). Ancak bu camın olumsuz yanı, güneş

ışığının içeriye geçişini azaltması ve uzun süreli kararlılığını etkileyecek şekilde sıvı fazın pencere ünitesinden sızma ihtimalidir (Kazanasmaz ve Diler, 2018).

Termokromik camlar pasif camlar olduğundan kullanıcılar tarafından kontrolü zor olmaktadır. Bir diğer olumsuz özelliği ise opak hale geçmesi için yeterli sıcaklığa ulaşamadığı zamanlarda kullanıcıların kamaşmaya maruz kalması durumudur diyebiliriz.

Şekil 7. Termo-Kromik Camın Farklı Durumda Görünümleri

Kaynak: Shineway Europe. (2023). *Thermochromic smart glass*. 01.04.2024 tarihinde https://www.shinewayeurope.eu/en/thermochromic-smart-glass/ adresinden edinilmiştir.

- **Fotokromik Cam**

Gelen ışığın yoğunluğuna göre camın kendi rengini değiştirdiği camlara fotokromik cam denmektedir. Fotokromik camların katmanı, gümüş halojenür kristaller içerir. Bu kristaller, ultraviyole (UV) veya kısa dalga görünür ışığa duyarlıdır ve ışığın etkisiyle camın saydamlık özelliklerini değiştirebilir (Gezer ve Altın, 2024). Termokromik camlarda camın opaklık veya saydamlık durumundan dolayı renginin değişmesi maruz kaldığı ısıya bağlıyken, fotokromik camda rengin koyuluğu, gün ışığının miktarına ya da mor ötesi ışınlarına bağlı olarak değişmektedir. Fotokromik camlarda da tersinir hareketle çalışan bir sistem vardır. Gelen gün ışığı miktarı tükendiğinde cam şeffaflaşmaktadır.

Bu sistem ışığa bağlı olarak çalıştığı için, olumsuz yanı yazın veya kışın camın otomatik olarak aniden kararabilmesidir (Şekil 8). Ancak fotokromik camlar çok dayanıklı olmaları ve kimyasallara karşı direnç göstermeleri ile olumlu özelliklere sahiptir (Topal ve Arpacıoğlu, 2020).

Şekil 8. Foto-Kromik Cam Malzemesinin Dış Çevre İle Rengini Değiştirmesi

Kaynak: Topal, A. S., ve Arpacıoğlu, Ü. (2020). Mimarlıkta akıllı malzeme. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 5(2)*, 241–254.

Fotokromik camlar yalnızca mimaride değil farklı alanlarda da etkili şekilde kullanılmaktadır. Genellikle gözlük sektöründe ve uçakların ön camlarında istenmeyen güneşi engellemek amacıyla kullanılabilmektedir. Bu malzemenin yapılardaki kullanımının ilk örneklerinden biri olan Polonya'daki Gdańsk Teknoloji Üniversitesi'ne ait bir konferans salonunun çatı kısmında camın uygulanmış örneği bulunmaktadır (Şekil 9).

Şekil 9. Polonya'daki Gdansk Teknoloji Üniversitesindeki Konferans Salonu Çatısı

Kaynak: Açıksarı, C., ve Karasu, B. (2018). Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering (ECJSE), 5(2)*, 437–457.

1.3.4. Cam Tiplerinin Değerlendirmesi

Bina cephelerinde cam kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Kullanılan cam tipleri, binaların ısıtma ve soğutma gereksinimlerine bakıldığında termal performansına çeşitli şekillerde etki etmektedir diyebiliriz. Bu duruma bağlı olarak cam tiplerinin kullanılan kaplama malzemelerinin gelişmesiyle tercih edilme oranında artış gözlenmektedir. Güneş kontrolü hedefleniyorsa, seçilecek olan malzemenin yapının bulunduğu iklimsel şartlara ve kullanım tercihlerine uygun olması son derece önemlidir. Günümüzde, gelişen cam teknolojileriyle beraber geniş açıklıklara sahip yapılar için de farklı özelliklere sahip gelişmiş cam seçenekleri sayesinde pasif bir sistem olarak etkili güneş kontrolü sağlanması mümkün olmaktadır.

Gün ışığı geçirgenlik değeri (Tvis), cam malzemenin doğal ışığı iç mekâna iletme kapasitesini tanımlayan kritik bir özelliktir. Bu değer hem enerji verimliliği hem de iç mekânın aydınlatma ihtiyaçlarının optimize edilmesinde önemli bir rol oynar. Örneğin, yüksek geçirgenlik değerine sahip camlar, yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlarken; düşük geçirgenlik değerine sahip camlar, güneş ışığını daha fazla engelleyerek aşırı ısınmayı önlemekte etkilidir.

Gün ışığı geçirgenlik değeri (Tvis), cam malzemelerin doğal ışığı iç mekâna iletme kapasitesini belirleyerek enerji verimliliğini artırırken, aynı zamanda iç mekânların aydınlatma kalitesini ve kullanıcı konforunu da önemli ölçüde iyileştirir.

1.4. Yapay Aydınlatma

İç mekânlarda, doğal ışığın yetersiz olduğu alanlarda ya da doğal ışığa ek olarak yapay aydınlatma kullanılmaktadır. Yüzyıllar boyunca, önce mumlar ve gaz lambaları, ardından hava gazı ve nihayetinde elektrikli aydınlatma sistemleri kullanılmıştır. Zamanla, iç mekân aydınlatması konusunda birçok teknolojik gelişme yaşanmış ve bu alanda çeşitli yenilikler ortaya çıkmıştır. Farklı fonksiyona sahip mekânların, farklı ışık seviyelerine ve farklı aydınlatma türlerine ihtiyaçları vardır. Bunu sağlamak yapay aydınlatma tasarımlarıyla mümkündür. Mekânın fonksiyonuna, mekândaki etkinliğin gereksinmelerine ve ruh haline uygun bir aydınlatma sistemi tasarlanmalıdır.

“Güzel aydınlatılmış mekânlar yaratmak bir sanattır; ışığın fiziğini, insan gözünün ışığı nasıl algıladığını ve ışığa nasıl tepki verdiğini anlamayı gerektiren bir sanat” (Coles ve House, 2012).

Mekân tasarımı, ışık sayesinde anlam kazanır ve ışığın nitelik ve nicelik özellikleri doğrultusunda algılanarak kimlik kazanır. Işık, tasarımı ortaya çıkaran, istenen detayları vurgulayan ve gerektiğinde sınırlayan en güçlü öğedir. Bir mekânın gerçek kimliğini bulabilmesi, daha konforlu ve estetik özellikler kazanabilmesi için fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçları karşılayacak şekilde renk-ışık-gölge ilişkisine dikkat edilerek aydınlatma tasarımından faydalanılmalıdır (Fitoz, 2008).

Işık, iç mekâna canlılık veren en önemli öğedir. Işıksız hiçbir renk, biçim, doku ve iç mekânın kendisi görünemez. Bu nedenle, aydınlatma tasarımının temel işlevi; iç mekânı ve içindeki biçimleri aydınlatmak, görünür kılmak ve böylece mekân kullanıcılarının ihtiyaç duydukları hızda, rahatlıkla ve hatasız bir şekilde mekân içindeki etkinliklerini yerine getirmelerini sağlamaktır (Ching, 2006).

1.4.1. Aydınlık Düzeyi (Illuminance)

Aydınlık düzeyi, bir yüzeydeki aydınlatma seviyesinin ölçüsüdür ve lux (lx) birimiyle ifade edilir. Bu standart, çeşitli iş alanları ve faaliyetler için önerilen minimum aydınlık düzeylerini belirleyerek, kullanıcıların görsel konforunu ve iş verimliliğini sağlamayı hedefler. Aydınlık düzeyinin yeterliliği, göz yorgunluğunu önlemek, renk algısını iyileştirmek ve genel çalışma koşullarını optimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca, aydınlık düzeyinin homojenliği de görsel performansı artırarak dikkat dağınıklığını azaltır ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturur (TS EN 12464-1, 2021). Bu bağlamda, TS EN 12464-1 standardı, iç mekân aydınlatmasının etkili bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için önemli bir kılavuz sunar.

Aydınlık düzeyi, bir ortamda görsel performansı doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Aydınlık düzeyinin yeterli olması, insanların görsel görevleri düzgün bir şekilde yerine getirmelerini sağlar. Yetersiz aydınlık düzeyleri, göz yorgunluğuna, odaklanma zorluklarına ve uzun vadede göz sağlığı sorunlarına yol açabilir.

Aydınlatma, odanın tüm bölümlerine eşit şekilde dağılmalıdır. Işık seviyelerinin homojen olması, konforlu bir çalışma ortamı sağlar. Bu nedenle, aydınlık düzeyinin tasarımda dikkatle ele alınması gerekir.

Aydınlık düzeyinin hesaplanması için kullanılan temel formül: (TS EN 12464-1, 2021)

$\Phi/A=E$

Burada:

E: Aydınlık düzeyi (lx)

Φ: Işık akısı (lumen)

A: Aydınlatılan yüzeyin alanı (metrekare),

Bu formül, ışık akısının belirli bir yüzey alanına nasıl dağıldığını gösterir ve yüzeyin büyüklüğüne göre ışık düzeyinin nasıl değiştiğini anlamamıza olanak tanır.

- **Aydınlık düzeyi ve görsel konfor ilişkisi:** Aydınlık düzeyi, bir alanın genel görsel konforunu etkiler. Çalışma alanlarında uygun aydınlık, göz yorgunluğunu azaltarak çalışanların daha verimli ve rahat çalışmasına olanak tanır.
- **Aydınlık düzeyi ve iş verimliliği ilişkisi:** Yeterli aydınlık düzeyleri, çalışanların daha uzun süre odaklanabilmesini sağlar. Örneğin, ofislerde veya fabrika alanlarında uygun aydınlatma, iş verimliliğini artırabilir.
- **Aydınlık düzeyi güvenlik ilişkisi:** Yetersiz aydınlık düzeyi, kazaların artmasına neden olabilir. Özellikle üretim tesislerinde, hastanelerde ve depolama alanlarında, güvenlik için yeterli aydınlık seviyesinin sağlanması çok önemlidir.
- **Aydınlık düzeyi enerji verimliliği ilişkisi:** Aydınlık düzeyi, enerji verimliliğiyle de ilişkilidir. Aydınlatma tasarımında, ortamın aydınlık düzeyini doğru şekilde ayarlamak, enerji tasarrufu sağlar. Işığın verimli kullanılması hem enerji maliyetlerini azaltır hem de çevresel etkiyi minimize eder.
- **Aydınlık Düzeyi Ölçeği:** Aydınlık düzeyi, bir yüzeye birim alanda düşen ışık miktarını ölçmektedir. Örneğin ofis çalışma ortamlarında 500-1000 lx değerleri gerekirken, arşiv alanlarında 200-300 lx değerlerinin sağlanması gerekmektedir. 2021: TS EN 12665:2018 / Işık ve Aydınlatma - Aydınlatma

gereksinimlerini belirtmek için temel terimler ve kriterlere göre belirlenmiş, algısal fark yaratabilmek için önerilen aydınlık düzeyi (lx) adımları: 5 - 7,5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 – 3 000 - 5 000 - 7 500 - 10 000 olarak sıralanmaktadır (TS EN 12464-1, 2021).

- **Aydınlık düzeyinin düzgün yayılmışlığı/düzgünlüğü (Uo):** Uo (Uniformity of illuminance, Uniformity Factor), bir yüzeye düşen ışığın ne kadar düzgün yayıldığını gösteren bir katsayıdır. Aydınlık düzeyinin düzgün yayılmadığı bir ortamda, bazı bölgeler fazla aydınlık olurken, diğer bölgeler karanlık kalabilir. Bu da görsel rahatsızlık ve odaklanma sorunlarına yol açabilir (TS EN 12464-1, 2021).

Uo genellikle belirli bir alandaki minimum aydınlık düzeyinin, o alandaki ortalama aydınlık düzeyine oranı olarak ifade edilir. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

Emin/ Eavg=Uo

E_min: Yüzeydeki en düşük aydınlık düzeyi (lx)

E_avg: Yüzeydeki ortalama aydınlık düzeyi (lx)

(TS EN 12464-1, 2021)

Aydınlık düzeyinin düzgünlüğü (Uo), hem görsel konforu hem de çalışma verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür. Işık kaynaklarının yerleşimi, yüzeylerin yansıma çarpanları ve genel ortam düzeni, ışığın nasıl yayılacağını belirler. Aydınlık düzeyinin düzgünlüğü, özellikle ofisler, okuma alanları ve eğitim ortamları gibi alanlarda göz yorgunluğunun ve dikkat dağınıklığının önlenmesine yardımcı olur. İyi bir aydınlatma tasarımı, hem ışığın doğru bir şekilde dağılmasını sağlar hem de görsel rahatlık ve güvenlik açısından en iyi sonucu elde eder.

1.4.2. Kamaşma (UGR)

Kamaşma, doğrudan veya yansıyan ışığın gözleri rahatsız etmesi durumudur. İyi bir aydınlatma tasarımı, doğrudan veya yansıyan ışığın gözlerde rahatsızlık yaratmasını önleyerek, çalışanların ve kullanıcıların daha verimli bir ortamda çalışmasını sağlar. Kamaşmanın kontrolü, uygun ışık kaynağı seçimi, yüzeylerin doğru şekilde tasarlanması ve ışığın doğru yönlendirilmesi gibi stratejilerle sağlanabilir.

TS EN 12464-1: 2021, parlama seviyelerinin minimumda tutulmasını önerir. Bu kontrol, çalışanların rahat bir şekilde çalışabilmesini sağlamak için önemlidir.

İç mekânlarda bu değer genellikle, UGR (Unified Glare Rating / Bütünleşik Parıltı Değerlendirmesi) < 19 olarak kabul edilir. Bu, doğrudan ve yansıyan parlamanın rahatsız edici düzeyde olmamasını garanti eder (TS EN 12464-1, 2021).

Doğrudan parlama yaşanmaması için aydınlatma kaynaklarının doğrudan gözle görülmesi engellenmelidir. Yüksek parlama seviyeleri, çalışanların görsel konforunu bozarak göz yorgunluğuna yol açabilir. Bu durum iç mekânda çeşitli kazaların oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, aydınlatma tasarımında parlama önleyici elemanların tercih edilmesi ve ışık kaynaklarının konumunun üzerinde titizlikle çalışılması hem görsel konforun sağlanması hem de iş güvenliğinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Kamaşmanın nedenleri; ışık kaynağının aşırı parlaklığı, yanlış ışık yönlendirilmesi, yansıyan ışık ve yetersiz aydınlatma tasarımı olarak sayılabilir.

Kamaşmanın etkileri; görsel rahatsızlık ve zorluklar, göz yorgunluğu, görsel performansın azalması, fiziksel rahatsızlıklar ve güvenlik riskidir.

- Işık kaynaklarını doğru yerleştirmek ve yönlendirmek.
- Parlak yüzeyler yerine mat yüzeyler kullanmak.
- Aydınlatmanın homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak.
- Difüzörler kullanarak ışığı yumuşatmak.
- Doğal ışığı kontrol etmek (perdeler, jaluziler)

1.4.3. Renksel Geriverim (CRI)

Renksel Geriverim (CRI-Color Rendering Index), bir ışık kaynağının, aydınlattığı nesnelerin renklerini doğal veya referans bir ışık kaynağı altında göründüğü şekilde doğru bir biçimde ortaya çıkarma yeteneğini ifade eder. Renksel geriverim indeksi, 0 ile 100 arasında bir değerle ifade edilir; 100'e yakın değerler, renklerin daha doğru ve doğal göründüğünü, düşük değerler ise renklerin bozulduğunu veya farklı algılandığını gösterir.

TS EN 12464-1 standardına göre, iç mekânlarda kullanılan ışık kaynaklarının renksel geriverim değerlerinin belirli bir minimum seviyede olması gerektiği belirtilir (genellikle CRI ≥ 80). Bu, görsel konforu artırmak ve renk algısını optimize etmek için önemlidir (TS EN 12464-1, 2021).

TS EN 15193-1 standardı, binalarda enerji verimli aydınlatma sistemlerinin tasarımına odaklanırken, renksel geriverim kavramına da dolaylı olarak değinmektedir. Standart, enerji verimliliğini değerlendirirken aydınlatma kalitesinin korunmasını ve görsel konforun sağlanmasını öncelikli hale getirir. Bu bağlamda, renksel geriverim, bir ışık kaynağının nesnelerin renklerini doğal veya referans bir ışık kaynağı altında göründüğü şekilde doğru gösterebilme yeteneği olarak tanımlanır. Bu, kullanıcıların renkleri doğru algılayabilmesi ve görsel konforun sağlanması için gereklidir. (TS EN 15193-1, 2017).

Tablo 3. Renksel Geri Verim Indeksi

Çok iyi	90>Ra>100	Doğru renk görmenin zorunlu olduğu alanlar.
	80>Ra>90	
İyi	70>Ra>80	Doğru renk görmenin önemli olduğu alanlar
	60>Ra>70	
Orta	40>Ra>60	Doğru renk görmenin pek önemli olmadığı fakat belirgin renk dönmelerinin istenmediği ortamlar
Kötü	20>Ra>40	Doğru renk görmenin önemli olmadığı ve renk dönmelerinin kabul edilebildiği ortamlar

Kaynak: Chartered Institution of Building Services Engineers. (2023). *Lighting guide 7: Office lighting.* CIBSE Publications. / Yazar tarafından Türkçe'ye çevrilip düzenlenmiştir.

- **Aydınlatan ışığın rengi**

TS EN 12464-1 ve TS EN 15193-1 gibi standartlara göre, aydınlatan ışığın rengi, bir ışık kaynağının yaydığı ışığın algılanan rengini ifade eder ve genellikle renk sıcaklığı Kelvin (K) cinsinden tanımlanır. Renk sıcaklığı, ışığın siyah bir cismin belirli bir sıcaklıkta yaydığı ışığa olan benzerliğiyle açıklanır. Aydınlatma standartlarında,

ışığın rengi üç temel kategoriye ayrılır: sıcak beyaz ışık (2700 K - 3300 K), nötr beyaz ışık (3300 K - 5300 K) ve soğuk beyaz ışık (5300 K ve üzeri). Sıcak beyaz ışık kırmızımsı ve sıcak tonlar sunarken, nötr beyaz ışık daha doğal ve dengeli bir görünüm sağlar; soğuk beyaz ışık ise mavimsi ve soğuk bir ton oluşturur. Bu standartlar, ışığın rengini görsel konfor, doğru renk algısı ve iş ortamlarında verimlilik açısından değerlendirir ve farklı uygulamalar için uygun ışık renginin seçilmesine rehberlik eder (TS EN 12464-1, 2021).

- **Renk Sıcaklığı**

Belirli gözlem koşulları altında, bir ışık kaynağının yaydığı ışığın, verilen bir uyartıya en çok benzeyen ve aynı parlaklıkta algılanan rengine karşılık gelen Planck ışıyıcısının sıcaklığıdır.

- Mum ışığı: 1900 K.
- Akkor lamba: 2400 – 2900 K.
- Öğle vakti güneş ışığı: 5800 K.
- Kapalı gök ışığı: 6500 K.

Şekil 10. Renk Sıcaklıkları ve Kelvin değerleri

Kaynak: Aydınlatma Türk Milli Komitesi, (2024). *Aydınlatma ve Işık Günü Prof. Dr. Rengin Ünver sunum dosyası*. 17.06.2024 tarihinde www.atmk.org.tr adresinden edinilmiştir.

- **Aydınlatma Renk Seçimlerinin Önemi**

Aydınlatma renk seçimleri, mekânların atmosferini ve estetiğini şekillendirmede önemli bir rol oynar. Doğru renk seçimi, bir mekânın sıcak ve davetkar,

soğuk ve profesyonel ya da nötr ve rahatlatıcı olmasını sağlayabilir. Örneğin, sıcak beyaz ışık (2700K – 3000K) evlerde, özellikle oturma odası ve yatak odası gibi dinlenme alanlarında rahatlatıcı bir atmosfer yaratır. Nötr beyaz ışık (3500K – 4500K) ise ofisler ve mutfaklar gibi çalışma alanlarında daha dengeli ve uyarıcı bir ortam sağlar. Soğuk beyaz ışık (5000K – 6500K), ticari alanlar, hastaneler ve depolar gibi yüksek enerji ve odaklanma gerektiren yerlerde verimliliği artırır. Ayrıca, doğru aydınlatma renk seçimleri mekânın estetiğinin yanı sıra, insanların ruh hali, verimlilik ve genel sağlığı üzerinde de olumlu etkiler yaratır. Sıcak beyaz ışık, rahatlatıcı etkisiyle stresi azaltır ve uyku kalitesini artırır; bu nedenle yatak odaları ve oturma odaları için idealdir. Nötr beyaz ışık, daha doğal bir aydınlatma sağlar ve çalışma alanlarında konsantrasyonu artırarak verimliliği destekler. Soğuk beyaz ışık ise uyanıklığı artırır ve odaklanmayı sağlar, bu da ofisler ve ticari alanlar için doğru bir seçimdir (Pelsan, 2024).

Şekil 11. Aydınlatmada Renk Sıcaklığı ve Lamba Seçimi

Kaynak: Any-Lamp. (2020). *Which colour temperature for LED.* 18.06.2024 tarihinde https://www.any-lamp.com/blog/which-colour-temperature-for-led adresinden edinilmiştir.

Aydınlatma gereksinimleri farklı iç mekânlarda ve aktivitelerde gereken aydınlatma düzeylerini belirleyen bir rehberdir. Belirlenen bu standart, görsel konforu sağlamak ve işlevsel alanlarda verimli çalışma koşulları oluşturmak için uygun ışık seviyelerinin seçilmesine yardımcı olmaktadır.

1.4.4. Işıklılık Dağılımı

Işıklılık dağılımı, bir ışık kaynağından yayılan ışığın uzaydaki farklı yönlere dağılımını ifade eder ve genellikle ışık yoğunluğunun belirli bir yüzeyde veya

hacimdeki dağılımını tanımlamak için kullanılır. Bu dağılım, ışık kaynağının optik özelliklerine, tasarımına ve kullanım amacına bağlı olarak değişiklik gösterir.

Görsel alandaki ışıklılık dağılımı, görev görünürlüğünü etkileyen gözlerin adaptasyon seviyesini kontrol eder.

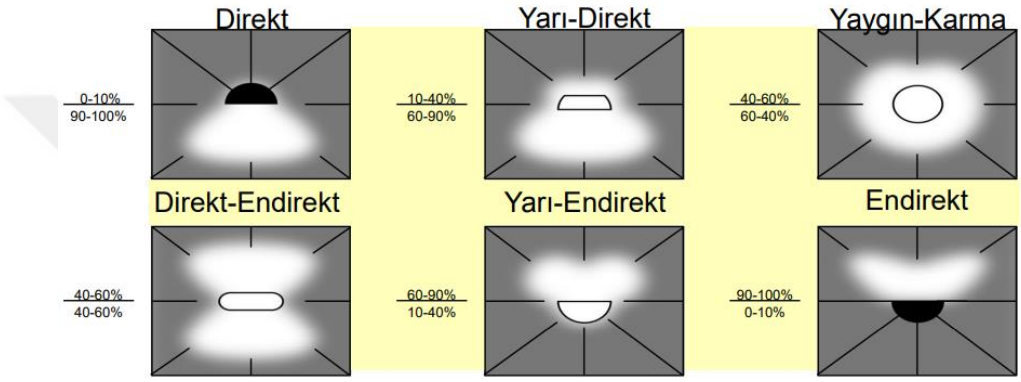
İyi dengelenmiş bir adaptasyon aydınlatmasına şunlar için ihtiyaç vardır: (TS EN 12464-1)

- Görme keskinliği,
- Kontrast duyarlılığı (küçük bağıl aydınlatma farklarının ayrımı),
- Göz fonksiyonlarının verimliliği (uyum sağlama, yakınsama, göz bebeği daralması, göz hareketleri vb.)
- Görsel alandaki aydınlatma dağılımı da görsel konforu etkiler. Aşağıdaki nedenlerden dolayı şunlardan kaçınılmalıdır: (TS EN 12464-1)
- Parlamaya neden olabilecek çok yüksek aydınlatmalar ve aydınlatma kontrastları,
- Gözlerin sürekli yeniden adaptasyonu nedeniyle yorgunluğa neden olacak çok yüksek aydınlatma değişimi,
- Donuk ve uyarıcı olmayan bir çalışma ortamıyla sonuçlanan çok düşük aydınlatmalar ve çok düşük aydınlatma kontrastları.

Işıklılık dağılımı, görsel konfor ve görev performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Dengeli bir aydınlatma, gözlerin adaptasyonunu desteklerken görme keskinliği, kontrast algısı ve göz fonksiyonlarının verimliliğini artırır. Ancak, aşırı parlama, yüksek kontrast değişimleri veya yetersiz aydınlatma gibi olumsuz durumlar hem görsel yorgunluğa hem de motivasyonu düşüren bir çalışma ortamına yol açabilir. Bu nedenle, aydınlatma tasarımında dengeli ve standartlara uygun bir yaklaşım benimsenmelidir. Bu bağlamda, armatürlerin ışık dağılım özellikleri, aydınlatma tasarımının başarısında belirleyici bir rol oynar.

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage / Uluslararası Aydınlatma Komisyonu) armatürlerin ışık yayılımını standart bir şekilde analiz ederek, doğru aydınlatma çözümlerinin geliştirilmesine olanak tanır. CIE'ye göre Işık Dağılım Eğrileri Sınıflandırması, bir armatürün ışık dağılımını belirlemek ve değerlendirmek için kullanılan uluslararası bir standarttır. Bu sınıflandırma, bir armatürün ışığı hangi

yönlere ve ne yoğunlukta yaydığını gösteren diyagramlar ile ifade edilir. Işık dağılımı, genellikle simetrik, asimetrik veya düzlemsel olarak sınıflandırılır ve bu dağılımlar, armatürün uygulama alanına uygunluğunu belirlemek için kritik bir rol oynar. Örneğin, geniş bir alanın homojen bir şekilde aydınlatılması için geniş dağılımlı bir armatür tercih edilirken, odaklanmış bir aydınlatma için dar ışık dağılımına sahip bir armatür seçilir. CIE sınıflandırması, aydınlatma tasarımcılarına ve mühendislerine, armatürlerin performansını karşılaştırma ve uygun uygulamalar için doğru seçim yapma konusunda rehberlik eder (Onaygil, 2016).



Şekil 12. Armatür Işık Dağılımı / CIE Işık Dağılım Eğrileri Sınıflandırması

Kaynak: Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). (2019). *Lighting of work places: Part 1 – Indoor work places*. / Onaygil, S. tarafından düzenlenmiştir.

Aydınlatma tasarımı hem görsel konfor hem de işlevsellik açısından yaşam ve çalışma alanlarının kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur. Aydınlık düzeyi, kamaşma, renksel geriverim ve ışıklılık dağılımı gibi parametreler, doğru bir aydınlatma sisteminin temel yapı taşlarını oluşturur.

Aydınlık düzeyinin yeterli ve homojen bir şekilde sağlanması, görsel performansı artırırken göz yorgunluğunu ve dikkat dağınıklığını önler. Bununla birlikte, kamaşmanın kontrolü hem görsel rahatsızlıkların hem de iş güvenliği risklerinin azaltılmasında kritik bir rol oynar. Kamaşma, ışık kaynaklarının doğrudan veya yansıyan ışığı ile gözlerde rahatsızlık yaratması durumudur ve bu durum, çalışanların odaklanmasını zorlaştırarak iş performansını olumsuz etkileyebilir. Renksel geriverim ve ışık rengi, mekânların atmosferini ve estetik algısını şekillendirirken, aynı zamanda kullanıcıların renkleri doğru algılamasına olanak tanır.

CIE ışık dağılım eğrileri sınıflandırması gibi uluslararası standartlar, armatürlerin ışık yayılımını analiz ederek aydınlatma tasarımcılarına doğru ürün seçimi konusunda rehberlik sunar. Bu standartlar, ışığın mekânda nasıl dağıldığını ve hangi uygulama alanlarına uygun olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Sonuç olarak, dengeli, kamaşmayı minimize eden, enerji verimli ve standartlara uygun bir aydınlatma tasarımı hem kullanıcı memnuniyetini hem de iş verimliliğini artırırken, enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirliği de destekler.

TS EN 12464-1 standardına göre ofis alanlarında görsel performans kriterlerinin sağlanması için gerekli koşulları içeren tablo aşağıdaki gibidir.

Aydınlatma tasarımı, bir mekânın işlevselliğini, estetik değerini ve kullanıcıların görsel konforunu doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur. Aydınlık düzeyi, kamaşma, renksel geriverim ve ışıklılık dağılımı gibi temel parametreler, doğru bir aydınlatma sisteminin planlanmasında dikkate alınması gereken başlıca kriterlerdir. Aşağıdaki tabloda (Tablo 4), TS EN 12464-1 standardına göre, ofis alanları gibi iç mekânlarda aydınlatma gereksinimlerini belirleyen minimum gereksinimler özetlenmiştir.

Tablo 4. Aydınlatma Gereksinimleri Tablosu

AYDINLATMA GEREKSİNİMLERİ TABLOSU (2021 - 7)

Hedef 1: Görev alanı ya da etkinlik alanı tasarımı

Hedef 2: Oda ya da mekanın tasarım gereklilikleri

- Görev ya da etkinlik alanı ilgili gerekliliklerin *Ēm, Uo, Ra, RUGL*
- Nesnelerin tanınması ve görsel iletişim *Ēm,z ; Uo*
- Odanın parıltı görünümü *Ēm ; Uo*

Görsel iş kritik ise
Hataların düzeltilmesi maliyetli ise
Doğruluk, daha yüksek üretkenlik veya artan konsantrasyon çok önemli ise
Görev ayrıntıları alışılmadık derecede küçük boyutta veya düşük kontrastlı ise
Görev alışılmadık derecede uzun bir süre için üstlenildi ise
Görev alanı veya faaliyet alanı düşük gün ışığına sahip ise
Kişinin görme kapasitesi normalin altında ise

Ref. no.	Görev tipi/etkinlik alanı	Ēm lx		Uo	Ra	RUGL	Ēm,z lx	Ēm,duvar lx	Ēm,tavan lx	Özel gereklilikler
		Gerekli a	Değiştirilmiş b				Uo ≥ 0,10			
34.2	Yazma, daktilo, okuma, veri işleme	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100	DSE-work, see 5.9 Room brightness, see 6.7 and Annex B Lighting should be controllable, see 6.2.4. For smaller cellular offices the wall requirement applies to the front wall. For other walls a lower requirement of minimum 75 lx could be accepted.

a. Gerekli: minimum değer

b. Değiştirilmiş : Bölüm 5.3.3 teki gerekçelere göre

150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1 000 - 1 500 - 2 000 –3 000 - 5 000 - 7 500 - 10 000

Kaynak: Türk Standartları Enstitüsü. (2021). *TS EN 12464-1: Işık ve Aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: İç mekân çalışma yerleri.* Türk Standartları Enstitüsü / Ünver, R. tarafından bazı detaylar eklenip düzenlenmiştir.

2. AYDINLATMA VE İNSAN SAĞLIĞI İLİŞKİSİ

Işık dünyayı anlamlandırmamız ve var oluşumuzu devam ettirmemiz için gereklidir. Çevremizi anlamlandırma sürecinde ilk algılama ışık sayesinde olur. Modumuzu değiştirir ve ruh halimizi etkiler. Asırlardan beri düşünürler, fizikçiler, bilim adamları, Aristo'dan Newton'a, ışığın tabiatını anlamaya çalıştılar ve büyük bulgular elde ettiler (Entwistle, 2000).

Mimarlık ve iç mimarlık alanında çeşitli değerleri içerisinde barındıran ışığın birçok farklı niteliği vardır. Işık birçok rengi içerisinde barındırmaktadır. İnci gibi beyaz, süt gibi bulanık ve mürekkep gibi siyah olabilir. Işık şiddetlidir; soluk, yumuşak, berrak, parlak olabilmektedir. Işık hareketlidir; atik, titreyen, dans eden ve dere gibi akan ışık vardır. Işık hüzün vericidir, esrarengizdir, samimidir, davet edicidir, heyecan vericidir ve rahatlatıcıdır (Fitöz, 2002).

2.1. Işığın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Asırlar boyunca çeşitli ihtiyaçların var olması ve hayatta kalma içgüdüsüyle insanlık gerek güvenlik gerekse besin ihtiyacını karşılayabilmek için yeni arayışlara girmiştir. İnsanlığın güneş dışında bir yapay ışığı keşfetmesi ilk kez ateşin bulunmasıyla ortaya çıkmıştır. Ateşin de bulunmasıyla, güneş dışında yapay bir ışıkla tanışılmıştır. Bu durum yeni bir dönemi başlatmıştır. Aynı zamanda yapay ışığın keşfi ile gece ve gündüz döngülerini değiştirebilecek yeni bir potansiyel ortaya çıkmıştır.

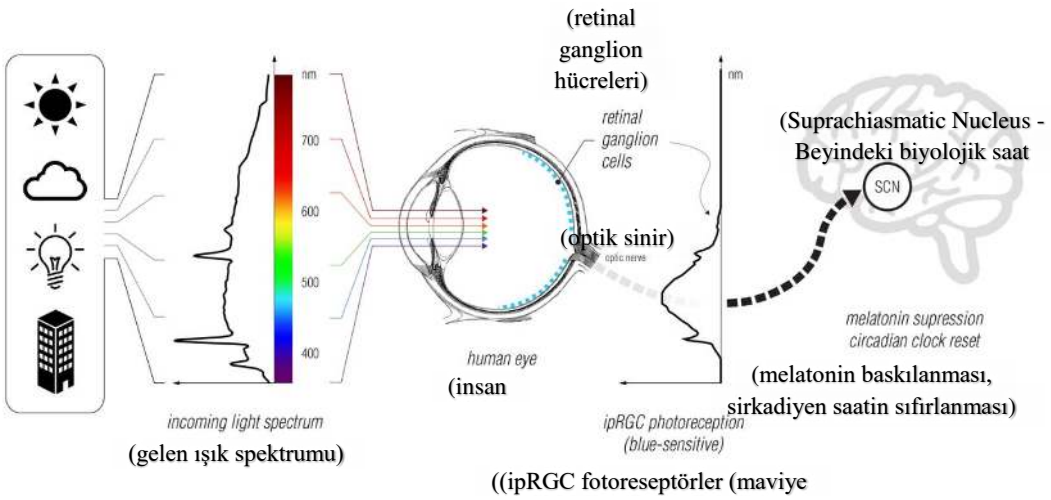
5000 yıl önce bazı kavimlerde kandil kullanımının yaygın olduğuna dair kanıtlar oldukça fazladır. 1700'lü yıllarda ise ilk kez sokaklar gaz lambalarıyla aydınlatılmaya başlanmıştır. Elektriğin icadı ile birlikte uygarlık bugün sahip olduğu 24 saatlik ışık döngüsüne ya da ışık maruziyetine sahip olmuştur. Elektriğin keşfinin hayatımızda insan sağlığını dramatik şekilde etkileyecek değişikliklere neden olduğunu söylemek mümkündür. Bugün erişilen bilimsel bilgi düzeyi ile yapay ışığa maruz kalmanın fizyolojik tepkileri değiştirdiği hatta bozduğuna dair güncel kanıtlar olduğunu bilmekteyiz. Bu bilimsel çalışmalarda özellikle uygunsuz zamanlarda yapay ışığa maruz kalmanın başta nöroendokrin sistemi etkileme potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Bu araştırmalarda temel olarak odaklanılan konu ise gün döngüsünün yapay ışıklarla bozulduğu gece vakitlerinde yapay ışığa maruz kalmanın özellikle

melatonini düşürdüğü ve kortizol seviyesini de yükselttiğine dair genel bir kabul vardır. Melatonin hormonu ile kortizol arasındaki ilişkinin sirkadiyen ritmi de etkilediğini bilmekteyiz (Memiş ve Ekren, 2019).

2.1.1. Işığın Sirkadiyen Ritim Üzerindeki Etkileri

Sirkadiyen ritimler, organizmaların aydınlık ve karanlık döngülerine biyolojik olarak uyum sağlamasına yardımcı olan, yaklaşık 24 saatlik bir süreye yayılan fizyolojik ve davranışsal süreçlerin düzenlenmesidir. Bu ritimler, vücudun biyolojik saatine dayalı olarak uyku, hormon salgılaması ve vücut sıcaklığı gibi önemli işlevleri koordine eder (Scheiermann vd., 2018; Matenchuk vd., 2020; Tian vd., 2022). Sirkadiyen kelimesinin anlamı Latince circa ve diem sözcüklerinin bir araya gelmesinden oluşarak, 'yaklaşık olarak bir gün' anlamına gelmektedir. Tüm yaşam formlarında çeşitli davranışsal, metabolik ve fizyolojik işlevlerin yönetilmesinde sirkadiyen ritmin önemi oldukça fazladır. Bu ritimler, dinlenme-uyanıklık zamanlamasından hücresel seviyedeki metabolik süreçlere kadar vücuttaki her organizasyon düzeyinde olan önemli fizyolojik aktiviteleri dış ortamdaki değişikliklerle senkronize eder (Sollars ve Pickard, 2015).

Şekil 13'te görüldüğü üzere son yıllarda yapılan araştırmalar, memeli sınıfındaki canlıların gözlerinde, görmeyi sağlayan çomak ve koni hücreleri dışında, ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri (ipRGC – intrinsically photosensitive retinal ganglion cells) olarak bilinen yeni bir fotoreseptör türünün keşfedildiğini ortaya koymuştur. Bu hücreler, görsel algıdan bağımsız olarak, özellikle sirkadiyen ritimleri düzenleyen ışık algısını kontrol etmede önemli bir rol oynamaktadır (Smolders, 2013). Bu hücreler, görme süreçlerine doğrudan katkıda bulunmamaktadır. Işık spektrumunda yaklaşık 460–480 nm arasındaki mavi ışık dalga boylarına verdikleri tepkiler nedeniyle sirkadiyen ritimle ilişkilendirilmiştir. Melanopsin proteini salgılayan bu fotoreseptör hücreler, sirkadiyen ritim, nörodavranışsal süreçleri ve nöroendokrin sistemleri etkilemektedir.

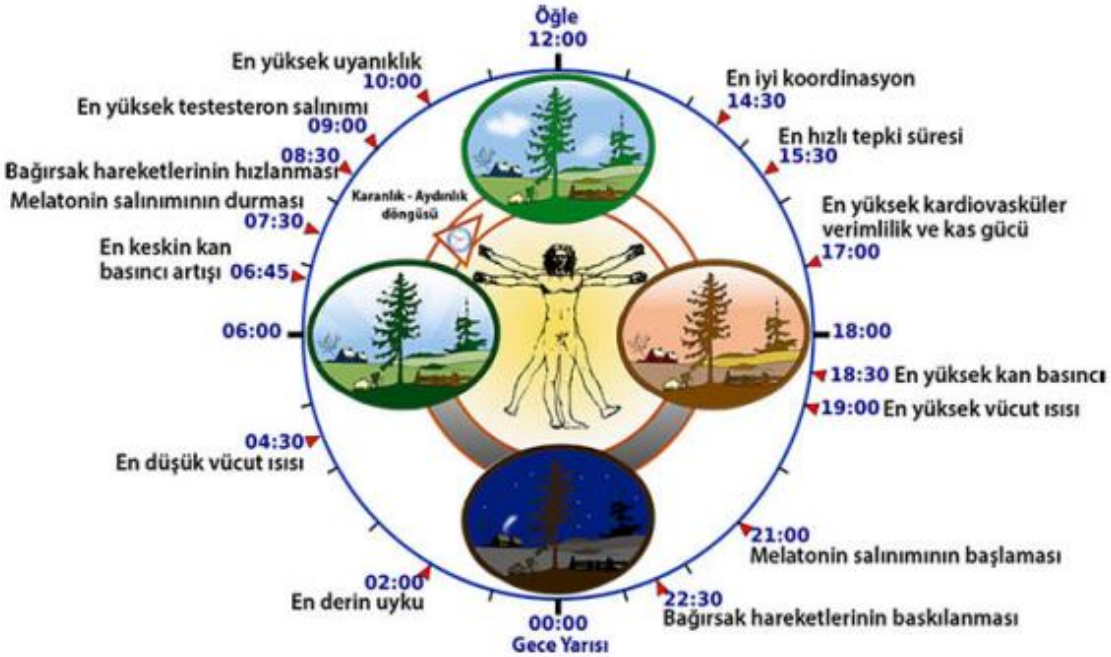


Şekil 13. ipRGC Hücrelerinin İşleyişi

Kaynak: Solemma (2010). *Yeni bir sirkadiyen aydınlatma tasarım yazılımı (Alfa),* 18.11.2024 tarihinde https://www.solemma.com/alfa adresinden edinilmiştir. / Yazar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.

Sabah saatlerindeki ışık miktarı, vücudun biyolojik saatine etki etmektedir. Bu uyarana maruz kalan vücut, serotonin, kortizol ve adrenalin gibi hormonlar salgılayarak yanıt verir. Hormon salgılamanın yanı sıra metabolizma hızı ve vücut sıcaklığında bir artış gözlemlenir. Öğle saatlerinden sonra metabolizma hızı zirveye ulaşır. Ardından akşam saatlerinde, güneşin batmasıyla birlikte biyolojik saat, epifiz bezini uyarır. Epifiz bezi bu uyarıya yanıt olarak serotonin hormonunu melatonine dönüştürür ve vücut sıcaklığını düşürür. Gece saatlerinde melatonin hormonu salgısı artar ve vücut sıcaklığı azalır (Şekil 14). Sabah saatlerinde melatonin salgısı durdurularak bu döngü, 24 saatlik bir süreyle tekrar başlar (Apaydın, 2012).

2017 Nobel Tıp Ödülü, insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi olan sirkadiyen ritmin kontrolünü sağlayan moleküler mekanizmalar üzerine yaptıkları çalışmalarla Michael Rosbash, Jeffrey C. Hall ve Michael W. Young'a verilmiştir. Bu bilim insanları, sirkadiyen ritmi düzenleyen geni keşfederek, bu genin gün boyunca azalan ve gece ise artan bir protein ürettiğini ortaya koymuşlardır. Bu buluş, biyolojik saatlerimizin nasıl işlediğine dair derin bir anlayış geliştirilmesine katkı sağlamakta ve uyku düzeni, metabolizma gibi pek çok biyolojik süreç üzerinde etkili olmaktadır. (Kavaklı, 2018).



Şekil 14. Sirkadiyen Ritim veya Biyolojik Saat Döngüsü

Kaynak: Wikipedia (2024, 10 Mayıs). *Biyolojik saat.* 22.11.2024 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyolojik_saat adresinden edinilmiştir.

2.1.2. Işığın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkisi

Işık, yaşamımızın temel unsurlarından biridir ve mental durumumuzu ve günlük yaşamsal faaliyetlerimizi etkileyen önemli bir faktördür. Günlük faaliyetlerimizi geçirdiğimiz mekânlardaki aydınlatma koşulları, insan psikolojisi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda ışığın yoğunluğu, yönü, rengi ve sıcaklığı bireylerin duygu durumlarını şekillendiren ve yönlendiren temel parametrelerdendir.

Yapay aydınlatmanın tasarımı ve kullanımı da psikoloji üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Sıcak renk tonlarına sahip aydınlatmalar (2700K-3000K) genellikle sakinleştirici ve rahatlatıcı bir atmosfer yaratırken, soğuk tonlar (5000K ve üzeri) uyarıcı ve daha canlı bir etki oluşturabilmektedir. Bunun yanı sıra, yüksek yoğunluklu ışık kaynakları mekândaki enerji ve faaliyet seviyesini artırabilirken, düşük yoğunluklu ve dağınık ışıklar kullanıcıya daha dingin bir ortam sunmaktadır (Şekil 15).

Şekil 15. Işık Renk Sıcaklığı (Kelvin)

Kaynak: Modesco (2021). *Aydınlatma'da ışık renk sıcaklığı*. 22.02.2025 tarihinde https://www.modesco.com.tr/ adresinden edinilmiştir.

Araştırmalar, ışığın yönünün de duygusal tepkileri etkileyebileceğini göstermektedir. Örneğin, yukarıdan gelen doğrudan bir ışık, güçlü ve otoriter bir algı yaratırken, yatay düzlemde yumuşak bir şekilde yayılan ışık daha davetkâr ve rahatlatıcı bir atmosfer oluşturabilir. Ayrıca, ışığın dinamik özellikleri, yani zaman içindeki değişimi de dikkat çeken bir başka faktördür. Doğal gün ışığına benzeyen dinamik aydınlatma sistemleri, biyolojik ritimlerin korunmasına yardımcı olabilir ve bu da bireylerin ruh sağlığını olumlu yönde etkiler (Figueiro, ve Rea, 2010).

Doğal ışık sirkadiyen ritmin de etkisiyle, insan biyolojisi üzerinde olumlu etkiler yaratarak serotonin ve melatonin gibi hormonların salgılanmasını düzenlemektedir. Serotonin hormonu ruh halini iyileştiren bir nörotransmiterdir. Melatonin hormonu ise uyku düzenini destekler. Araştırmalar özellikle güneş ışığı (D vitamini) eksikliğinin ruh sağlığı ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. (National Institute of Mental Health, 2023) Bu durum, ışığın ruh hali üzerindeki rolünün önemli olduğunu açıklar niteliktedir.

Işık, vücudumuzun biyolojik saatini düzenlemeye yardımcı olan en önemli unsurlardan biridir. Güneş ışığı, serotonin seviyelerini artırarak ruh halini iyileştirmektedir. Ancak kış aylarında gün ışığının azalması ile birlikte bu dengelerin bozulması söz konusu olabilmektedir. Bu durum insanlarda çeşitli ruhsal rahatsızlıklara yol açabilmektedir. Bunlardan biri mevsimsel afektif bozukluktur (SAD).

Mevsimsel Afektif Bozukluk (SAD), insanlar sonbahar veya kış aylarında üzgün hissettiğinde ortaya çıkan bir ruh hali bozukluğudur. İlk olarak 1980'lerin ortalarında Rosenthal ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. SAD'li kişilerin çok uyuduğunu, daha fazla yediğini ve kilo aldığını tespit etmişlerdir. Günümüzde SAD, Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı'nda (DSM) listelenmiştir (Rosenthal, 1984).

Bu rahatsızlığı olan bireyler genellikle, yeterli doğal ışık alamadıkları için duygu durumlarında düşüş, isteksizlik ve depresif belirtiler yaşayabilmektedirler. Bu bağlamda, bazı çalışmalar, gün ışığına maruz kalmanın ruhsal sağlık üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Bu araştırmaların doğrultusunda ışık ile ilişkilendirilen yeni terapi yöntemleri geliştirilmiştir. SAD'in tedavisinde yaygın bir yöntem olarak ışık terapisi kullanılmaktadır (Şekil 16). Bu yöntem, beyinde serotonin salgısının artmasını teşvik ederek ruh hali üzerinde olumlu değişiklikler yaratmaktadır (American Psychiatric Association, 2025; Mayo Clinic, 2021).

Şekil 16. Parlak Işık Terapisi (BLT)

Kaynak: Editverse (2018). *Işık terapisi ve ruh hali bozuklukları*. 09.12.2024 tarihinde https://editverse.com/tr/%C4%B1%C5%9F%C4%B1k-terapisi-ruh-hali-bozukluklar%C4%B1/ adresinden edinilmiştir.

Son yıllarda, Parlak Işık Terapisi (BLT) Mevsimsel Afektif Bozukluk (SAD) hastalığının tedavisinde oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar BLT'nin bazı ilaçlar kadar etkili sonuç verdiğini göstermektedir. Parlak Işık Terapisi (BLT) sadece SAD gibi ruh hali bozuklukları için değil aynı zamanda sirkadiyen ritim problemleri olan diğer psikiyatrik durumlar için de umut vadetmektedir.

2.1.3. Işığın Performans Üzerindeki Etkisi

Göz ile hipotalamus arasında yer alan ve görüntü oluşturmayan retina hücreleri, görünür ışığın dalga boylarına duyarlıdır. Hipotalamusa gelen ışık uyarıları, ruh halimizi dönemsel olarak değiştirerek sağlığımızı dolaylı yoldan etkileyebilir. Kapalı havalarda insanlar genellikle depresif bir ruh hali içine girebilirler. Ayrıca, kısa dalga boylu ışıkların uzun süreli etkisi, uyanıklığı artırarak uyku kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Günümüzde, akıllı telefonlar, tabletler ve bilgisayarlar gibi elektronik cihazların yaydığı mavi/yeşil ışık, melatonin hormonunun salgılanmasını engelleyerek uyku düzenimizi bozabilir. Düşük uyku kalitesinin, obezite, diyabet ve kalp rahatsızlıkları gibi sağlık problemleriyle bağlantılı olduğu da bilinmektedir (Cajochen vd., 2011).

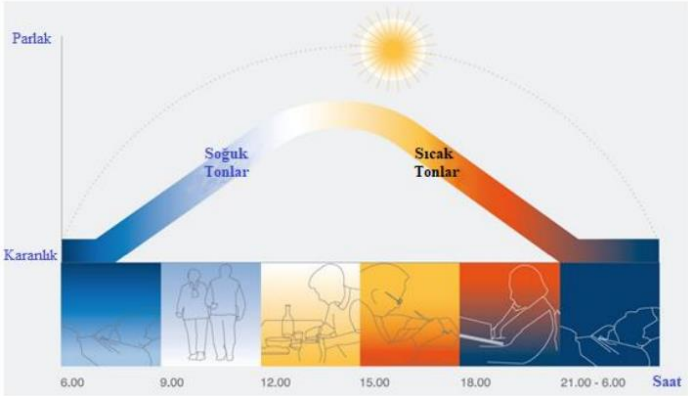
Günlük yapılan faaliyetlerin sirkadiyen ritim ile uyum içerisinde olmasına dikkat edilmelidir. Özellikle günümüzün büyük bir bölümünü geçirdiğimiz iş yeri ve ofislerde çalışma saatlerinin ve çalışma stillerinin sirkadiyen ritme göre düzenlenmesi sağlık açısından oldukça önemlidir (Hardeland, v.d., 2012). Gece vardiyasında çalışan insanlarda, uyku eksikliğinden kaynaklı sirkadiyen ritim bozulabilmektedir (Oxford Academic, 2020). 8-9 saat mesai saatleri süresince zamanlarını gün ışığından yoksun penceresiz alanlarda veya aydınlatmanın yetersiz olduğu ortamlarda geçiren çalışanların sirkadiyen ritimlerinde düzensizlikler meydana gelir. Vardiyalı çalışan bireylerde, sabah erken saatlerde ve gece geç saatlerde odaklanma ve dikkat zorlukları yaşanabilmektedir. Aşırı uyku hali nedeniyle, kaza riski ve benzeri istenmeyen durumlarla karşılaşma olasılığı artmaktadır. Bunun başlıca nedeni, biyolojik saatin gece uyku modunda olmasına rağmen kişinin gündüz ritmine uyum sağlamaya çalışmasıdır (Hardeland, vd., 2012). Vücudumuzun biyolojik saati, günün farklı saatlerinde enerji, hormon seviyeleri ve sistemlerin çalışma düzenini belirler. Gece yarısından sabaha kadar melatonin salgılanarak derin uyku ve hücre yenilenmesi sağlanır. Sabah saatlerinde kortizol artışıyla vücut uyanır, odaklanma ve zihinsel performans yükselir. Öğleden sonra sindirim yoğunlaşırken, fiziksel performans en üst seviyeye çıkar. Akşam saatlerinde ise vücut yavaşlar, melatonin üretimi artar ve uykuya hazırlık başlar. Düzenli uyku ve yaşam tarzı, bu döngünün sağlıklı işlemesine yardımcı olur (American Academy of Sleep Medicine, 2020).

Şekil 17. Güneşin Konumuna Bağlı Olarak Gün Boyunca Değişen Renk Sıcaklığını ve Parlaklığı Gösteren Fotoğraf Çalışması

Kaynak: Figueiro, M. G., Sahin, L., Wood, B., ve Plitnick, B. (2015). Light at night and measures of alertness and performance: Implications for shift workers. *Biological Research for Nursing, 18(1),*90–100.

Melatonin ve Uyku Düzeni: Karanlık ortam, melatonin salınımını artırarak uykuya teşvik eder ve sakinleştirici bir atmosfer yaratır. Çok fazla yapay ışığa maruz kalmak bu süreci bozabilir, uyku düzenini etkileyerek huzursuzluk ve stres seviyelerini artırabilir (Sleep Foundation, 2023).

Doğal Işık ve Mutluluk: Gün ışığına maruz kalmak, mutluluk hormonu olarak bilinen serotonin seviyesini arttırmaktadır. Serotonin, ruh sağlığını iyileştirir, enerji seviyesini yükseltir ve depresyon riskini azaltır. Sıcak tonlu ışıklar, rahatlatıcı ve samimi bir ortam yaratarak huzur hissini artırırken soğuk tonlu ışıklar, enerji ve uyanıklık hissini artırmaktadır (Şekil 18) (National Institute of Mental Health, 2023).



Şekil 18. Günün Farklı Saatlerinde Güneş Işığının Renk Sıcaklığı

Kaynak: Lighting and Health (t.y.). *What is biodynamic lighting*. 17.02.2024 tarihinde http://lightinghealth.dns-systems.net/biodynamic-lighting-2/what-is-it/ adresinden edinilmiştir.

Aydınlatma Yoğunluğu: Parlak ışıklar, genellikle enerji ve coşkuyu artırabilmektedir. Ancak uzun süre maruz kalındığında stres ve rahatsızlık yaratabilmektedir (PMC, 2022). Hafif loş ışıklar, rahatlama ve sakin bir ruh hali için daha uygun bir seçenektir.

Psikolojik Bağlam ve Mekân Algısı: Aydınlatma, mekân algısını etkiler ve bu da ruh hali üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir. Örneğin, iyi aydınlatılmış bir alan daha güvenli ve davetkâr hissedilirken, karanlık veya kötü aydınlatılmış bir ortam endişe veya huzursuzluk yaratabilir.

Beyin Aktivitesi ve Konsantrasyon: Doğru aydınlatma, zihinsel performansı artırabilmektedir. Özellikle doğal ışığa yakın aydınlatma, odaklanmayı destekleyerek zihinsel yorgunluğu azaltır ve ruh halini olumlu yönde etkiler (PMC, 2022).

2.2. İnsan Odaklı Aydınlatma Kavramı

İnsanların biyolojik saati ve sirkadiyen ritimleri, günlük yaşamlarını psikolojik ve fiziksel anlamda oldukça etkilemektedir. Gün ışığından verim alınamayan kapalı alanlarda sürekli yapay ışığa maruz kalmak, bu ritimlerin bozulmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, güneş ışığının doğal ve değişken yapısını yaşam ve çalışma alanlarına taşımayı, böylece biyolojik saatin ve sirkadiyen ritimlerin korunmasını hedefleyen "insan odaklı aydınlatma" fikri ortaya çıkmıştır (MDPI, 2023).

İnsan odaklı aydınlatma, doğal ve dinamik ışık kaynağımız olan güneşin kapalı alanlara uyarlanmış halidir. Güneş ışığından faydalanamadığımız ve günümüzün yaklaşık %90'ını geçirdiğimiz kapalı alanlarda uygulanan insan odaklı aydınlatma, ışığın insan üzerindeki biyolojik ve psikolojik etkilerini en verimli hale getirirken günlük çalışma ve yaşamsal döngümüzde görme ve algılama konforumuzun artmasına ruh halimizin iyileşmesine daha iyi odaklanmamıza ve performans göstermemize katkı sağlar. Görmemizi ve yaşamımıza devam etmemizi sağlayan doğal ışığın yönetilebilir, programlanabilir ve biyolojik dengemizi yani sirkadiyen ritmimizi destekleyen haline insan odaklı aydınlatma denir (WAC Lighting, 2023). Bu tipte aydınlatma, bazı iş kollarında sağlanamamaktadır. Bundan kaynaklı olarak da bu iş kollarında çalışan insanlarda ciddi sağlık problemleri olmaktadır. Örneğin; çift vardiyalı çalışılan

yerlerde gece periyodunda uyanık kalan iş grubuna sahip kişilerde kanser gibi ciddi rahatsızlıkların oranlarında artış olduğu gözlemlenmiştir (PMC, 2022).

Işığı doğru kullanmak, dış saat ile biyolojik saatimizi dengeleyerek mümkündür. Aslında otomasyon sistemlerinin yaptığı da tam olarak budur diyebiliriz. Otomasyonlar, doğayı iç mekân ortamında günün farklı saatlerinde taklit ederek kullanıcıya konforlu bir aydınlatma tasarımı sunmak için geliştirilmektedir. Kullanılan hacim içerisinde yapılan eyleme bağlı olarak aydınlatma düzeyini, kamaşma indeksini, renksel geriverimi, lambaların spektral duyarlılık eğrilerine bakarak bu parametreleri sağlamak ve senaryoları bu bağlamda yazmak oldukça önemlidir. Ayrıca bu değerlerin, güneşin konumuna göre değişimlerinin adaptasyonu da otomasyon sistemleri ile sağlanabilmektedir.

İnsan odaklı aydınlatma birçok disiplini bünyesinde barındıran, insanı merkeze alarak psikolojik ve fizyolojik sağlığını doğrudan ilgilendiren, günlük yaşamsal faaliyetleri gerçekleştirirken konforlu ve sağlıklı bir aydınlatma senaryosu geliştirilebilmesi için üzerinde dikkatle durulması gereken konuların başında gelmektedir. Doğal aydınlatmadan yararlanamadığımız noktalarda biyolojik ritmimizi bozmadan insan odaklı aydınlatma parametrelerine uyum sağlayarak ve güncel aydınlatma kontrol sistemlerinin de yardımıyla yapay aydınlatma senaryoları üretebilmekteyiz. Doğal ışık kalitesine yakın yapay ışık senaryoları elde ederek bu senaryolardan insan metabolizmasının gün ışığına verdiği reaksiyonların sağlanması hedeflenmektedir. İnsanı merkeze alan aydınlatma sistemleri, aydınlatmanın insanlar için biyolojik, görsel ve psikolojik faydalarını dengelemeyi amaçlamaktadır.

2.2.1. Ofis Ortamlarında İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

Ofis ortamlarında kullanılan insan odaklı aydınlatma sistemleri, yalnızca görsel performansı desteklemekle kalmaz, aynı zamanda çalışanların genel halini de iyileştirir. Bu tür aydınlatma sistemleri, iş saatleri boyunca uyanıklık, canlılık, enerji, performans, motivasyon ve konsantrasyonu artırmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, stres seviyelerinin azalmasına, iş tatmininin artmasına, göz yorgunluğunun azalmasına ve zihinsel olarak zorlayıcı işlerde odaklanma ve dikkat becerilerinin gelişmesine katkı sağlar (Smolders, 2013).

İnsan odaklı aydınlatma sisteminde, güneşin doğal hareketi ideal form olarak kabul edilmekte ve görsel konfor adına referans noktamızı oluşturmaktadır. Gün boyunca güneş ışığının renk sıcaklığı, ışık yoğunluğu ve yönü sürekli olarak değişim içerisindedir. Bu nedenle ışıktan psikolojik ve biyolojik anlamda verim alabilmemiz için aydınlatma tasarımının sirkadiyen ritmimize uygun şekilde planlanması büyük önem taşır.

İnsan odaklı aydınlatmanın ofis ortamlarındaki etkisini ölçebilmek için Amsterdam'da bulunan CBRE emlak şirketi bürosunda bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tasarlanan insan odaklı aydınlatma, verimliliği %18 oranında arttırmıştır. Bununla birlikte, çalışanların hata payı %12 azalmıştır. Bu ofisteki kişilerin %76'sı daha konforlu ve sağlıklı hissettiğini ifade etmişlerdir. Sabah saatlerinde ve öğle saatine doğru çalışanlar yüksek aydınlık seviyeleri ve dolaylı beyaz ışık ile performansları desteklenmektedir. Öğleden sonra ve akşam üzeri ise ortamdaki ışık seviyeleri düşerken renk sıcaklığı da yükselmektedir. Genel aydınlatma tasarımında, 4000K renk sıcaklığında direkt aydınlatma ve 6500K renk sıcaklığında yüksek beyaz tek renkli (monochrome) dolaylı aydınlatma armatürleri tercih edilmiştir. Ayrıca, yüksek dikey aydınlatma seviyeleri sağlamak amacıyla ışık kaynakları duvarlara paralel olarak konumlandırılmıştır. Açık ofis ortamında tavandan asılı armatürler, hoş bir dolaylı ışık etkisi yaratmak için kullanılmış ve bu sayede parlamanın önlenmesi hedeflenmiştir. Böylece toplamda ışık yoğunluğu neredeyse iki katına çıkmıştır (Ekinex, 2023).

Sağlıklı ofisler projesi isimli bu projede, aynı zamanda "Sağlıklı Ofisler" projesi ile aydınlatmanın, verimliliğe ve insan sağlığına etkisi incelenmiştir. Çalışanlar için sağlıklı beslenme ve egzersizlerle desteklenmiş bir program da hazırlanmıştır. Aynı zamanda aydınlatmanın iç ve dış mekân üzerindeki etkileri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Amsterdam'daki CBRE genel merkezinde 124 çalışan, yedi ay boyunca analiz edilen 100.000'den fazla veri kaydıyla takip edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda çalışanlar daha verimli, sağlıklı ve yüksek enerjili olmuşlardır ve işteki verimlilikleri de artmıştır (ULI Americas, 2020).

Gün ışığından faydalanabileceğimiz zaman aralığı ve ışığın doğal seyri, yaz ve kış ayları arasında değişiklik göstermektedir. Örnek olarak İstanbul'da yazın yaklaşık 15 saat gün ışığı alınabilirken kış aylarında ise bu süre 9 saate kadar düşmektedir

(Tübitak Ulusal Gözlemevi, t.y.). Çalışanların daha konsantre ve motive bir şekilde çalışabilmesi için, ofis aydınlatma sistemlerinde insan odaklı aydınlatma sistemleri tasarlanmaktadır. Sabah ve öğleden sonraya kadar insanların biyolojik ritmi, aydınlatma sisteminin yüksek bir aydınlık seviyesindeki soğuk renkli gün ışığı elde etmesiyle beraber desteklenir. Aynı şekilde, bu sistem akşam saatlerinde daha sıcak gün ışığı renkleri ve daha düşük aydınlık seviyeleri sağlayarak sirkadiyen ritme uyumlu bir ortam oluşturur. Bu sayede ofis ortamındaki yapay ışık, gün ışığına paralel olarak değişerek vücudun biyolojik saatini destekleyen ışık senaryoları yaratır.

Sonuç olarak, ofis çalışanları gün boyu daha dengeli bir şekilde hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan daha verimli çalışabilirler. Yaz aylarında insan odaklı aydınlatma ile yapay olarak sağlanan gün ışığının etkisi, gün ışığının doğal seyrine paralel olarak ilerlemektedir. Kış aylarında ise bu etki, iç mekânda ihtiyacımız olan ışıktan yararlanabileceğimiz süreyi artırır. Sonuçta bu durum gün içerisinde aktif ve verimli geçirilebilecek saatlerin uzamasına olanak sağlar.

Özetle, insan odaklı aydınlatma sistemleri, özellikle kış aylarında, günün verimli ve sağlıklı bir şekilde geçirilmesini sağlayarak doğal ışığın uzunluğunun etkisini taklit eder. Bu sistemler, insanların biyolojik ritmine uyumlu aydınlatma tasarımları sunarak, enerji seviyelerini artırır ve genel sağlık üzerinde olumlu etkiler yaratır.

İnsan odaklı aydınlatma sistemlerinde kullanıcılar, otomatik döngüler halinde gün ışığına paralel çalışacak şekilde ihtiyaç duydukları bireysel ışık tercihlerini istedikleri zaman uygulayabilirler veya ayarlayabilirler. Özellikle çok sayıda insanın bir arada çalıştığı açık ofis alanlarında otomatik döngülerin ayarlanması insan odaklı aydınlatma için oldukça önem arz etmektedir. Bu bağlamda günümüzde ofis ortamlarında aydınlatma tasarım ve senaryoları, otomasyon alt yapısının oluşturulmasıyla birlikte bir akıllı telefon veya tablet aracılığıyla kontrol edilebileceği gibi bazı alanlardaki aydınlatma senaryoları kablosuz cihazlarla da yönetilebilmektedir.

Buna ek olarak otomasyonun veya yapay sistemlerin kurulum göstermediği ofislerde bu doğal ve yapay aydınlatma kontrol sistemi kullanıcılar yardımıyla da yapılabilmektedir. Günün belli saatlerinde yapay aydınlatmanın veya gölgeleme

elemanları gibi unsurların iç mekândaki kontrolüyle verim sağlanabileceği de unutulmamalıdır. Bu verim hem insan odaklı aydınlatma tasarımı özelinde insanlar için sağlanırken hem de mekân özelinde enerji tasarrufu sağlamaya yönelik adımları içermektedir.

2.2.2. Örnek İnsan Odaklı Aydınlatma Sistemleri

İnsan odaklı aydınlatma sistemleri, bireylerin biyolojik, psikolojik ve fiziksel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak tasarlanan modern aydınlatma çözümleridir. Bu sistemler, kullanıcıların günlük yaşam ritimlerine uyum sağlayarak görsel konforu artırmayı, iş verimliliğini desteklemeyi ve genel yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedefler. Doğru ışık seviyeleri ve renk sıcaklıklarının günün farklı saatlerine göre ayarlanması, insan odaklı aydınlatmanın temel prensiplerinden biridir. Bu, çalışanların biyolojik saatleriyle uyumlu bir ortam yaratır ve sirkadiyen ritmi destekler. Bu bağlamda, dimmerleme, gölgeleme ve manuel kontrol gibi teknolojiler, hem bireysel kontrol imkânı sunarak kullanıcıların tercihlerini önceliklendirir hem de enerji verimliliği sağlayarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Aşağıda, insan odaklı aydınlatma sistemlerinin temel bileşenleri ve işlevleri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

- **Gölgeleme Sistemleri**

Gölgeleme elemanları, yapay aydınlatma sistemleriyle entegre çalışarak hem enerji tasarrufuna hem de görsel konfora katkıda bulunur. Perdeler, jaluziler veya panjurlar gibi gölgeleme elemanları, mekâna giren doğal ışık miktarını kontrol etme imkânı sunar. Gün ışığının yoğun olduğu saatlerde gölgeleme elemanları kullanılarak aşırı parlaklık ve ısı birikimi önlenebilir, böylece yapay aydınlatma ihtiyacı optimize edilir. Ayrıca, bu elemanlar, çalışanların bilgisayar ekranlarında oluşabilecek yansımaları ve parlamaları azaltarak ergonomik bir çalışma ortamı sağlar. Gölgeleme elemanlarının manuel veya otomatik kontrol edilmesi, gün ışığı ile yapay aydınlatmanın dengeli bir şekilde kullanılmasını mümkün kılar ve enerji tüketimini minimuma indirir. Bu durum hem kullanıcı konforunu artırır hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

- **Dimmerleme Sistemleri**

Dimmerleme sistemleri, ışık yoğunluğunun ayarlanmasını sağlayan bir aydınlatma kontrol mekanizmasıdır. Bu sistem, ışık kaynaklarının parlaklığını artırma veya azaltma, yani "kısma" işlemini mümkün kılarak hem görsel konfor hem de enerji verimliliği açısından önemli avantajlar sunar. Dimmerleme, yalnızca ışık seviyelerini optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda aydınlatma sistemlerinin kullanım ömrünü uzatır ve enerji tüketimini azaltır. Gün ışığı otomasyonu, yapay aydınlatmanın doğal ışık miktarına göre otomatik olarak ayarlanmasını sağlar. Bu, ortamın aydınlık düzeyinin sabit tutulmasına yardımcı olurken gereksiz enerji tüketimini önler. Dimmerleme sistemleri, kullanıcıların biyolojik saatleriyle uyumlu bir aydınlatma ortamı oluşturulmasında da kritik bir rol oynar. Sabah saatlerinde yüksek aydınlık seviyeleri ve soğuk renk sıcaklıkları ile uyanıklık artırılabilirken, akşam saatlerinde daha düşük aydınlık seviyeleri ve sıcak renk sıcaklıkları ile rahatlama sağlanabilir. Bu özellik, sirkadiyen ritmin desteklenmesine katkıda bulunur ve kullanıcıların genel yaşam kalitesini iyileştirir. Enerji tasarrufu sağlaması, çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi ve kullanıcıların görsel konforunu artırması, bu sistemlerin yaygın olarak tercih edilmesinin başlıca nedenlerindendir.

- **Gün Işığına Bağlı Manuel Otomasyon Kontrolü**

Dimmerleme otomasyonunun bulunmadığı ofislerde, manuel kontrol mekanizmaları önemli bir alternatif olarak öne çıkar. Manuel dimmerleme sistemi, kullanıcıların aydınlatma seviyelerini kendi ihtiyaçlarına ve tercihlerine göre ayarlamalarına olanak tanır. Bu sistem, bireysel kontrol imkânı sunarak hem görsel konforun artırılmasını hem de enerji tasarrufunun sağlanmasını mümkün kılar.

Örneğin, çalışanlar gün ışığı miktarına bağlı olarak yapay aydınlatmayı manuel olarak azaltabilir veya artırabilir. Bu hem enerji tüketimini optimize eder hem de çalışanların görsel ihtiyaçlarını karşılar. Ayrıca, manuel olarak kontrol edilen gölgeleme elemanları (örneğin perdeler, jaluziler veya panjurlar), mekâna giren gün ışığı miktarını dengelemeye yardımcı olur. Bu sayede, yapay aydınlatma ihtiyacı minimize edilir ve enerji tasarrufu sağlanır.

Manuel kontrol mekanizmalarının avantajları şunlardır:

- Düşük Maliyet: Otomasyon altyapısının kurulumunun maliyetli veya uygulanmasının zor olduğu ortamlarda, manuel dimmerleme sistemleri pratik ve düşük maliyetli bir çözüm sunar.
- Bireysel Kontrol: Çalışanların aydınlatma üzerinde bireysel kontrol sahibi olması, kişisel tercihlere göre daha verimli bir çalışma ortamı yaratılmasını sağlar.
- Enerji Yönetimi: Gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilerek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunulur.

Manuel dimmerleme sistemleri, otomasyon sistemlerinin olmadığı durumlarda dahi, enerji yönetimi ve kullanıcı konforu açısından etkili bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Bu sistemler, bireylerin ihtiyaçlarına özel olarak uyarlanabilir bir aydınlatma ortamı oluştururken, enerji tüketimini optimize ederek işletme maliyetlerini düşürür.

- **Anahtarlama Sistemi**

Anahtarlama sistemi ise, daha basit bir kontrol mekanizması sunarak belirli aydınlatma senaryolarının hızlı bir şekilde devreye alınmasını sağlar. Bu sistem, genellikle belirli alanlarda sabit aydınlatma seviyeleri oluşturmak için kullanılır ve düşük maliyetli bir çözüm sunar. Ancak dimmerleme sistemlerine kıyasla daha sınırlı bir esneklik sağlar. Örneğin, bir açık ofis alanında farklı çalışma bölgeleri için farklı aydınlatma ihtiyaçları bulunabilir; anahtarlama sistemi bu ihtiyaçlara tam anlamıyla yanıt veremeyebilir. Bununla birlikte, doğru bir şekilde zonlama yapılarak, yani ofis alanının farklı bölümlerinin ayrı ayrı kontrol edilebilir şekilde tasarlanmasıyla, anahtarlama sistemleri de etkin bir çözüm sunabilir. Örneğin, toplantı odaları, bireysel çalışma alanları ve dinlenme bölümleri için farklı aydınlatma seçenekleri oluşturulabilir. Bu yaklaşım, hem çalışanların farklı ihtiyaçlarına cevap verir hem de enerji tüketimini optimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur. Anahtarlama sisteminin manuel kontrol ile birleştirilmesi, kullanıcıların kendi tercihlerine göre ışık seviyelerini ayarlamalarına olanak tanırken, otomasyon

sistemleriyle entegre edildiğinde daha gelişmiş bir kontrol mekanizması sunabilir. Bu sayede, gün ışığından maksimum düzeyde faydalanılırken, yapay aydınlatma yalnızca gerektiği durumlarda devreye girer ve enerji tasarrufu sağlanır. Sonuç olarak, insan odaklı aydınlatma tasarımlarında dimmerleme ve kullanıcı kontrolü hem bireysel ihtiyaçlara hem de enerji verimliliğine yönelik çözümler sunar. Bu sistemlerin, çalışanların motivasyonunu ve konsantrasyonunu artırırken, aynı zamanda sürdürülebilir bir çalışma ortamı yaratmak için kritik bir araç olduğu söylenebilir.

2.3. Çevresel Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik basit bir ilkeye dayanır: Hayatta kalmamız ve refahımız için ihtiyaç duyduğumuz her şey, doğrudan veya dolaylı olarak doğal çevremize bağlıdır. Sürdürülebilirliği sürdürmek, insanların ve doğanın üretken bir uyum içinde var olabileceği ve şimdiki ve gelecek nesilleri destekleyebileceği koşulları yaratmak ve sürdürmektir (https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability).

Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunarak gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için bugünün ihtiyaçlarını sorumlu bir şekilde yönetmeyi ifade eder. Bu kavram, ekosistemlerin dengesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve doğal kaynakların tükenmesini önlemek gibi hedefleri içerir. Brundtland Raporu'nda tanımlandığı üzere, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ile çevrenin korunmasını bir arada ele almayı amaçlar. Günümüzde iklim değişikliği, doğal kaynakların aşırı tüketimi ve çevre kirliliği gibi sorunlar, sürdürülebilirlik için küresel iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDGs), çevresel sürdürülebilirliği desteklemek için küresel bir yol haritası sunarken, bireyler ve kurumlar da enerji tasarrufu, geri dönüşüm ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi uygulamalarla bu hedeflere katkıda bulunabilir. Çevresel sürdürülebilirlik, yalnızca çevreyi korumak değil, aynı zamanda insan yaşam kalitesini artırmak ve gelecek nesillerin refahını güvence altına almak için bir zorunluluktur (IPCC, 2021).

Çevresel sürdürülebilirlik, yalnızca doğal kaynakların korunmasını değil, aynı zamanda insan yaşam alanlarının bu prensiplere uygun şekilde tasarlanmasını da gerektirir. Özellikle binalar, çevresel etkilerin azaltılmasında kritik bir rol oynar.

Sürdürülebilir yapı uygulamaları hem bireysel hem de toplumsal ölçekte çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı destekleyen somut adımlardır. Bu bağlamda, enerji verimli ve çevre dostu binaların inşası, sürdürülebilirlik ilkelerinin pratikte nasıl uygulanabileceğinin güçlü bir örneğini sunar.

Binalarda çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimli binalar yapılması, yenilenebilir enerji kullanımı, iç mekân çevre kalitesinin optimizasyonu, sürdürülebilir yapı malzemelerinin kullanımı, bina inşaatı ve işletme süreçlerinde atık yönetimi, binalarda su verimliliği, arazi ve malzeme seçimlerinde biyoçeşitliliğin korunması parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler hem doğal kaynakların korunmasını hem de karbon ayak izinin azaltılmasını sağlamayı hedefler. Sürdürülebilir bina tasarımları, yalnızca çevreye duyarlı olmakla kalmaz, aynı zamanda uzun vadede ekonomik faydalar da sunar. Bu nedenle, çevresel sürdürülebilirlik ilkelerinin bina tasarımı ve inşaat süreçlerine entegre edilmesi, daha yaşanabilir ve sağlıklı kentlerin oluşumuna katkıda bulunur.

3. OFİS ALANLARININ AYDINLATILMASINDA GENEL İLKELER

Doğru bir ofis aydınlatması, yalnızca çalışanın fizyolojik ve psikolojik sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda ofisin prestiji ve imajı üzerinde de büyük bir etkiye sahiptir. Ofislerde, çalışma ortamı ve konfor gereksinimlerine uygun olmayan aydınlatma sistemleri, bilgisayar ekranlarında yansımalara, noktasal ışık kaynaklarının ve görme alanı içinde farklı parıltı seviyelerinin oluşmasına yol açabilir. Bu tür sorunlar, çalışanların görsel konforunu bozar ve verimliliği olumsuz etkileyebilir. Ancak, mekânın işlevine ve tekniğine uygun bir aydınlatma tasarımıyla, alanın konfor gereksinimlerine uygun şekilde algılanmasını sağlamak ve rahat bir çalışma ortamı oluşturmak mümkündür. İyi bir aydınlatma tasarımı, çalışanların göz sağlığını korurken, aynı zamanda verimli ve estetik bir iş ortamı sunar.

İşyerlerinde bulunan aydınlatma sistemleri, o işyerinin üretim ve hizmet faaliyetlerini doğrudan etkileyen bir parçası haline gelmiştir. Fiziksel çevrenin doğru şekilde düzenlenmesi, üretilen ürünlerin ve sunulan hizmetlerin kalitesi ile verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu çevrenin tasarlanmasında aydınlatma, ışık kontrolü, iş kazalarını önleyecek tedbirler ve işyeri verimliliğini artıracak prensiplerin uygulanması oldukça önemlidir. İyi tasarlanmış bir aydınlatma sistemi, sadece çalışma ortamını daha verimli hale getirmekle kalmaz, aynı zamanda iş kazalarını da engelleyebilir. Aydınlatma ile ilgili olası kazalar ve verimlilik ilişkisi, risk yönetimini gerektirir. Bu yaklaşım, tasarımda amaçların ve prensiplerin ihmal edilmeden, yaratıcı, estetik, çevre dostu, güvenli ve sağlıklı bir ortamın sağlanmasına odaklanmayı gerektirir. Bu şekilde, çalışma koşulları hem güvenliği hem de verimliliği artırır. (Horng vd., 2013).

3.1. Ofis Tanımı ve Tarihsel Süreç

Büro ve ofis kelimeleri, Türk Dil Kurumu sözlüğüne göre, birinci anlam olarak; “çalışma odası, yazıhane”, ikinci anlam olarak; “danışma ve yazı işlerinin yürütüldüğü iş yeri”, üçüncü anlam olarak; “bölüm, şube”, anlamına gelmektedir. “Ofis” kelimesinin anlamı, Fransızca kökenli “Office” kelimesinden gelmektedir ve “işyeri, daire, büro” anlamını taşımaktadır (Dalga, 2007).

Ofisler, zaman içinde değişen iş yaşamı ve teknolojik gelişmelerle birlikte büyük dönüşümler geçirmiştir. Geçmişte, evlerdeki bir odada yapılan işlerin

yürütüldüğü yerler olan ofisler, iş hacminin artması ve teknolojinin ilerlemesiyle başlı başına bir mekân türüne dönüşmüştür. Bu evrim, ofislerin işlevsel, estetik ve ergonomik açıdan daha verimli hale gelmesine olanak sağlamıştır. Sanayi Devrimi'nden önce ofisler, resmi işlerin görüldüğü, yönetici sınıflara ayrılmış bireysel odalardan oluşan sınırlı mekânlar olmuşlardır. Bu dönemde hiyerarşik düzen birçok alanda etkiliydi. Ofisler genellikle zengin tüccarların veya devlet yöneticilerinin bireysel odalarından oluşuyordu. Çalışanlar genellikle küçük ve izole odalarda çalışıyordu. Bu dönemde iş organizasyonu daha bireyseldi (Saval, 2014).

18. yüzyıldan itibaren sanayi devrimi, iş dünyasında büyük bir dönüşüm yaratmıştır. Fabrikaların ve iş faaliyetlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte şirketler, iş süreçlerini daha düzenli hale getirmek için ofis alanlarına ihtiyaç duymuşlardır. Bu dönemde, çalışanların bir arada çalıştığı geniş açık alanlar (open plan) ortaya çıkmaya başlamıştır. Büyük ofislerde, çalışanlar bir arada, uzun masalarda oturuyordu. Yönetici sınıf ise genelde kendilerine tahsis edilen ayrı odalarda çalışıyorlardı (Haigh, 2012).

20. yüzyılda, özellikle 1920'ler ve 1930'larda, daha verimli bir iş akışı sağlamak için ofis tasarımları yeniden düşünülmüştür. Bu dönemdeki en önemli gelişmelerden biri, “Taylorist” yönetim anlayışının etkisiyle açık ofis düzeninin yaygınlaşmasıydı. Çalışanların verimliliğini artırmak amacıyla, masalar yan yana konumlandırılarak bireysel mahremiyet azaltılmıştır. Bu dönemde de yönetim, katı hiyerarşik bir yapıya sahipti. Yöneticiler kendi özel odalarında çalışıyorlardı (Waring, 1991).

1940'lardan sonra ise ofisler, çalışanların fiziksel konforuna daha fazla önem veren bir anlayışı benimsemiştir. Bu dönemde modern mobilyalar, elektrikli daktiloların kullanımı, telefonlar, fotokopi makineleri ve klima sistemleri yaygınlaştırılmıştır. Almanya'da doğan Bürolandschaft akımı, açık ofis konseptine daha organik bir yaklaşım getirdi. Çalışanların masaları, ekip çalışmasını kolaylaştırmak için kümeler halinde yerleştirildi. Ancak mahremiyet hala sınırlıydı (Saval, 2014).

1980'ler ve 1990'larda teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilgisayarlar ve internetin iş hayatına girişi, ofislerin işlevselliğini tamamen değiştirmiştir. Masaüstü bilgisayarlar, yazıcılar ve faks makineleri yaygınlaşırken bilginin dijitalleşmesi, çalışanların bireysel olarak daha üretken hale gelmesini sağlamıştır. Ayrıca bu dönemde ofislerin fiziksel sınırlarında bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Açık ofis

düzenleri gelişirken, çalışanların kişisel alan ihtiyaçları yeniden tartışılmaya başlanmıştır. 1960'larda Herman Miller şirketi tarafından tasarlanan "Action Office" konseptiyle, çalışanların daha fazla mahremiyet sağladığı kübik düzenler yaygınlaştırılmıştır. Kübik sistem, çalışanlara kişisel bir alan sunarken açık ofisin verimliliğini devam ettirmeyi amaçlıyordu. 1980'lerde bu sistem büyük ofislerde standart hale gelmiştir (Haigh, 2012).

21. yüzyıl başlarında teknolojinin hızlı ilerlemesiyle birlikte ofis tasarımlarında esneklik ve çalışan odaklı yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Dizüstü bilgisayarlar, kablosuz internet, video konferans sistemleri gibi teknolojiler sayesinde, çalışanlar sabit düzende çalışmak yerine farklı alanlarda çalışmaya başlamıştır. Hiyerarşik düzen eski dönemlerdeki önemini kaybetmiştir. Artık ulusal ve uluslararası üst düzey firmalarda yöneticiler, ekip liderleri ve müdürler çalışanlarla bir arada çalışmaktadırlar. Bu açık ofis düzenleri yalnızca fiziksel alanların paylaşımını değil, aynı zamanda iş birliği, şeffaflık ve eşitlik gibi modern iş kültürünün temel değerlerini yansıtmaktadır. Yöneticilerin çalışanlarla aynı ortamda çalışması hem çalışanlar arasındaki iletişimi güçlendirmekte hem de hiyerarşik engelleri azaltarak daha demokratik bir iş atmosferi yaratmaya yardımcı olmaktadır. Bu yaklaşım, çalışanların süreçlere dahil olurken kendilerini daha değerli hissetmelerine olanak tanır ve hızlı karar alma süreçlerini destekler (Haigh, 2012).

Açık ofis düzenlerinde tasarımların gün ışığından maksimum düzeyde faydalanmayı hedeflemesi, çalışanların hem fiziksel hem de ruhsal sağlığına olumlu katkılar sağlamaktadır. Doğal ışık, çalışanların sirkadiyen ritmini destekleyerek üretkenliği artırırken, enerji maliyetlerini de düşürmektedir. Bu durum, çevresel sürdürülebilirliği ön planda tutan firmaların tercih ettiği bir uygulamadır. Böylece açık ofis düzeni, iş birliği ve verimliliği artırırken, aynı zamanda modern iş dünyasının çevre dostu ve insan odaklı tasarım anlayışını da somut bir şekilde ortaya koyar. Geçmişten günümüze bu tarihsel süreç, yalnızca çalışma alanlarının değil, aynı zamanda çalışma kültürünün de evrildiğini göstermektedir.

3.1.1. Ofis Alanlarında Görsel Konfor Gereksinimleri

Ofislerde görsel konfor sağlamak için aydınlatma en önemli unsurlardan biridir. İyi bir aydınlatma, görsel konfor için oldukça önemlidir. Doğal ışığın mümkün

olduğunca fazla kullanılması, biyolojik saati dengeleyerek çalışanların daha verimli hissetmelerini ve odaklanmalarını sağlar. Bu nedenle, ofislerde mümkünse pencere sayısının artırılması ve ışığın odalara doğru nüfuz etmesine olanak tanıyacak tasarımlar tercih edilmelidir. Ofislerde çalışma alanları cam kenarlarına doğru konumlandırılırsa gün ışığından maksimum derecede faydalanma sağlanabilir.

Günümüzde ofislerde yaygın olarak tercih edilen LED lambalar, uzun ömürlü olup, standartlara uygun aydınlık düzeylerini daha düşük enerji harcayarak sağlayabildikleri için enerji verimliliği sağlar ve farklı renklerde kullanılabilme özellikleri ile de gözleri yormadan uzun süreli verimli çalışma imkânı sunar. LED ışıklar, ışığın her noktada eşit şekilde dağılmasını sağlayarak parlamayı engeller. Aydınlatma seviyeleri, her alanın ihtiyacına göre ayarlanmalıdır. Çalışma masalarında, sirkülasyon alanlarında ve toplantı odalarında farklı ışık düzeyleri gerekmektedir (TS EN 12464; ASHRAE 90.1; BREEAM; CIBSE).

Ofis alanlarında iyi bir aydınlatma uygulaması için, gerekli aydınlatmaların yanı sıra ek nitel ve nicel ihtiyaçların karşılanması esastır.

Aydınlatma gereksinimleri üç temel insan ihtiyacının karşılanmasıyla belirlenir:

- Görsel konfor,
- Görsel performans,
- Güvenlik,

Yapay ışık ve gün ışığı açısından aydınlık ortamı belirleyen ana parametreler şunlardır:

- Işıklılık (luminance) dağılımı,
- Aydınlık düzeyi,
- Kamaşma,
- Kapalı mekânda ışığın doğrultusu,
- Işığın renksel görünümü ve renksel geriverim indisi
- Işığın titremesi,

• Işığın değişkenliği (aydınlık düzeyi ve ışık rengi) olarak sıralanmıştır (TS EN 12464-1, 2021).

Bu kriterler 1.1. Görsel Konfor ve 1.4. Yapay Aydınlatma bölümleri altında detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Ofislerde görsel konforu sağlamak kadar aydınlatma sistemlerinin enerji verimliliği de oldukça önemlidir. Çalışanlar için konforlu bir çalışma ortamı yaratılırken, ofisin enerji tüketimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Akıllı aydınlatma sistemleri, ışığın yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmasını sağlayarak enerji israfını engeller. Ayrıca, hareket sensörlü lambalar ve ayarlanabilir ışık seviyeleri, farklı iş aktivitelerine göre aydınlatmanın otomatik olarak ayarlanmasına olanak tanır. Bu şekilde, ofislerdeki aydınlatma yalnızca işlevsel olmakla kalmaz, aynı zamanda insan odaklı hale gelir. Hem doğal ışığın hem de doğru şekilde yerleştirilen yapay ışıkların kullanımı, çalışanların daha verimli, sağlıklı ve motive bir şekilde çalışmalarını destekler.

3.2. Açık Ofis Tanımı

Açık ofislerin tercih edilmesinin başlıca sebepleri arasında işverenlerin, iş ortamındaki şeffaflığı artırma isteği ve departmanlar arasındaki iletişimi geliştirmeyi hedeflemeleri yer almaktadır. Teknolojik gelişmelerin ve doğru tasarım ile ekipmanların kullanılması durumunda açık ofis sistemleri, günümüzde verimli bir çalışma ortamı olarak kabul edilmektedir (Alsop, 2015).

Frank Lloyd Wright'ın 1939 yılında tasarladığı The Johnson Wax şirketinin yönetim binası, açık plan ofis konseptinin ilk örneklerinden biri olarak kabul edilir. Bu tasarım, çalışanların etkileşimlerini artırmayı ve ekip çalışmasını desteklemeyi hedefleyen alanlar sunarken, aynı zamanda özelleştirilmiş bölümlerle bireysel çalışmaya da olanak tanımıştır. Johnson Wax binası, 20. yüzyılın en önemli mimari eserlerinden biri olarak kabul edilir ve modern ofis tasarımına ilham veren önemli bir yapı örneği olmuştur (https://www.dezeen.com/2017/06/14/frank-lloyd-wright-johnson-wax-administration-building-headquarters-racine-wisconsin-open-plan-office/).

Şekil 19. 1939'da Frank Lloyd Wright Tarafından Tasarlanan The Johnson Wax Şirketinin Açık Plan Ofisi

Kaynak: Carol M. Highsmith Arşivi (2011). *Kongre Kütüphanesi, Baskılar ve Fotoğraflar Bölümü'ndeki fotoğraflar.* 02.08.2024 tarihinde lccn.loc.gov/2011633764 adresinden edinilmiştir.

1960'lı yılların başlarında modern ofis tasarım ilkeleri arasında sıkça vurgulanan Burolandschaft tarzı ofis yerleşimi dikkat çeken bir çalışma konsepti haline gelmiştir. Bürolandschaft, Almanya kökenli bir kavram olup, 1950'li yıllarda daha esnek ve çalışan odaklı ofis düzenlemelerini tanımlayan bir terimdir. Bu kavram, Taylorizm'in katı üretim ve verimlilik odaklı yaklaşımından farklı olarak, iş gücünün psikolojik ve sosyal ihtiyaçlarına daha fazla önem verir. Bürolandschaft, açık ofis alanlarının düzenlenmesiyle, çalışanlar arasında iletişimi, iş birliğini ve yaratıcılığı teşvik etmeyi amaçlar. Bu tasarım anlayışı, başlangıçta Almanya ve Kuzey Avrupa'da büyük ilgi görmüş ve zamanla dünya çapında yayılmaya başlamıştır. Bürolandschaft, çalışma ortamlarını daha esnek, konforlu ve insan odaklı hale getirmeyi hedeflemiştir. Bu model, The Johnson Wax şirketinin ofis tasarımının ardından tüm dünyaya yayılmış ve özellikle iş yerlerinde esneklik ve iş birliği anlayışını ön plana çıkarmıştır. Günümüzde, katı hiyerarşik düzenlerden kaçınan bu ilerici model, çalışanları farklı yönetim seviyelerinde birlikte oturup çalışmaya teşvik ederek iletişimi artırmış ve daha açık, dinamik çalışma ortamları yaratmıştır. Bu yaklaşım, iş yerindeki hiyerarşileri yumuşatarak daha eşitlikçi ve verimli bir çalışma ortamı sunmayı amaçlamaktadır (Noraslı; Köse Doğan, 2020).

3.2.1. Açık Ofis Alanlarının Aydınlatılmasında Genel İlkeler

Açık ofis alanlarının görsel konfor gereksinimlerinin sağlanmasında en önemli faktörlerden biri aydınlatma tasarımıdır. İyi ve kaliteli bir aydınlatma verimli çalışma ortamını destekler, çalışanlara konforlu bir alan sunar. Işık doğru alanlarda, doğru şekilde kullanılmadığında uzun vadede önemli zararlara yol açabilmektedir.

Güneş ışığı, güneş ve gökyüzünün yaydıkları ışığın değişik oranlarda harmanlanmasından oluşmaktadır. Özelliği gereği gün ışığı, kontrol edilemeyen ve sürekli olarak değişim gösteren bir kaynaktır. Yapay ışık, gün ışığının olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda yararlanılan ışık kaynağıdır (Boduroğlu, 2001). Aydınlatmanın temel görevi, çevremizi anlamlandırma ve çeşitli konfor parametrelerinin sağlanmasıdır. Yapay ışık sistemleri denetlenebildiği ve kontrol edilebildiği için bu sistemlerle görsel algılama en konforlu ve en optimum şekilde sağlanabilmektedir. Aydınlatmanın parametrelerinin ortamın koşullarıyla uyumlu olması, bu algılama sürecinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşebilmesini sağlar.

Bunların yanında, 3.1.2. Ofis Alanlarında Görsel Konfor Gereksinimi bölümünde TS EN 12464-1:2021 standardında verilmiş olan kriterler açık ofislerde de görsel performans kriterlerinin sağlanabilmesi için geçerlidir.

Sağlığımızı destekleyen ve etkili bir şekilde tasarlanmış ofis aydınlatması, sadece çalışanların verimliliği, motivasyonu ve göz sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda ofisin prestiji ve imajı üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Görsel performans kriterlerine uygun tasarlanmış bir aydınlatma, özellikle işlerin kalite standartlarına uygun şekilde yapılabilmesi için gerekli tüm parametrelerin sağlanmasını mümkün kılar. Çalışma ortamının ihtiyaçlarına uygun olmayan aydınlatma sistemleri ise bir dizi probleme yol açabilir (Akan ve Arslan Selçuk, 2005).

Ofis aydınlatması, çalışan sağlığı, performansı ve iş verimliliği üzerinde doğrudan etkili bir faktördür. Uygun şekilde tasarlanmamış aydınlatma, göz yorgunluğu, baş ağrısı ve konsantrasyon eksikliği gibi sorunlara yol açarak iş motivasyonunu düşürür. Buna karşılık, görsel performans kriterlerine uygun aydınlatma, çalışanların işlerini daha rahat ve kaliteli şekilde yapmalarını sağlar. Ayrıca, iyi bir aydınlatma, ofisin profesyonel imajını destekleyerek işletme başarısına da katkıda bulunur.

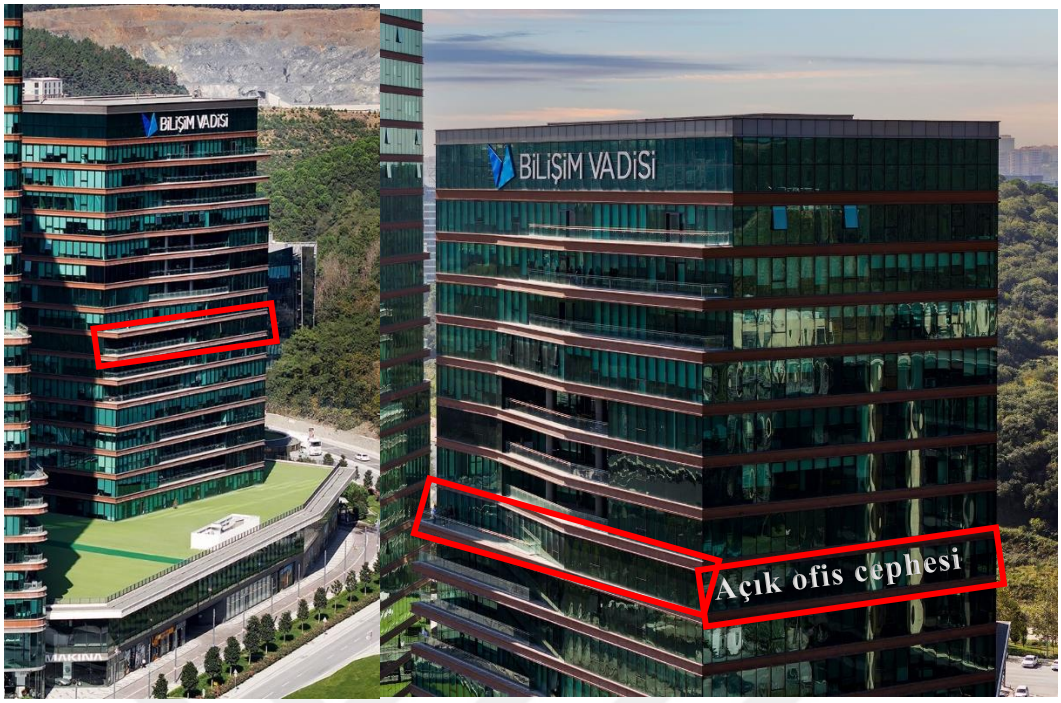
4. ÖRNEK ÇALIŞMA: TS EN 12464-1 AYDINLATMA GEREKSİNİMLERİNE UYGUN AÇIK OFİS AYDINLATMA TASARIMI

Bu bölümde mevcut bir açık ofisin, aydınlatma sisteminin aydınlatma standartlarında yer alan görsel performans kriterlerine uygun olacak şekilde iyileştirilme çalışması yapılmıştır. Çalışmanın yapılabilmesi için Dialux evo 12.0 yazılımı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonların nasıl ve neye göre değerlendirildiği detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Simülasyonlar yapılırken, çeşitli parametrelere bağlı kalınarak gün ışığı ve yapay aydınlatma tasarımı için farklı senaryolar oluşturulmuştur. Mekân için ihtiyaç duyulan aydınlık düzeyleri ve aydınlatma çeşitleri belirli standartlar doğrultusunda doğal ve yapay aydınlatma senaryoları boyunca irdelenmiştir.

4.1. Örnek Çalışma Projesine ait Genel Bilgiler

Seçilen örnek ofis Vadi İstanbul Bilişim Vadisi'nde bulunmaktadır. Bu ofis bir yazılım firmasına hizmet etmektedir. Çalışanlar genellikle masa başında ve kişisel bilgisayarlarıyla zaman geçirmektedir. Plan içerisinde, yönetici odaları, toplantı odaları, çalışma odaları, ıslak hacimler, mutfak, sosyal alan ve açık ofis gibi birimler bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bu projenin açık ofis alanı ele alınarak, açık ofis özelinde standartlara uygun görsel performans kriterlerini sağlayacak aydınlatma tasarımını oluşturmak üzere çeşitli senaryolar için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Böylece, insan odaklı bir aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Açık ofisin üç cephesi de (Kuzey, Batı, Güney) pencerelerle çevrilidir. En geniş cephesi Batı yönündedir. Üç cephesinin de saydam olması, çalışanların mesai saatleri içerisinde, gün boyunca gün ışığından faydalanmalarını sağlamaktadır. Ofis toplamda 1032 m^2'dir ve açık ofis bunun 201 m^2'sini kapsamaktadır. Alçıpan asma tavan yüksekliği 3.40 m'dir. Tez kapsamında üzerinde çalışılan örnek açık ofisin bulunduğu binanın dıştan görünümü aşağıdaki gibidir (Şekil 20). Ofis bu binanın 8. katında yer almaktadır. Açık ofisin iç mekân ve cephesine ait yapım aşamasındaki fotoğrafları da Şekil 21'de yer almaktadır.



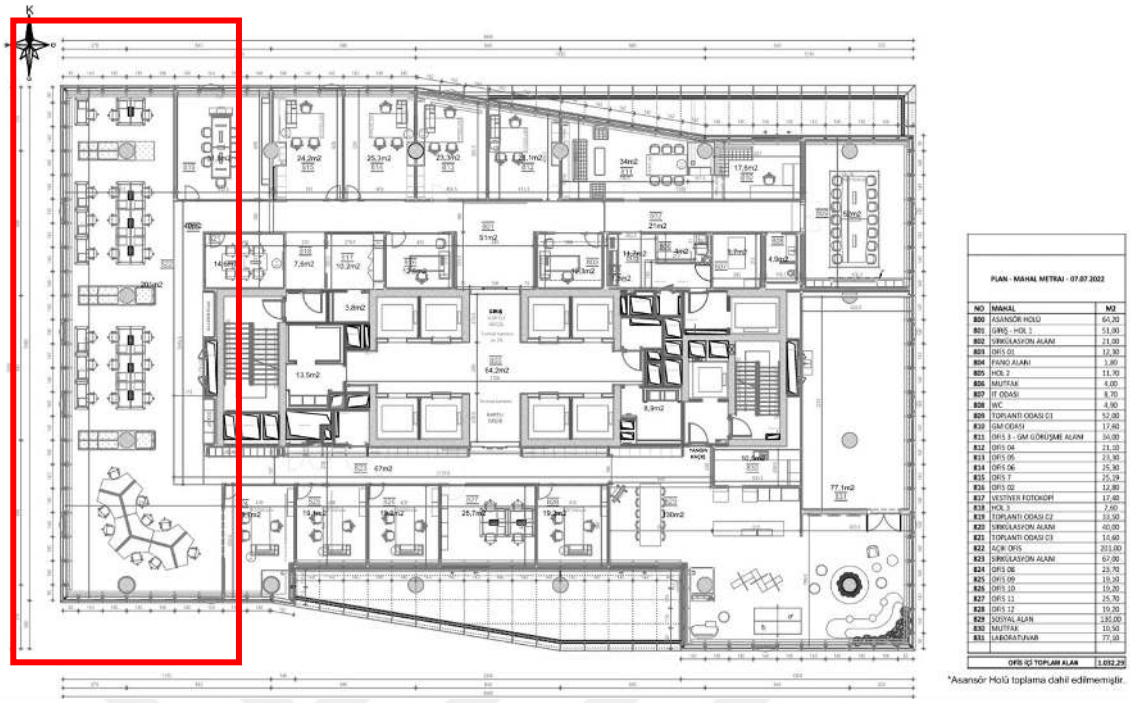
Şekil 20. Örnek Ofisin Bulunduğu Binanın Dış Görünümü

Kaynak: Artas Holding (t.y.). *Bilişim Vadisi İstanbul*. 06.02.2025 tarihinde https://www.artasholding.com/tr-tr/proje/bilisim-vadisi-istanbul/ adresinden edinilmiştir.

Şekil 21. Örnek Ofisin Bulunduğu Binanın İç Görünümü

Kaynak: IDEE Mimarlık Arşivi.

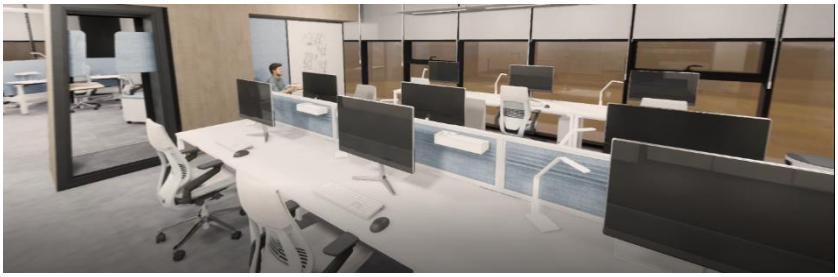
Ele alınan örnek ofis projesinin yerleşim planı aşağıdaki gibidir. Planın sağ tarafındaki lejantta ofise ait birimlerin kodlarına ve m² bilgilerine yer verilmiştir. Tez özelinde incelenecek olan açık ofis bölümü plan üzerinde dikdörtgen içerisine alınmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Örnek Ofis Yerleşim Planı

Kaynak: IDEE Mimarlık Arşivi.

Ofis içerisinde kullanılan malzeme ve mobilyalara göre projenin örnek model çalışması aşağıda yer almaktadır. Zeminde halı, duvarlarda ve tavanda boya, masalarda açık renk MDF-Lam, masa kenarlarında bulunan phoneboothlarda ahşap, kullanılmıştır. Phoneboothların masalara bakan kenarları çalışanların yazı yazabilmeleri için boyalı cam olarak değerlendirilmiştir. Yüzeylerin bitiş malzemelerinin yansıtıcılıkları ışığın yansıması ve dağılması üzerinde etkilidir. Bu kapsamda, ofislerde kullanılacak bitiş ve yüzey malzemelerinin seçiminde TS EN 12464-1:2021 standardında ofisler için yer alan (4.2.2 Yüzeylerin yansıtması) bilgileri göz önünde bulundurulmalıdır.

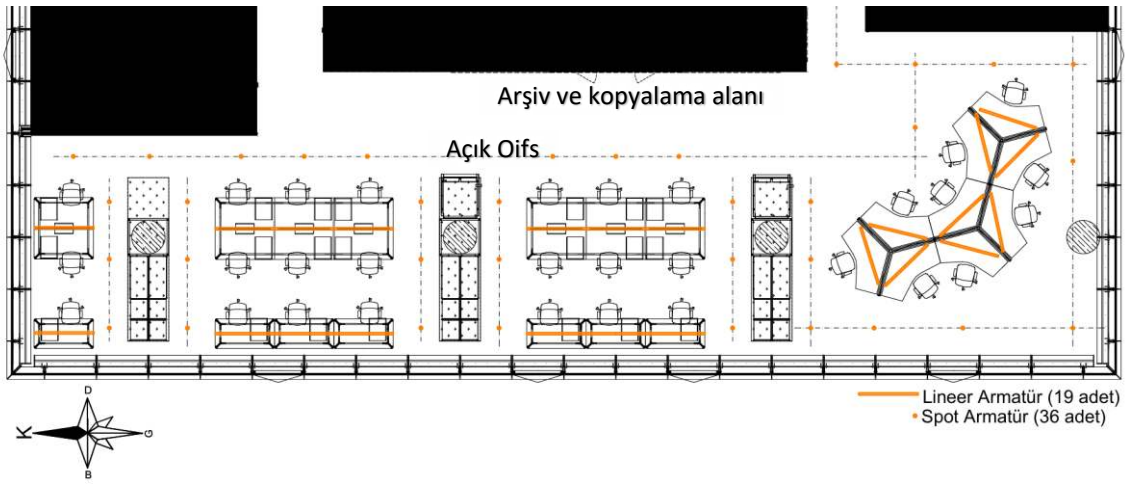


Şekil 23. Örnek Ofis Yerleşimi Örnek Model Çalışması

Kaynak: IDEE Mimarlık Arşivi.

Açık ofis özelinde aydınlatma firmasının hazırlamış olduğu aydınlatma planı aşağıdaki gibidir (Şekil 24).

Aydınlatma firması açık ofis için spot ve lineer armatür olmak üzere iki çeşit aydınlatma armatürü tipi belirlemiştir.



Şekil 24. Açık Ofis Aydınlatma Planı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Lineer aydınlatma armatürleri için sarkıt model tercih edilmiştir. Çalışan masalarının üzerlerine denk gelecek ve yerden 2.20 m yüksekte bitişleri olacak şekilde montajı yapılmıştır. Armatürlerin güç değerleri 42 W'tır. Spot aydınlatma armatürleri sıva altı olarak tercih edilmiştir. Yerden 3.40 m yükseklikte tamamlanacak şekilde konumlandırılmışlardır. Armatürlerin güç değerleri 14 W'tır.

4.2. Yöntem

Çalışmada açık ofislerde görsel konforun TS EN 12464-1:2021 standardına uygun olarak sağlanabilmesi için hem doğal aydınlatma hem yapay aydınlatma hem de her iki faktörün kombinasyonlarıyla görsel performansın sağlanabilmesi ve insan odaklı bir tasarım elde edilebilmesi için standartta verilen aydınlık düzeyi verileri kullanılmış ve simülasyonlar aracılığıyla tez geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ile ofis yapılarında aydınlatma tasarımı için genel bir öneride bulunulması hedeflenmiştir. Bu nedenle projeye özgü bazı pasif tasarım parametreleri ihmal edilmiştir. Böylece tezde optimal değerlere ulaşılması ve tezdeki metodun farklı ofisler için uyarlanabilmesi hedeflenmiştir.

Bu doğrultuda, gün ışığı analizleri kapsamında, çevre binaların konumu ve gölge etkisi ihmal edilmiştir. Şekil 20'de mevcut binanın çevre binalar ile ilişkisi görülebilmektedir.

Bu tez kapsamında mevcut bir açık ofis yapısı ele alındığından mevcut cam kombinasyonu seçimleri değiştirilmemiştir. Bu nedenle mevcut cama ait SHGC (0,40) ve Tvis (%68) değerleri kullanılmıştır. Aydınlatma tasarımında oldukça önemli olan cephe saydamlık oranı da %100'e yakındır.

Çalışma kapsamında, gün ışığı performansından maksimum faydalanmayı analiz edebilmek amacıyla gölgeleme elemanlarının aydınlatma üzerindeki etkileri değerlendirilmemiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgulara göre gerekli zamanlar için gölgeleme elemanı kullanılması öneri olarak sunulmuştur.

Bunlara ek olarak, mevcut açık ofiste en geniş cephenin Batı yönünde olması, iç mekâna belirli saatlerde gün ışığının doğrusal ve yatık olarak girmesine sebep olmaktadır. Kuzey yarımkürede, yıl boyu gün içerisinde en homojen ışık yayılımı Güney yönünden alınabildiği için (Çiftçi ve Arpacıoğlu, 2021), gün ışığından optimal faydalanıldığı durumu ve etkilerini test edebilmek amacıyla, simülasyonlar açık ofisin en geniş cephesinin hem Batı yönüne hem de Güney yönüne baktığı durumlar için yapılmıştır. Bu değişime bağlı olarak, yön parametresinin optimal sonuçları elde edebilmek üzerindeki etkisi incelenmiştir Yön değişimi simülasyon aracı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu tezin odağında ofislerde insan odaklı bir aydınlatma tasarımı oluşturmak olduğu için bu aşamada maliyet analizleri teze dahil edilmemiştir.

Bu veriler doğrultusunda, mevcut açık ofis projesinde doğal ve yapay aydınlatma sistemlerine yönelik senaryolar geliştirilmiştir. Bu senaryolar, simülasyonlar yapılarak değerlendirilmiştir. Simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmış ve standartlara en uygun senaryo belirlenmiştir. Ayrıca doğal ve yapay aydınlatmadan bir arada faydalanabilmek amacıyla, optimal verilerin dışında kalan durumlar için öneriler sunulmuştur.

4.2.1. Simülasyon Aracı: Dialux Evo 12.0

DIALux evo, DIAL GmbH adlı Alman firması tarafından geliştirilmiş bir aydınlatma tasarım ve simülasyon yazılımıdır. Dialux ilk olarak 2012 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu yazılım, DIAL'ın daha önce geliştirdiği klasik DIALux programının yenilenmiş ve daha gelişmiş bir versiyonudur. Kullanıcı dostu arayüzü, güçlü simülasyon özellikleri ve modern teknolojilere uygun altyapısıyla günümüzde oldukça fazla tercih edilmektedir. DIAL, aydınlatma tasarımı, bina otomasyonu ve aydınlatma teknolojisi alanlarında hizmet veren bir şirkettir (DIAL GmbH, 2025). Dialux evo, özellikle profesyonel aydınlatma tasarımcıları, mimarlar ve elektrik mühendisleri tarafından kullanılan dünya çapında popüler bir yazılım aracıdır.

Yazılım, iç ve dış mekân aydınlatma projelerini planlamak, görselleştirmek ve analiz etmek için kapsamlı araçlar sunmaktadır. Aynı zamanda çeşitli üreticilerin aydınlatma ürünlerini simülasyon için destekler.

Dialux'un kullanım alanları şu şekildedir:

- 3D Modelleme ve Simülasyon
- Işık Dağılımı Analizi
- Aydınlatmada Enerji Verimliliği Analizi
- Standartlara Uygunluk

Bu analizlerin sonucunda raporlama ve dokümantasyon sunmaktadır.

Dialux, iç mekânda görsel performans gereksinimlerine uygun hesaplamalar yapabilen uluslararası anlamda güvenilir bir araçtır. Hem doğal hem de yapay aydınlatmanın entegrasyonunu simüle etme, aydınlık düzeylerini, kamaşmayı ve enerji verimliliğini optimize etme gibi önemli fonksiyonları ile tasarımcıya çok yönlü bir analiz yapma imkânı sunmaktadır.

4.2.2. Dialux Yazılımının Tezdeki Rolü

Dialux, genellikle aydınlatma sistemlerinin hesaplanması, tasarlanması ve görsel olarak simülasyonlarının gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Bir tezin içerisinde, özellikle aydınlatma tasarımı ve uygulamaları ile ilgili bir konu ele alınıyorsa, Dialux’un kullanımı, teorik bilgilerin pratikte nasıl uygulandığını

göstermek adına oldukça faydalı olabilmektedir. Akademik çalışmalarda Dialux kullanılarak çeşitli aydınlatma senaryolarının analizi yapılabilmekte ve belirli bir mekânın aydınlatma ihtiyaçları üzerine çözüm önerileri sunulabilmektedir. Tez kapsamında Dialux'ten aşağıdaki şekilde faydalanılmıştır.

1- Verilerin Analizi: Mevcut projeden alınan verilerin doğruluğunun verifikasyonunun yapılabilmesi için Dialux kütüphanesinde yer alan verilerle karşılaştırma yapılmıştır.

2- Aydınlık Düzeyi Hesaplamaları: Dialux, belirli bir ortamda gereken aydınlık düzeyini belirlemek ve çeşitli analizler yapmak için kullanılmaktadır. Aydınlık düzeyi, özellikle TS EN 12464-1 gibi standartlarla uyumlu olarak hesaplanmaktadır. Yazılım, ortamın farklı alanlarındaki ışık akısının (lumen) ve yüzey alanlarının etkisini göz önünde bulundurarak detaylı aydınlık düzeyi haritaları (isoline haritaları) sunmaktadır. Çalışma kapsamında üretilen senaryolar sonucu elde edilen aydınlık düzeylerinin TS EN 12464-1: 2021 standardı ile uyumlu olup olmadığını belirlemek için kullanılmıştır.

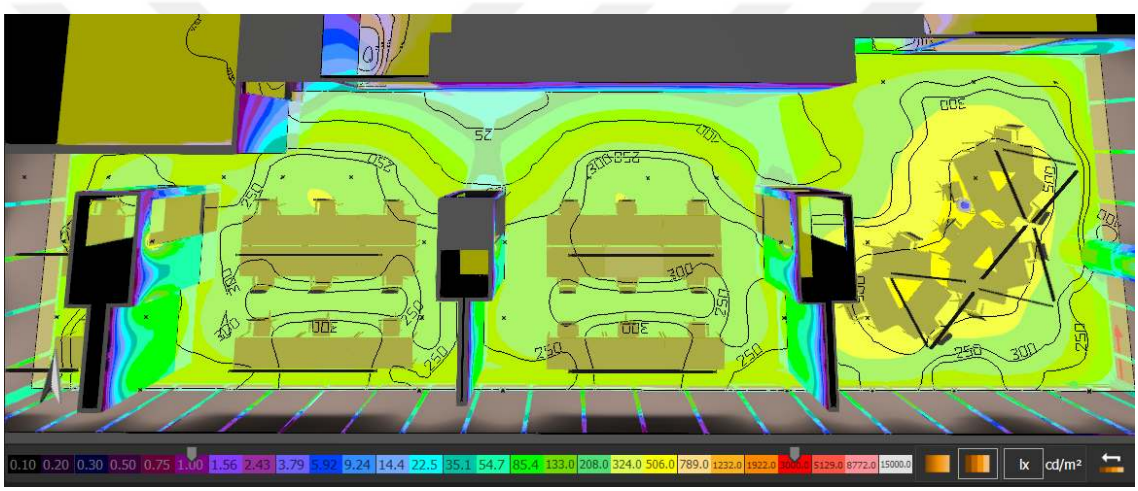
3- Doğal Işığın Entegrasyonu: Dialux, yapay ve doğal aydınlatmanın entegrasyonunu analiz etmek için kullanılabilmektedir. Yazılım, gün ışığı simülasyonlarını yaparak, dışarıdan gelen ışığın iç mekân aydınlatması ile nasıl bir etkileşimde olduğunu göstermektedir. Bu, enerji tasarrufu sağlamak ve çevresel etkiyi azaltmak için önemli bir analiz aracıdır. Tez kapsamında, açık ofisin gün ışığından ne oranda faydalanabildiğinin belirlenmesi, uygun saatlerde yapay aydınlatma yerine gün ışığı kullanımının önerilerek enerji tasarrufu sağlanabilmesi ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak amacı ile faydalanılmıştır.

4- Aydınlatma Armatür Seçimi: Dialux, farklı aydınlatma armatürlerinin (LED, floresan, halojen vb.) mekândaki performansını ve ışık verimliliğini simüle edebilmektedir. Böylece tasarımda en verimli ve uygun aydınlatma armatürü seçilebilmektedir. Çalışma kapsamında, senaryolar ile kullanımı test edilmesi öngörülen aydınlatma armatürlerinin verimliliği analiz edilmiştir.

5- Isoline Haritaları Üzerinden Aydınlık Düzeyi Analizi: Dialux düzleminde aydınlatma armatürleri yerleştirilip simülasyon yapıldıktan sonra plan üzerinde isoline haritası oluşmaktadır. Isolinelar, aynı aydınlık seviyesine sahip

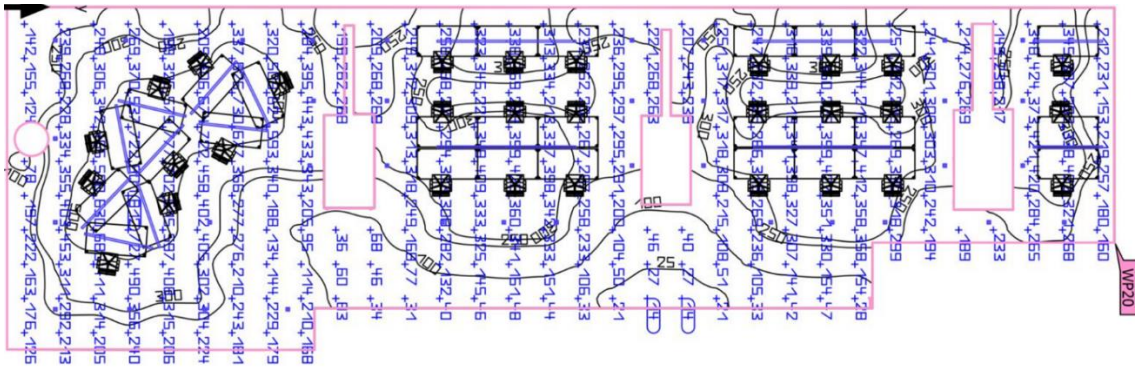
noktaları birleştiren eğrilerdir. Harita üzerinde farklı renkler veya çizgilerle gösterilir. Bu isoline haritaları, bazı sayısal değerleri içermektedir. Bu sayısal değerler alan üzerindeki aydınlık düzeyi değerlerini ifade etmektedir. Mekân içerisindeki aydınlatmanın homojen olup olmadığını değerlendirmek, belirli alanlardaki aydınlık düzeyi seviyelerinin standartlara uygunluğunu kontrol etmek ve karanlık/aydınlık bölgeleri tespit etmek amacıyla isoline haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 25).

Isolinelar odanın tamamında (duvarlar, zemin, tavan) görüntülenebilmektedir. Standartlar doğrultusunda aktivite tipine göre görsel performansa en uygun aydınlık düzeyi değerleri belirlendikten sonra isoline haritaları oluşturdukları renklere ve sayısal değerlere göre yorumlanabilmektedir (Şekil 26).



Şekil 25. Örnek Açık Ofis Projesi İsoline Haritası Model Gösterimi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.



Şekil 26. Örnek Açık Ofis Projesi Detaylı Aydınlık Düzeyi Değerlerinin İsoline Haritasında Gösterimi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.2.3. Optimum Görsel Konfor Gereksinimlerinin Sağlanabilmesi İçin Standartların İrdelenmesi

Optimum görsel konfor gereksinimlerinin sağlanabilmesi için aydınlatma tasarımında ulusal ve uluslararası standartların dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Bu standartlar, görsel performansı artırmak, göz sağlığını korumak ve enerji verimliliğini sağlamak amacıyla aydınlatma seviyeleri, renk sıcaklığı, parıltı kontrolü ve ışık dağılımı gibi kriterleri belirler. EN 12464-1 ve bu standardı temel alarak geliştirilmiş olan TS EN 12464-1 standardı gibi rehberler, farklı kullanım alanlarına göre uygun aydınlatma gereksinimlerini tanımlamaktadır. Bu standartların analizi ve uygulanması hem görsel konfor hem de estetik açıdan kullanıcı dostu mekânlar tasarlamak için temel oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında TS EN 12464-1:2021 Işık ve Aydınlatma Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları isimli Türk Standardının verileri kullanılmıştır. Bu standart bir Avrupa (EN) standardıdır. Avrupa'da elektrik ve elektroteknik konularındaki faaliyetlere yönelik olarak Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN)'nin bir alt kuruluşu Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (CENELEC) oluşturulmuştur. Bu kuruluşların yayımladığı standartlar Avrupa Birliği'ne üye ülkeler tarafından ulusal standart olarak kullanılmaktadır. Türk Standartlar Enstitüsü (TSE) de 2012 yılında CEN ve CENELEC'e tam üye olmuştur. TS EN 12464-1 standardı çeşitli revizyonlar geçirmiş ve son revizyonu 2021 yılında olmuştur. Ülkemiz adına üye kuruluş olan TSE, 30 Eylül 2021 yılında standardı onaylamış ve ulusal standart olarak yayımlamıştır (Ünver, 2022).

TS EN 12464-1:2021 standardı, iç mekânlarda bulunan çalışma alanlarının aydınlatılması için gerekli şartları belirleyen önemli bir referans kaynağıdır. Bu standart, görsel konfor ve iş güvenliğini sağlamak amacıyla, farklı çalışma ortamlarındaki aydınlatma düzeylerini ve kalite kriterlerini tanımlar. Aydınlatmanın etkin bir şekilde düzenlenmesi, çalışanların verimliliğini artırırken, göz sağlığını koruma ve genel iş ortamı güvenliğini destekleme açısından büyük önem taşır. TS EN 12464-1:2021, ofisler, fabrikalar, hastaneler gibi çeşitli alanlar için spesifik aydınlatma gereksinimlerini içerir ve bu gereksinimler, farklı iş aktivitelerinin gereksinimlerine göre özelleştirilmiştir.

Aydınlatma, sadece görsel konforu değil, aynı zamanda çalışanların odaklanma yeteneğini ve işin güvenliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, standart, her ortamda uygulanması gereken ışık seviyelerini, renk sıcaklıklarını ve aydınlatma türlerini belirler. Sonuç olarak, bu standart, kaliteli ve güvenli bir çalışma alanı oluşturulmasına yardımcı olur.

Binalarda kullanıcılar için görsel konfor şartları Türkiye'de de kabul edilen TS EN 12464-1 ve TS EN 12464-2 numaralı Avrupa Birliği standartları ile belirlenmiştir. Ofis iç mekânları için olan standart 2021 yılında güncellenmiştir. (EN 12464-1:2021, 2021). Standardın yeni yayını, eskilerinden farklı olarak, bir mahaldeki görsel konfor şartlarını tanımlarken, aydınlık düzeyi gereksiniminin değişebileceğini belirtmektedir. Bu sebeple aydınlık düzeyi için önceki versiyonundan farklı olarak her mahal için bir aralık tanımlanmıştır. Bu değişime sebep olacak etkenler şunlardır;

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

TS EN 12464-1:2021 standardı içerisinde, bir mahalde yukarıdaki etkenlerden bir veya iki tanesi bulunuyorsa, standartta o mahal için verilen en düşük aydınlık düzeyi limiti 1 kademe üste ve eğer bu etkenlerden ikiden fazlası bulunuyorsa, aydınlık düzeyi limiti 2 kademe üste çekilmelidir. Öte yandan eğer mahalde gerçekleştirilecek görsel görev ayrıntıları alışılmadık derecede büyük veya yüksek kontrastlı ise veya görev alışılmadık derecede kısa süreli ise, aydınlık düzeyi limiti bir kademe düşürülebilir notu düşülmüştür.

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

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

- (Ēm, required) Ortalama aydınlık düzeyi (gerekli olan): Aydınlık düzeyi, bir alan üzerine gelen ışık akısının o alana oranı olarak tanımlanır (TS EN 12665, 2019). Bu kriter, bir mekân için gerekli olan en düşük ortalama aydınlık düzeyini belirtmektedir.
- (Ēm, modified) Ortalama aydınlık düzeyi (değiştirilmiş): Bu kriter, yukarıda belirtilen etkenler sebebiyle değiştirilmiş (yükseltilmiş) olan ortalama aydınlık düzeyini belirtmektedir.
- (Uo) Aydınlığın düzgün dağılımı: Bir yüzeydeki minimum aydınlığın ortalama aydınlığa oranı (TS EN 12665, 2019).
- (Ra) Renksel geriverim değeri: Bir ışıklayıcının, aydınlattığı nesnelerin, renk türü ile ilgili görünüşleri üzerindeki etkisi. Bu etki, bilinçli ya da bilinçsiz olarak, bir referans ışıklayıcısınca aydınlatılma durumundaki renk türü görünüşleri ile karşılaştırılır (TS EN 12464-1:2021, 2021).
- (RUGL) Kamaşma: Işıklılıkların uygun olmayan dağılımları ya da aşırı bir karşıtlık sonucu, nesnelerin ya da bunların ayrıntılarının ayırt edilmesinde bir yetenek eksikliği ya da bir güçlük, bir sıkıntıya yol açan görme koşulları (TS EN 12464-1:2021, 2021).
- (Ēm,z) Görsel iş bölgesinde silindirsel aydınlık: Belirtilen noktada bulunan çok küçük bir silindirin kavisli yüzeyine düşen toplam ışık akısının silindirin kavisli yüzey alanına oranı (TS EN 12665, 2019).
- (Ēm,wall / Ēm,ceiling) Yüzeyler üzerindeki aydınlık: Duvar ve tavanlardaki aydınlık, yüzey yansımaları ile birlikte ışıklılığa katkıda bulunur ve algılanan oda parlaklığının göstergeleridir (TS EN 12464-1:2021, 2021).

TS EN 12464-1:2021 standardını tez kapsamında üzerinde çalışılan açık ofis için incelediğimizde, bir yazılım firması olduğu için ofis içerisindeki aydınlık düzeyinin Tablo 5'de bulunan 6.26.2 maddesinde yer alan Ēm,r= 500 lx ve Ēm,u= 1000 lx skalasında olması gerektiği belirlenmiştir.

Tablo 5. Ofisler ve Sirkülasyon Alanları İçin Belirlenen Gereksinimler

Ref. no.	Görev/faaliyet alanı türü	Ēm,r lx	Ēm,u lx	Uo	Ra	RUGL	Ēz lx	Ēm,duvar lx	Ēm,tavan lx	Özel gereksinimler
6.26.1.	Dosyalama, kopyalama vb.	300	500	0,4	80	19	100	100	75	
6.26.2.	Yazma, yazma, okuma, veri işleme	500	1000	0,6	80	19	150	150	100	DSE-çalışma için 4.9'a bakınız. Oda parlaklığı için 5.7'ye bakınız.
6.26.3.	Teknik çizim	750	1500	0,7	80	16	150	150	100	DSE-çalışma için 4.9'a bakınız. Oda parlaklığı için 5.7'ye bakınız.
6.26.4.	CAD iş istasyonları	500	1000	0,6	80	19	150	150	100	DSE çalışması için 4.9'a bakınız.
6.26.5.1.	Konferans ve toplantı odaları	500	1000	0,6	80	19	150	150	100	Aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır.
6.26.6.2.	Konferans masası	500	1000	0,6	80	19	150	150	100	Aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır.
6.26.6.	Resepsiyon masası	300	750	0,6	80	22	100	100	75	
6.26.7.	Arşivleme	200	300	0,4	80	25	75	75	50	

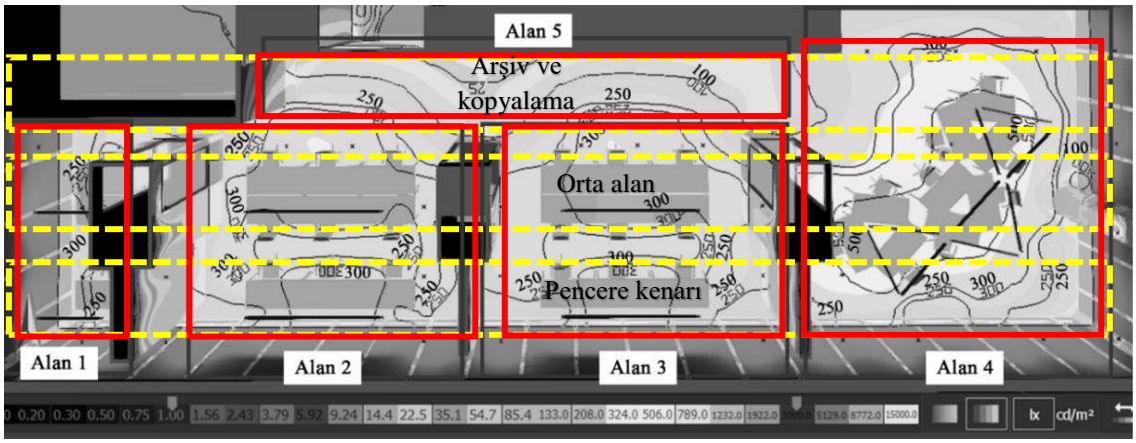
Kaynak: Türk Standartları Enstitüsü. (2021). *TS EN 12464-1: Işık ve Aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: İç mekân çalışma yerleri.* TSE. / Yazar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.

Açık ofis içerisinde, çalışma alanlarının arkasında kalan ve tez kapsamında değerlendirmeye alınan bir geçiş alanı bulunmaktadır. Bu geçiş alanında yer alan ünite arşivleme veya kopyalama amacıyla kullanılabilecektir. O nedenle standardın her iki mahale hitap eden değerleri de tez kapsamına alınmıştır. Bu alanın aydınlık düzeyi için de Tablo 7'de yer alan 6.26.1. maddesinde yer alan Ēm,r=300 lx ve Ēm,u=500 lx skalası ve 6.26.7. maddesinde yer alan Ēm,r=200 lx ve Ēm,u=300 lx skalası alınmıştır.

4.2.4. Çalışma düzleminin Zonlara (Alanlara) Ayrılması

Tez çalışması kapsamında gün ışığı ve yapay aydınlatmaya bağlı aydınlık düzeyi analizleri yapılırken, bu analizlerin mahal fonksiyonlarına ve yöne bağlı değişimlerini detaylı olarak inceleyebilmek amacıyla plan üzerinde zonlama

yapılmıştır. Bu zonlar Alan1, Alan 2, Alan 3, Alan 4, Alan 5 olarak ifade edilmiştir. Bu alanlara göre analizler yapılıp yorumlanmıştır (Şekil 27).



Şekil 27. Örnek Açık Ofis Alanlar (Zonlama)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Açık ofis alanı yön, yerleşim ve fonksiyon parametreleri çerçevesinde 5 alan olarak bölümlendirilmiştir. Çalışmada amaç, her alan içerisinde TS EN 12464-1:2021 standardının belirlemiş olduğu optimum aydınlık düzeyi değerlerine ulaşmaktır. Açık ofisin uzun cephesi mevcut durumdaki gibi Batı yönünde olduğunda Alan 1 Batı ve Kuzey yönlerinde, Alan 2 ve 3 Batı yönlü, Alan 4 Batı ve Güney yönlerinde saydam cephelere sahip olmaktadır. Senaryolarda yer aldığı gibi açık ofisin uzun cephesi Güney yönlü olduğunda; Alan 1 Batı ve Güney yönlerinde, Alan 2 ve 3 Güney yönlü, Alan 4 Doğu ve Güney yönlerinde saydam cephelere sahip olmaktadır. Ayrıca, Alan 4'ün masa yerleşimi, çalışan sayısı ve dolayısıyla yapay aydınlatma tasarımı diğer alanlardan farklıdır. Alan 5 ise hem direkt olarak saydam cephesi olmaması, hem de farklı bir fonksiyonu olması sebebiyle gün ışığından faydalanma ve aydınlık düzeyi gereksinimi açısından diğer alanlardan farklılaşmaktadır. Bu alan arşivleme veya kopyalama amaçlı bir geçiş alanıdır.

4.3. Aydınlatma Senaryolarının Tanımlaması

Çalışmada, örnek açık ofiste farklı aydınlatma senaryoları oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Bu senaryolar, gün ışığı varlığı ve yokluğu, yapay aydınlatma değişkeni, yön faktörü gibi parametrelere bağlı olarak geliştirilmiştir. Hesaplamalar 21

Mart, 21 Haziran, 23 Eylül, 21 Aralık günleri için ve 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 saatleri için yapılmıştır. Bu saatler ofisin gerçek çalışma saatleridir. Konumu sebebiyle, lokasyon olarak İstanbul seçilmiştir.

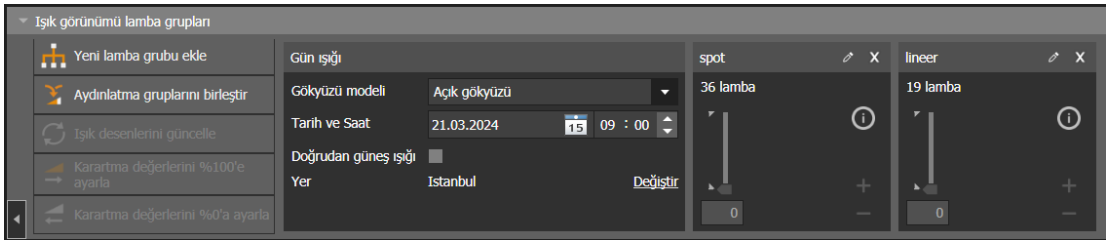
4.3.1. Gün ışığına Bağlı Senaryolar

Pencere yerleşimi, binanın yönü, camın gün ışığı geçirgenlik değeri (Tvis değeri) ve ofis içindeki doğal ışığın miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Pencere yerleşimi ve cam seçimleri mevcut projedeki ile aynı bırakılmıştır. Öncelikle binanın mevcut durumdaki yönlenişi üzerinden simülasyonlar yapılmıştır. Mevcut durumda uzun cephe Batı yönündedir. Bu yöne ait senaryolar ve tanımları Tablo 6'da yer almaktadır. Ardından gün ışığından optimum fayda göz önünde bulundurularak uzun cephenin Güney yönünde olduğu durum analiz edilmiştir. Bu yöne ait senaryolar ve açıklamaları da Tablo 6'da yer almaktadır.

Senaryo kodları şu şekilde oluşturulmuştur:

A B C - A: Yön faktörü, B: Gün Işığı Faktörü, C: Tarih
↓ ↓ ↓
B G 1 - Batı Cephesi Gün Işığı Faktörü – 21.03.2024 (1)

Doğal aydınlatmadan faydalanılma miktarı yıl içerisindeki ve gün içerisindeki güneş hareketine bağlı olarak değişmektedir. Gökyüzünün açıklık oranına göre de değişim söz konusudur. Ancak doğal aydınlatmanın maksimum etkisini tespit edebilmek adına, simülasyonlar "açık gök" modelinde çalıştırılmıştır (Şekil 28). Yine maksimum faydayı tespit edebilmek için simülasyonlarda gölgeleme elemanları ihmal edilmiştir.



Şekil 28. Dialux Gün Işığı Gökyüzü Modeli Seçim Arayüzü – Doğal Aydınlatma

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablo 6. Gün Işığı Parametresine Bağlı Senaryolar ve Tanımları

Senaryo Adı	Açıklama	Tarih
BG1	Batı cephesi gün ışığı faktörü	21.03.2024
BG2	Batı cephesi gün ışığı faktörü	21.06.2024
BG3	Batı cephesi gün ışığı faktörü	23.09.2024
BG4	Batı cephesi gün ışığı faktörü	21.12.2024
GG1	Güney cephesi gün ışığı faktörü	21.03.2024
GG2	Güney cephesi gün ışığı faktörü	21.06.2024
GG3	Güney cephesi gün ışığı faktörü	23.09.2024
GG4	Güney cephesi gün ışığı faktörü	21.12.2024

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.3.2. Yapay Aydınlatma Seçimine Bağlı Senaryolar

Çalışma kapsamında belirlenen yapay aydınlatma armatürleri, mevcut yerleşim düzenlerine göre simüle edilmiştir. Yapay aydınlatma armatürlerinin gücü, ışık miktarı ve armatürlerin türü görsel performans üzerinde etkili olacak şekilde entegre edilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan 10 adet senaryo ve açıklamaları Tablo 7'de yer almaktadır.

Senaryo kodları şu şekilde oluşturulmuştur.

A B - A: Yapay Aydınlatma Faktörü, B: Yapay Aydınlatma Armatür Tipi Değişkeni

↓ ↓

Y 0 - Yapay Aydınlatma Mevcut Durum Armatürleri

İlk olarak mevcut durum ele alınmış ve aydınlatma firmasının oluşturmuş olduğu mevcut yapay aydınlatma tasarımı projeye entegre edilmiştir. Bu amaçla, aydınlatma firmasından yapmış oldukları proje temin edilmiş ve proje alanında kullanmış oldukları yapay aydınlatma armatürleri belirlenmiştir. Dialux içerisinde bu armatürler ile tür, güç, ışık akısı gibi veriler açısından birebir aynı olan aydınlatma armatürleri seçilmiştir. Armatürlerin yerleşimi, mevcut projedeki ile tamamen aynı şekilde yapılmıştır. Tablo 7'de Y0 olarak gösterilmiştir.

Mevcut durumun TS EN 12464-1:2021 standardına göre yetersizlikleri tespit edildikten sonra ışık akısı özelinde farklılaşan yapay aydınlatma armatürlerini içeren senaryolar oluşturulmuştur. Floresan olan lineer aydınlatma armatürleri LED olarak değiştirilmiştir. Çünkü LED armatürler düşük güç değeri (Watt) ile yüksek ışık akısı (lm) sağladıkları için verimli ve enerji tasarruflu bir seçenek olmaktadırlar. Aynı zamanda uzun ömürlü olmaları da tercih edilmeleri için önemli bir etkendir. Bu farklılaşan yapay aydınlatma armatürleri Litpa isimli aydınlatma firmasından temin edilmiştir. Bu firmadan alınan ışık akısı (lm) ve güç (Watt) değerleri ile hazırlanmış olan senaryolar Tablo 7'de yer almaktadır.

Tablo 7. Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryolar ve Tanımları

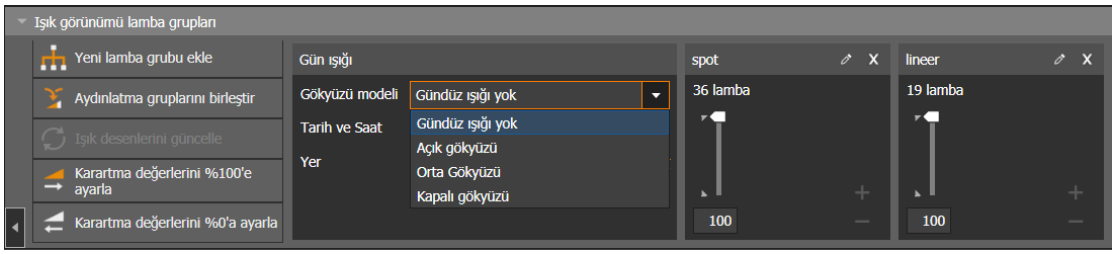
Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryolar ve Tanımları			
KOD	**Senaryo İçeriği**	**Açıklama**	**Litpa**
Y0	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	Aydınlatma firmasının kullandığı armatürlerin sayıları ve değerleri	Mevcut armatürler
Y1	19 adet lineer **(LED) - 2800 lm 30 W** 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	Lineer armatürler LED'e çevrilmiştir Lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Lineer = DFR 80/100 Mevcut spotlar
Y2	19 adet lineer **(LED) - 3360 lm 36 W** 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	Lineer armatürler LED'e çevrilmiştir Lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Lineer = DFR80/120 Mevcut spotlar
Y3	19 adet lineer **(LED) - 4200 lm 45 W** 36 adet spot **(LED)** - 1521 lm 14 W	Lineer armatürler LED'e çevrilmiştir Lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Lineer = DFR80/150 Mevcut spotlar
Y4	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **1200 lm 14 W**	Spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Mevcut Lineerler Spotlar = MSG200/O/14
Y5	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **1700 lm 20 W**	Spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Mevcut Lineerler Spotlar = MSG200/O/20
Y6	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	Spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Mevcut Lineerler Spotlar = MSG200/O/27
Y7	19 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	Lineer ve spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir	Lineer = DFR 80/150 Spotlar = MSG200/O/27
Y8	10 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 9 adet lineer (LED) - **3360 lm 36 W** (9'lu çalışma birimi) 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	Lineer ve spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir. Alan 4 için yeni aydınlatma grubu oluşturulmuştur.	Lineer = DFR 80/150 Lineer = DFR80/120 Spotlar = MSG200/O/27
Y9	10 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 9 adet lineer (LED) - **2800 lm 30 W** (9'lu çalışma birimi) 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	Lineer ve spot armatürlerin lümen ve watt değerleri değiştirilmiştir. Alan 4 için yeni aydınlatma grubu oluşturulmuştur.	Lineer = DFR 80/150 Lineer = DFR 80/100 Spotlar = MSG200/O/27

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

(https://litpa.com.tr/dfr-80.html) Lineer armatürler için simülasyonda Y1, Y2, Y3, Y7, Y8 ve Y9 senaryolarında bu değerler çalıştırılmıştır (Tablo 7).

(https://litpa.com.tr/msg200-o.html) Spot armatürler için simülasyonda Y4, Y5, Y6, Y7, Y8 ve Y9 senaryolarında bu değerler çalıştırılmıştır (Tablo 7).

Bu senaryoların simülasyonları çalıştırılırken, yapay aydınlatmanın maksimum etkisini tespit edebilmek ve gün ışığından faydalanılamayan saatlerde standarda (TS EN 12464-1:2021) uygun bir yapay aydınlatma tasarımı oluşturmak amacıyla gün ışığı ihmal edilmiştir (Şekil 29).



Şekil 29. Dialux Gün Işığı Gökyüzü Modeli Seçim Arayüzü – Yapay Aydınlatma

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.3.3. Yapay ve Doğal Aydınlatma Entegrasyonu Senaryoları

Gün ışığı ve yapay aydınlatmanın optimum entegrasyonunu sağlamak amacıyla 16 adet senaryo geliştirilmiştir. Açık ofis içerisinde her iki ışık kaynağından aynı anda faydalanıldığı zaman iç mekânda aydınlık düzeyinin nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla bu senaryolar geliştirilmiştir. Böylece bu entegrasyonun, açık ofis üzerindeki görsel performans etkisi incelenmiştir. Binanın mevcut yönü ve seçilen yeni yön üzerinden, mevcut durum Y0 ve yapay aydınlatma senaryolarından optimum değere ulaşılan Y9 senaryosu, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 saatleri için simülasyon aracında çalıştırılmıştır. Senaryo kodları ve açıklamaları Tablo 8'de yer almaktadır.

Çalışma kapsamında her iki kaynağın birlikte maksimum etkisini değerlendirebilmek amacıyla, doğal aydınlatmadan yeterli aydınlık düzeyi sağlansa dahi yapay aydınlatmanın tamamen kullanımına devam edildiği varsayılmıştır.

Bu senaryoların geliştirilmesindeki temel amaç, doğal ve yapay aydınlatmanın birlikte kullanımı sırasında ofis ortamında görsel konforu artıracak optimum tasarımı belirlemektir. Çalışmada, farklı saat dilimlerinde simülasyonlar gerçekleştirilerek gün boyunca değişen ışık koşullarının aydınlatma performansına etkisi analiz edilmiştir.

Senaryo kodları şu şekilde oluşturulmuştur.

A B C D E - A: Yön faktörü, B: Gün ışığı faktörü, C: Tarih D: Yapay Aydınlatma Faktörü E: Yapay Aydınlatma Senaryo Kodu

B G 1 Y 9 - Batı Cephesi Gün Işığı Faktörü+Yapay Aydınlatma Optimum Senaryo Faktörü – 21.03.2024

Tablo 8. Yapay ve Doğal Aydınlatma Entegrasyon Senaryolar ve Tanımları

Yapay ve Doğal Aydınlatma Entegrasyonu Senaryoları					
KOD	**Batı Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Senaryoları**		**KOD**	**Batı Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Senaryoları**	
BG1	21.03.2024	BG1Y0: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum	**GG1**	21.03.2024	GG1Y0: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum
		BG1Y9: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu			GG1Y9: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu
BG2	21.06.2024	BG2Y0: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum	**GG2**	21.06.2024	GG2Y0: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu
		BG2Y9: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu			GG2Y9: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum
BG3	23.09.2024	BG3Y0: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum	**GG3**	23.09.2024	GG3Y0: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum
		BG3Y9: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu			GG3Y9: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu
BG4	21.12.2024	BG4Y0: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum	**GG4**	21.12.2024	GG4Y0: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Mevcut Durum
		BG4Y9: Batı cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu			GG4Y9: Güney cephesi gün ışığı faktörü + Yapay Aydınlatma Y9 Senaryosu

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.4. Simülasyon Sonuçları ve Analizler

Bu bölümde, açık ofislerde görsel performans kriterlerine uygun aydınlatma tasarımı yapabilmek için mevcut bir açık ofis projesi üzerinden oluşturulan ve yukarıda açıklanan, doğal ve yapay aydınlatmaya yönelik senaryoların sonuçları verilmekte ve TS EN 12464:2021 standardı kapsamında görsel konfora uygunlukları değerlendirilmektedir. Senaryo sonuçlarını elde edebilmek için Dialux yazılımı kullanılmıştır. Senaryolar, gün ışığı faktörü, yapay aydınlatma faktörü ve her ikisinin entegrasyonu olmak üzere üç ana başlık altında yorumlanmıştır.

Bu çalışmada amaç, bina ve iç mekân özelinde çeşitli değişkenlere müdahale ederek açık ofis ortamlarında kullanıcının görsel konforunu gözeten, insan odaklı bir aydınlatma tasarımı oluşturabilmektir. Aynı zamanda, getirilen öneriler ile aydınlatmadan kaynaklanan çevresel etkileri minimize ederek çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

4.4.1. Mevcut Aydınlatma Projesi Modeli

Projeye ait mevcut planlardan faydalanılarak, Dialux yazılımında açık ofis bölümü modellenmiştir. Projede bulunan tefrişler ve aydınlatma armatürleri Dialux düzlemine işlenmiştir. Dialux düzleminde proje oluşturulduktan sonra aydınlatma armatürleri plan üzerinde tek tek numaralandırılarak yerleştirilmiştir. Projede 19 adet lineer ve 36 adet spot olmak üzere toplamda 55 adet aydınlatma armatürü kullanılmıştır. Armatürlerin teknik bilgileri projeyi yapan aydınlatma firmasından alınmıştır. Spot aydınlatma armatürlerinin her birinin gücü 14 W ve ışık akısı 1521 lm'dir. Lineer aydınlatma armatürlerinin her birinin gücü 42 W ve ışık akısı 2401 lm'dir.

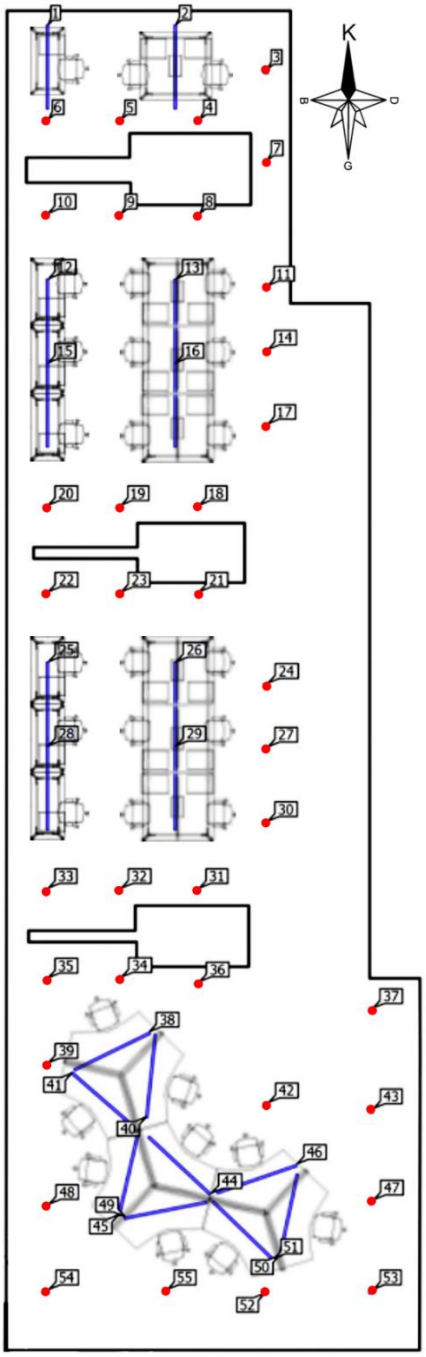
Şekil 30'da Dialux düzleminde 36 adet spot armatürün yerleşim bilgileri ve armatürlerin numaralandırılmış tablosu yer almaktadır. Spot armatürler, lineer aydınlatma armatürlerinden ayırt edilebilmesi için planda kırmızı renk ile gösterilmiştir (Şekil 30).

Şekil 31'de Dialux düzleminde 19 adet lineer aydınlatma armatürünün yerleşim bilgileri ve armatürlerin numaralandırılmış tablosu gösterilmektedir. Lineer aydınlatma armatürleri, spot armatürlerden ayırt edilebilmesi için planda kırmızı renk ile gösterilmiştir (Şekil 31).

Dialux yazılımında oluşturulan mevcut aydınlatma projesi modeli, açık ofis ortamının doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için detaylı bir şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca, projede kullanılan armatürlerin teknik özelliklerinin detaylı bir şekilde belirtilmesi, senaryo değerlendirmelerinin doğru bir temel üzerinde gerçekleştirilmesine olanak tanımıştır. Bu kapsamda, model üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlar, görsel konfor kriterleri ve enerji verimliliği açısından mevcut durumun detaylı bir şekilde incelenmesine imkân sağlamıştır. Simülasyon sonuçları, mevcut aydınlatma düzenlemelerinin açık ofis ortamındaki homojenlik ve yeterlilik açısından değerlendirilmesine olanak tanımıştır. Ayrıca, modelleme sürecinde elde edilen veriler, görsel performansı artırmaya yönelik olası iyileştirme senaryolarının geliştirilmesi için önemli bir rehber oluşturmuştur.

Münferit lambalar

X	Y	Tutturma yüksekliği	Işıklık
5.692 m	30.844 m	3.400 m	3
4.192 m	29.744 m	3.400 m	4
2.480 m	29.744 m	3.400 m	5
0.880 m	29.744 m	3.400 m	6
5.692 m	28.844 m	3.400 m	7
4.192 m	27.675 m	3.400 m	8
2.480 m	27.675 m	3.400 m	9
0.880 m	27.675 m	3.400 m	10
5.692 m	26.091 m	3.400 m	11
5.692 m	24.691 m	3.400 m	14
5.692 m	23.059 m	3.400 m	17
4.192 m	21.275 m	3.400 m	18
2.480 m	21.275 m	3.400 m	19
0.880 m	21.275 m	3.400 m	20
4.192 m	19.375 m	3.400 m	21
0.880 m	19.375 m	3.400 m	22
2.480 m	19.375 m	3.400 m	23
5.692 m	17.375 m	3.400 m	24
5.692 m	15.975 m	3.400 m	27
5.692 m	14.344 m	3.400 m	30
4.192 m	12.875 m	3.400 m	31
2.480 m	12.875 m	3.400 m	32
0.880 m	12.875 m	3.400 m	33
2.480 m	10.925 m	3.400 m	34
0.880 m	10.909 m	3.400 m	35
4.192 m	10.825 m	3.400 m	36
7.992 m	10.244 m	3.400 m	37
0.880 m	9.044 m	3.400 m	39
5.692 m	8.175 m	3.400 m	42
7.992 m	8.044 m	3.400 m	43
7.992 m	6.044 m	3.400 m	47
0.880 m	5.944 m	3.400 m	48
5.692 m	4.075 m	3.400 m	52
7.992 m	4.075 m	3.400 m	53
0.880 m	4.075 m	3.400 m	54
3.480 m	4.075 m	3.400 m	55

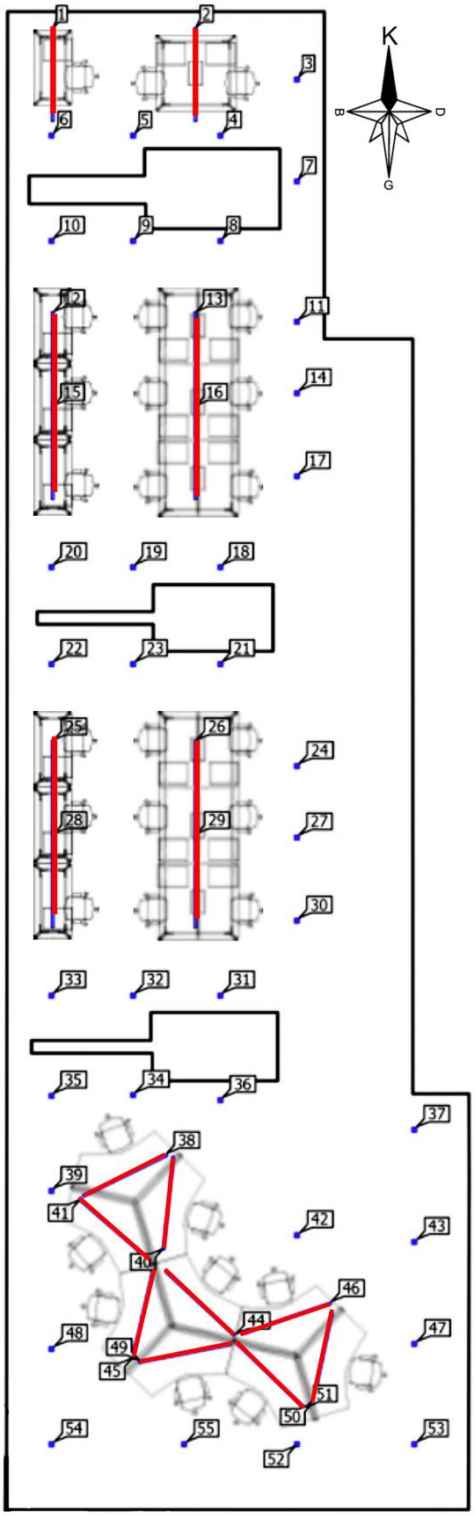


Şekil 30. Spot Armatürlerin Yerleşim Planı

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Münferit lambalar

X	Y	Tutturma yüksekliği	Işıklık
0.905 m	30.942 m	2.200 m	1
3.701 m	30.942 m	2.200 m	2
0.905 m	25.364 m	2.200 m	12
3.701 m	25.364 m	2.200 m	13
0.905 m	23.524 m	2.200 m	15
3.701 m	23.524 m	2.200 m	16
0.905 m	16.964 m	2.200 m	25
3.701 m	16.964 m	2.200 m	26
0.905 m	15.124 m	2.200 m	28
3.701 m	15.124 m	2.200 m	29
2.323 m	9.346 m	2.200 m	38
3.174 m	8.806 m	2.200 m	40
2.131 m	8.275 m	2.200 m	41
3.792 m	6.844 m	2.200 m	44
2.680 m	6.643 m	2.200 m	45
5.492 m	6.544 m	2.200 m	46
3.492 m	5.862 m	2.200 m	49
6.187 m	5.753 m	2.200 m	50
5.186 m	5.419 m	2.200 m	51



Şekil 31. Lineer Armatürlerin Yerleşim Planı

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.4.2. Gün ışığına Bağlı Senaryo Sonuçları

Projeye ait mevcut planlardan faydalanılarak, Dialux yazılımında açık ofis bölümü gün ışığı faktörünü ölçmek için örnek proje üzerinden çeşitli gün ve saatler belirlenerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Proje alanı mevcutta **Batı yönlü** olacak şekilde konumlandırılmıştır. Gün ışığından maksimum yararlanmak amacıyla proje **Güney yönlü** olarak değiştirilmiştir. Bu sayede gün ışığından faydalanma arttırılarak elde edilen sonuçların iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yön faktörünün gün ışığından faydalanma üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için, her iki yön için de simülasyonlar yapılmıştır.

Simülasyonda gün ışığı analizinin yapılabilmesi için yılın belli tarihleri belirlenmiştir;

- 21 Mart 2024 (Ekinoks)
- 21 Haziran 2024 (En uzun gündüz yaşanır.)
- 23 Eylül 2024 (Gece ve gündüz eşit yaşanır.)
- 21 Aralık 2024 (En uzun gece yaşanır.)

Bu tarihlerin her biri için örnek ofis projesinin hem Batı yönlü hem de Güney yönlü simülasyonları yapılmıştır.

Simülasyon için bu tarihlerin yanı sıra örnek açık ofisin çalışma saatleri göz önünde bulundurularak günün belli saatleri belirlenmiştir.

Ofis hafta içi beş gün çalışmaktadır ve mesai saatleri sabah 09:00 ile akşam 18:00 arasındadır.

Bu sebeple belirlenen saatler;

- 09:00 (mesai başlangıcı)
- 12:00 (öğle arası)
- 15:00 (öğleden sonra)
- 18:00 (mesai bitimi)

Belirlenen dört gün için de ayrı ayrı 09:00, 12:00, 15:00, 17:00 (yalnızca 21 Aralık 2024 için) ve 18:00 saatleri simülasyona dahil edilmiştir. Bu saatler ofisin gerçek çalışma saatleridir.

Gün ışığı faktörü test edilirken iç mekândaki tüm aydınlatma armatürleri (36 adet spot, 19 adet lineer) devre dışı bırakılmıştır.

Dialux gün ışığı modelinde gökyüzü modeli açık gökyüzü olarak seçilmiştir (Şekil 28).

Gölgeleme elemanları ihmal edilerek simülasyon yapılmıştır.

Binada kullanılan camın gün ışığı geçirgenlik oranı (Tvis) mevcut projedeki cam seçimine uygun olarak %68 alınmıştır ve simülasyona sayısal veri olarak işlenmiştir.

Tablo 9'da bu bölümdeki senaryo sonuçları verilmiştir. Tabloda yer alan "lx" değeri seçili alandaki aydınlık düzeyi değerini ifade etmektedir.

Tablo 9'da yer alan aydınlık düzeyi sonuçları, açık ofiste yer alan çalışma ve geçiş alanını (arşivleme, kopyalama) kapsayan mahaldeki ortalama sonuçları ifade etmektedir. TS EN 12464-1:2021 standardına göre çalışma alanı için 500-1000 lx skalası, arşivleme alanı için 200-300 lx ve kopyalama alanı için 300-500 lx skalası (Tablo 5) alınmıştır.

Tablonun sol tarafında ofis projesinin mevcut yönü olan Batı'ya dönük iken ki sonuçlar, sağ tarafında ise gün ışığından optimum fayda sağlamak için Güney'e yönelmiş durumdaki sonuçlar yer almaktadır (Tablo 9).

Yön faktörünün etkisi incelendiğinde, gün batımlarına yakın sakın saatler dışında Güney yönlü sonuçların Batı yönlü sonuçlara göre gün ışığından daha çok fayda sağlandığı şeklinde olduğunu görüyoruz. 21 Aralık saat 18:00'da güneş batmış olduğu için, gün ışığı analizleri saat 17:00 için yapılmıştır. Bu da gün batımına yakın bir saat olduğu için Batı yönlü sonuçta aydınlık düzeyi daha yüksek çıkmıştır. Ancak seçili günlerin diğer tüm saatleri için Güney yönlü sonuçlarda elde edilen aydınlık düzeyleri daha yüksektir (Tablo 9).

Bu değerlendirmelerde, açık ofis mahali içerisinde farklı fonksiyonlar ve bu fonksiyonların ihtiyacı olan farklı aydınlık düzeyleri olduğu için gün ışığının tüm plan düzleminde nasıl yayıldığının incelenmesi gerekmektedir.

Tablo 9. Gün Işığına Bağlı Senaryo Sonuçları

Gün Işığı Faktörü Simülasyon Sonuçları							
KOD	Batı Cephesi			KOD	Güney Cephesi		
	Tarih	Saat	Aydınlık Düzeyi (lx)		Tarih	Saat	Aydınlık Düzeyi (lx)
BG1	21.03.2024	09:00	486 lx	GG1	21.03.2024	09:00	876 lx
		12:00	784 lx			12:00	1611 lx
		15:00	1375 lx			15:00	1563 lx
		18:00	968 lx			18:00	566 lx
BG2	21.06.2024	09:00	626 lx	GG2	21.06.2024	09:00	929 lx
		12:00	750 lx			12:00	1140 lx
		15:00	1360 lx			15:00	1166 lx
		18:00	1631 lx			18:00	792 lx
BG3	23.09.2024	09:00	520 lx	GG3	23.09.2024	09:00	968 lx
		12:00	811 lx			12:00	1648 lx
		15:00	1427 lx			15:00	1530lx
		18:00	758 lx			18:00	441 lx
BG4	21.12.2024	09:00	175 lx	GG4	21.12.2024	09:00	298 lx
		12:00	714 lx			12:00	1477 lx
		15:00	951 lx			15:00	1224 lx
		17:00	368 lx			17:00	324 lx
		18:00	0.00 lx			18:00	0.00 lx

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışma masaları ve kopyalama/arşivleme ünitesinin pencereden mesafeleri farklılaştığı için, yine plan üzerinde aydınlık düzeyinin yayılımını incelemek, tek bir ortalama değer üzerinden inceleme yapmaktan daha doğru olacaktır. Bu nedenle, gün ışığından daha fazla verim elde edildiği tespit edilen Güney yönlü haritalar incelenmiştir.

Tablo 10'da GG1, Tablo 11'de GG2, Tablo 12'de GG3, Tablo 13'te GG4 senaryolarına ait isoline haritaları yer almaktadır.

Isoline haritaları, açık ofis içerisinde gün ışığının homojenliğini ve farklı alanlardaki aydınlık düzeylerini detaylı bir şekilde göstermektedir. Bu haritalar, özellikle çalışma masaları ve diğer fonksiyon alanlarında aydınlık dağılımının daha net bir şekilde anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Güney yönlü senaryolarda, plan düzlemi üzerindeki aydınlık düzeyinin daha dengeli ve ihtiyaçlara uygun şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, çalışma alanları için gerekli olan 500-1000 lx seviyelerine ulaşma oranının arttığı, arşivleme ve kopyalama gibi destek alanlarının ise TS EN 12464-1:2021 standardına uygun şekilde aydınlatıldığı

belirlenmiştir. Bu analizler, ofis içerisinde doğal aydınlatmadan faydalanma oranının artması ile hem enerji verimliliğini hem de görsel konforu en üst düzeye çıkaracak stratejilerin belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, isoline haritalarının detaylı analizi, gün ışığının pencereden içeriye giriş açısı ve ofis mobilyalarının yerleşimi gibi faktörlerin aydınlık düzeyine olan etkilerini daha iyi anlamayı sağlamıştır. Bu haritalar, farklı alanlardaki aydınlatma ihtiyaçlarının daha hassas bir şekilde karşılanabilmesi için tasarım sürecinde yol gösterici bir araç olarak kullanılmıştır. Böylece, açık ofis ortamında kullanıcıların görsel konforunu artırmaya yönelik daha optimize edilmiş bir aydınlatma tasarımı oluşturulması hedeflenmiştir.

- **21.03.2024 tarihi için Güney yönü gün ışığı faktörünün (GG1) etkisi incelendiğinde (Tablo 10):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 1500 ve 2000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında 500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, çalışma düzleminde 1000 lx değeri daha yoğun görülmektedir. Ancak 1000 lx'ten 500 lx'e azalan bir eğride olduğu için standart ile uyumlu bir değerdedir diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz (Tablo 10).

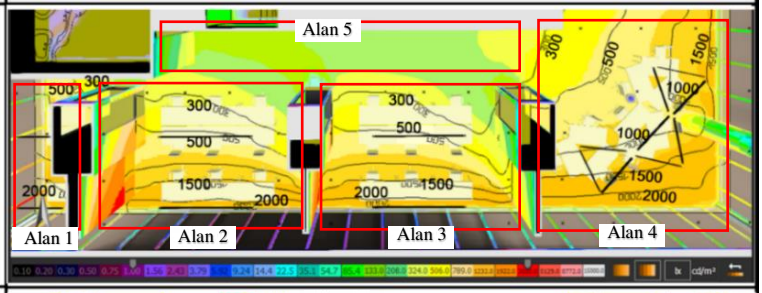
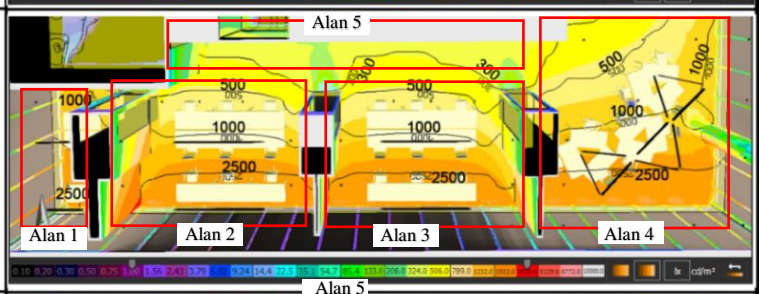
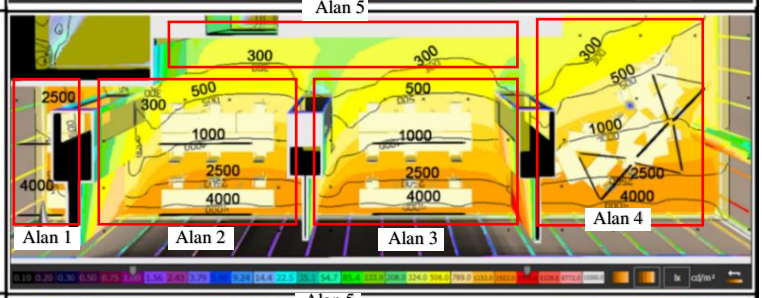
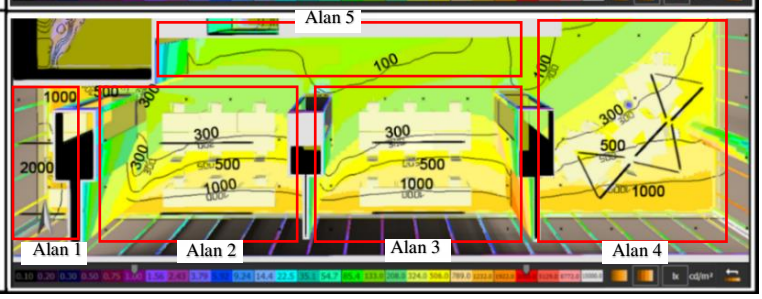
Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx değeri görülmektedir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilebilir. Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında orta alana ilerlediğimizde 1000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer nispeten standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). İç kısımlara doğru ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 500 lx değerleri görülmektedir yani gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama

alanında 300 lx değerini görmekteyiz. Bu değer arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 10).

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx ve 4000 lx değerlerini görmekteyiz. Güneşin alçaldığı bu saatlerde gün ışığı binanın uzun cephesine daha yatay olarak gelmektedir. Bu sebeple kamaşma sorununun önüne geçmek için gölgeleme elemanına ihtiyaç vardır diyebiliriz. Orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 1000 lx değerini görmekteyiz. Alan 1 Batı yönünde olduğu için burada aydınlık düzeyi 2500 lx'ün altına düşmemektedir. Diğer alanlarda, ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Orta alandan sonra 500 lx değerinden başlayarak azalan isoline eğrisinde arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değeri mevcuttur. Bu değer Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 10).

Saat 18:00 için, Alan 1'de 2000 lx ve 1000 lx; Alan 2, alan 3, alan 4 kapsamında pencere kenarında 1000 lx, orta alana ilerlediğimizde 500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer nispeten standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Alan 1 kapsamında çalışma alanında 2000 lx değerini görmemizin sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Bu sebeple o alanda gün ışığı miktarında artış gözlenmiştir. Saat 18:00 için Alan 1'deki cepheye gölgeleme elemanı önerilmesi gerekmektedir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 300 lx, Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanına doğru ilerlediğimizde 100 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç vardır diyebiliriz (Tablo 10).

Tablo 10. Gün ışığına Bağlı GG1 Senaryo Sonuçları

KOD	Güney Yönlü Senaryolar İçin İsoline Haritaları		
	Güney Cephesi Gün Işığı Faktörü Sonuçları		
	Tarih	Saat	Isoline Haritaları
GG1	21.03.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **21.06.2024 tarihi için Güney yönü gün ışığı faktörünün (GG2) etkisi incelendiğinde (Tablo 11):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında pencere kenarında 1000 lx ve 2000 lx değerlerini görmekteyiz. Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 2500 lx değeri de görülmektedir. Bu alanlarda çalışan personeller

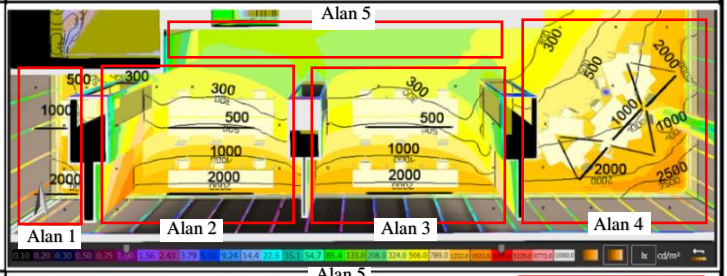
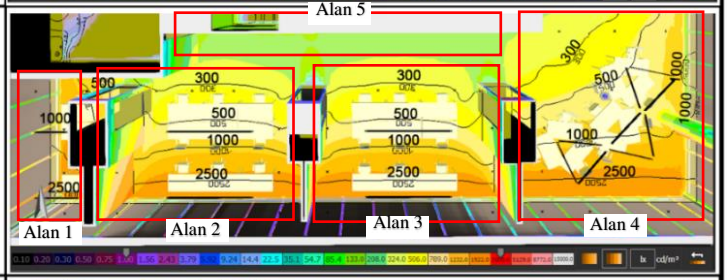
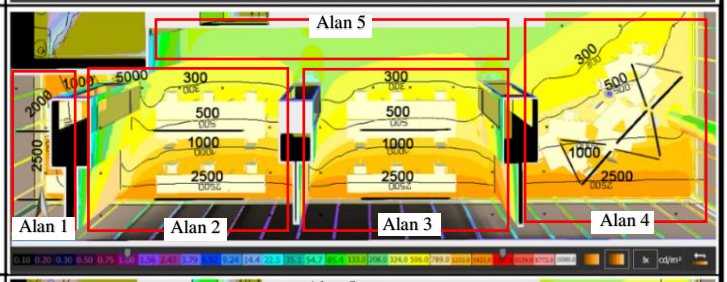
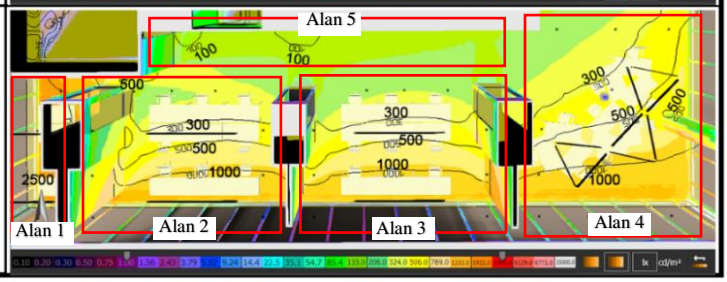
için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında 500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer nispeten standartlarla uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Alan 4'te 1000 lx değerinin daha yoğun olduğunu, ancak çalışma masaları düzleminde 500 lx'e doğru azaldığını görmekteyiz. Bu alanda yarı geçirgen gölgeleme elemanlarının kullanılması faydalı olabilecektir. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz (Tablo 11).

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 500 lx ve 1000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz (Tablo 11).

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1 Batı yönünde olduğu için burada aydınlık düzeyi 2000 lx'ün altında düşmemektedir. Bu nedenle, Alan 1'de bu saatler için de gölgeleme elemanı kullanılması önerilmelidir. Orta alanda Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 500 lx ve 1000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Fakat orta alanda ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz (Tablo 11).

Saat 18:00 için, Alan 1'de 2500 lx değerini görmekteyiz. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Bu sebeple o alanda gün ışığı miktarında artış gözlenmiştir. Saat 18:00 için Alan 1'de gölgeleme elemanı kullanımının bu saatlerde de devam ediyor olması önerilmelidir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 1000 lx, orta alana ilerlediğimizde 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer nispeten standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Fakat orta alandan sonra 500 lx'ten başlayarak azalan isoline eğrisini 300 lx takip etmektedir. Bu sebeple orta alanda bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç vardır diyebiliriz (Tablo 11).

Tablo 11. Gün Işığına Bağlı GG2 Senaryo Sonuçları

KOD	Güney Yönlü Senaryolar İçin İsoline Haritaları		
	Güney Cephesi Gün Işığı Faktörü Sonuçları		
	Tarih	Saat	Isoline Haritaları
GG2	21.06.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **23.09.2024 tarihi için Güney yönü gün ışığı faktörünün (GG3) etkisi incelendiğinde (Tablo 12):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında pencere kenarında 2000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilebilir. Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 2000-2500 lx değerleri de görülmektedir. Bu

alanlarda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bu cephede de bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 500 lx ve 1000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz (Tablo 12).

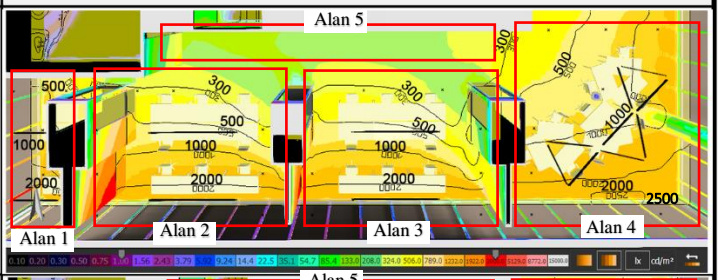
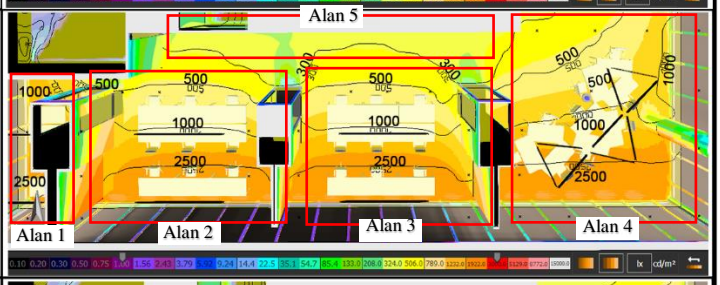
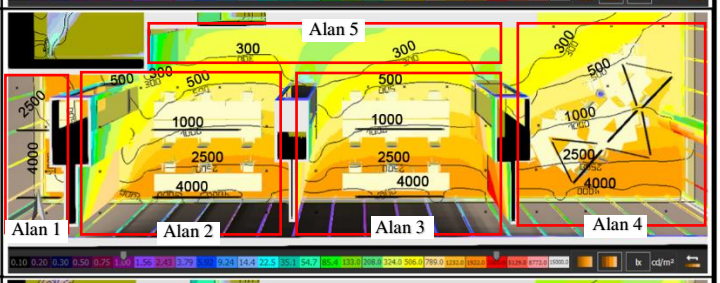
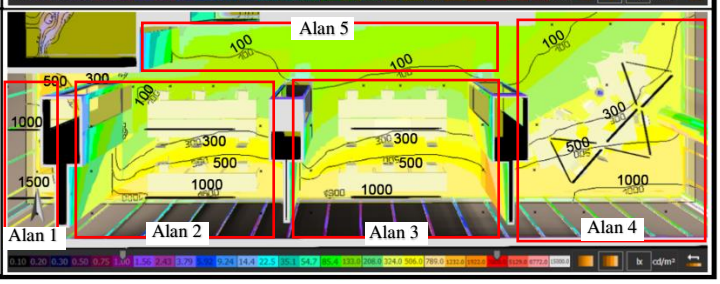
Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 1000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Fakat Alan 5 arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerini görmekteyiz. Bu değer arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 12).

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx ve 4000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple gölgeleme elemanı kullanımı önerilmelidir. Alan 1 bütününde aydınlık düzeyi 2500 lx'ün altına düşmemektedir. Dolayısıyla, bu saatlerde Alan 1'de gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 1000 lx değerini görmekteyiz. Ancak bu saat için alanların bütününe bakıldığında 1000 lx yalnızca alanların arka kısımlarında elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu saatte Alan 2, Alan 3 ve Alan 4'te de gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Fakat Alan 5 arşiv ve kopyalama alanında 300 lx ve 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 12).

Saat 18:00 için, Alan 1'de pencere kenarında 1000 lx ve 1500 lx değerleri görülmektedir. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Bu saatlerde gün ışığından kontrollü faydalanmak daha uygun

olacaktır. Bu nedenle, gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 1000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer nispeten standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Orta alana ilerlediğimizde 300 lx ve 500 lx değerlerini görmekteyiz. Orta alanda Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı bir yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç vardır diyebiliriz (Tablo 12).

Tablo 12. Gün Işığına Bağlı GG3 Senaryo Sonuçları

KOD	Güney Yönlü Senaryolar İçin İsoline Haritaları		
	Güney Cephesi Gün Işığı Faktörü Sonuçları		
	Tarih	Saat	Isoline Haritaları
GG3	23.09.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **21.12.2024 tarihi için Güney yönü gün ışığı faktörünün (GG4) etkisi incelendiğinde (Tablo 13):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında pencere kenarında 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Bu alanda çalışan personellerin görsel konforu sağlanacaktır diyebiliriz. Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 750 lx değeri de görülmektedir. Bu değer de standartlara uyumlu bir değerdir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 250 lx ve 300 lx değerlerini görmekteyiz. Bu nedenle bu alanda yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç olabilir diyebiliriz. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda da yardımcı yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç vardır (Tablo 13).

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 3000 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 1000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Ancak, bu saat için alanların bütününe bakıldığında 1000 lx yalnızca alanların arka kısımlarında elde edilebilmektedir. Bu nedenle bu saatte Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4'te de gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Fakat Alan 5 arşiv ve kopyalama alanında 300 lx ve 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değerler de arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 13).

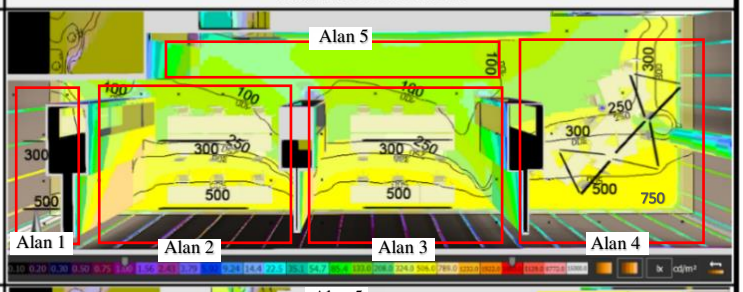
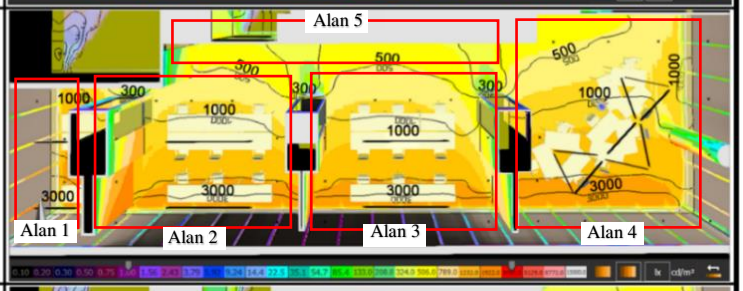
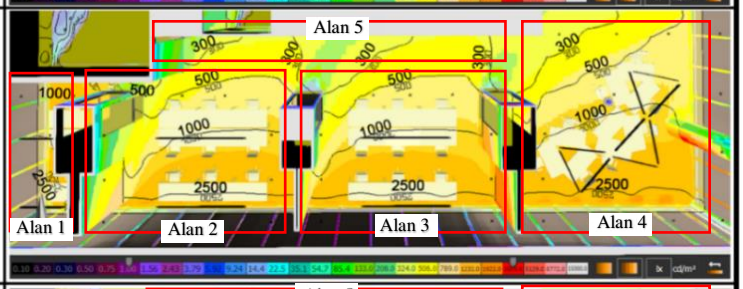
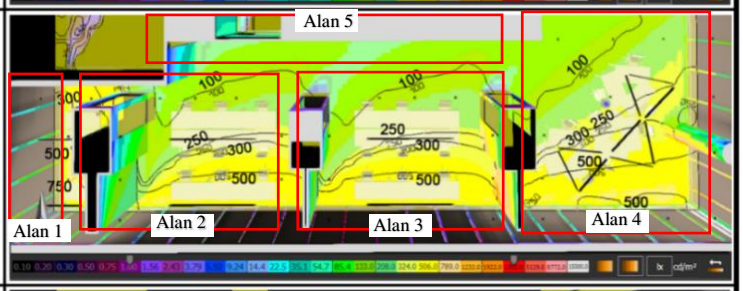
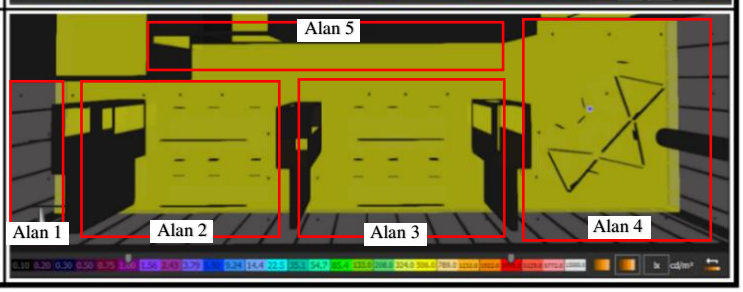
Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 1000 lx değerini görmekteyiz. Saat 12:00'ye göre daha geniş bir alana yayılmış olsa da çoğunlukla alanların arka tarafında konfor sağlanmaktadır. Dolayısıyla, bu saatte de bir gölgeleme elemanı kullanımı faydalı olacaktır. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Fakat Alan 5 arşiv ve kopyalama alanında 300 lx ve 500 lx

değerlerini görmekteyiz. Bu değerler de arşiv ve kopyalama alanı için (Tablo 5) standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 13).

Saat 17:00 için, Alan 1'de pencere kenarında 750 lx ve 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer standartlara uyumlu bir değerdir (Tablo 5). Dolayısıyla herhangi bir gölgeleme elemanı kullanılmayabilir. Ancak Alan 2, Alan 3, Alan 4'te orta alanlara doğru aydınlık düzeyi 250-300 lx değerlerini göstermektedir. Dolayısıyla, bu saatte bu alanlarda yapay aydınlatmadan faydalanılmalıdır. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda yardımcı yapay aydınlatma elemanına ihtiyaç vardır diyebiliriz (Tablo 13).

Saat 18:00 için, gün ışığı yetersiz kalmıştır. Bu sebeple açık ofis içerisinde isoline haritası oluşmamıştır. Alan içerisindeki aydınlık düzeyi 0 lx değerindedir. Bu durumda 21 Aralık tarihinde saat 18:00 için, ofis içerisinde optimum yapay aydınlatma tasarımına ihtiyaç vardır diyebiliriz (Tablo 13).

Tablo 13. Gün Işığına Bağlı GG4 Senaryo Sonuçları

KOD	Güney Yönlü Senaryolar İçin İsoline Haritaları		
	Güney Cephesi Gün Işığı Faktörü Sonuçları		
	Tarih	Saat	Isoline Haritaları
GG4	21.12.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		17:00	
		18:00	

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.4.3. Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryo Sonuçları

Örnek açık ofis projesinde iç mekândaki yapay aydınlatmaların etkisinin ölçülebilmesi için çeşitli senaryolar oluşturularak simülasyonlar yapılmıştır.

Gün ışığının yokluğunda, yapay aydınlatma ile optimal aydınlatmanın sağlanabileceği bir tasarım oluşturabilmek amacıyla, bu senaryolarda gün ışığı ihmal edilmiştir. Yalnızca yapay aydınlatma armatürleri simülasyona dahil edilmiştir.

Işığın düzgün yayılmışlığı (U0) değeri göz ardı edilmiştir. Çünkü açık ofis içerisinde farklı fonksiyonlar (çalışma ve arşiv-kopyalama) olduğu, kullanıcıların aydınlık düzeyi ihtiyacı değişiklik gösterdiği ve iç mekân içerisinde aydınlatma armatürleri homojen olarak dağılmadığı için U0 değeri hiçbir simülasyonda optimum değere ulaşamamıştır.

Yapay aydınlatma senaryoları bölüm 4.3.2'de açıklandığı gibidir. Senaryo sonuçları Tablo 14'te görülmektedir.

Tablo 14'teki değerler açık ofis mahalinin tamamı için ortalama aydınlık düzeyi sonuçlarını göstermektedir. Dialux düzleminde simülasyon sonrasında ışık çevreleri oluşmaktadır. Bu ışık çevreleri plan üzerinde isoline çizgileri ile görülmektedir. Bu çizgiler o alana düşen ışık miktarı üzerinden belli sayısal veriler oluşturmaktadır. Bu ışık miktarları Dialux'un belirlemiş olduğu renk skalası üzerinden de tanımlanabilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre iyileştirme senaryoları oluşturulmuştur. Yapay aydınlatmadan doğan ışık çevresini simüle ederken projede Litpa firmasının aydınlatma armatürleri kullanılmıştır.

Tablo 14. Yapay Aydınlatma Seçimine Bağlı Senaryoların Aydınlık Düzeyi Sonuçları

Yapay Aydınlatmaya Bağlı Senaryolar ve Tanımları		
KOD	**Senaryo İçeriği**	**Aydınlık Düzeyi (lx)**
Y0	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	283 lx
Y1	19 adet lineer **(LED) - 2800 lm 30 W** 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	307 lx
Y2	19 adet lineer **(LED) - 3360 lm 36 W** 36 adet spot (LED) - 1521 lm 14 W	340 lx
Y3	19 adet lineer **(LED) - 4200 lm 45 W** 36 adet spot **(LED)** - 1521 lm 14 W	390 lx
Y4	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **1200 lm 14 W**	254 lx
Y5	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **1700 lm 20 W**	300 lx
Y6	19 adet lineer (kompakt flüoresan) - 2400 lm 42 W 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	347 lx
Y7	19 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	453 lx
Y8	10 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 9 adet lineer (LED) - **3360 lm 36 W** (9'lu çalışma birimi) 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	428 lx
Y9	10 adet lineer (LED) - **4200 lm 45 W** 9 adet lineer (LED) - **2800 lm 30 W** (9'lu çalışma birimi) 36 adet spot (LED) - **2200 lm 27 W**	411 lx

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Y1, Y2, Y3 senaryolarında spot armatür mevcut armatür ile aynı ve sabit tutulup, yalnızca lineer aydınlatma armatürleri değiştirilmiştir. Y4, Y5, Y6 senaryolarında lineer aydınlatma armatürü mevcut armatür ile aynı ve sabit tutulup yalnızca spot armatürler değiştirilmiştir. Daha sonra aydınlık düzeyi açısından her iki gruptaki en verimli senaryolar belirlenmiş ve sonucunda Y7 senaryosu Y3 ve Y6'nın kombine edilmesiyle oluşturulmuştur. Daha sonra, bu kombinasyon ile Alan 4'teki aydınlık düzeyi sonuçlarının optimum değerde olmadığı tespit edilmiş ve Alan 4 özelinde farklılaşmalar yapılarak Y8 ve sonra da Y9 senaryoları oluşturulmuştur.

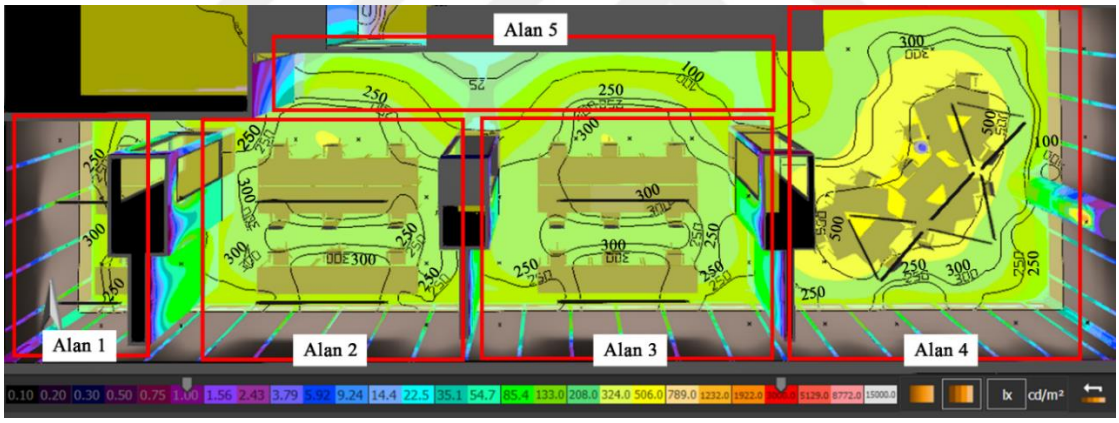
Şekil 32 kapsamında;

19 adet Lineer (kompakt floresan) - 2400 lm 42 W

36 Adet Spot (LED) - 1521 lm 14 W

Sonuç: 283 lx < 500 lx (Şekil 32)

Aydınlatma firmasının oluşturmuş olduğu aydınlatma tasarımında lineer armatürler kompakt floresan seçilmiştir. LED'ler, kompakt floresanlara kıyasla çok daha enerji verimlidir. LED'ler, daha az enerji ile aynı veya daha fazla ışık miktarını sağlar. Araştırmalara göre bu, enerji tüketiminin %75'e kadar daha düşük olduğu anlamına gelir (Demir, Çıracı, Kaya, ve Ünver, 2020). Bu fark, özellikle uzun süreli kullanımlarda önemli enerji tasarrufu sağlar. Y0 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 283 lx'tür. Isoline haritasına baktığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3'te ortalama 250-300 lx değerleri görülürken, Alan 4'te ortalama 300-500 lx, Alan 5'te 100 lx değerleri görülmektedir. Standartlara göre (Tablo 5) Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 ve Alan 5 için elde edilen aydınlık düzeyleri yetersizdir (Şekil 32).



Şekil 32. Y0 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Dolayısıyla ortalama değer yerine isoline haritalarından detaylı incelenince alanlarda iyileştirme yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu alanlarda iyileştirme yapmak ve sonucu optimum değere ulaştırmak için çeşitli senaryolar oluşturmak gerekmektedir. Aydınlatma tasarımını optimum değere yaklaştırırken Litpa firmasının aydınlatma armatürlerinin verilerinden faydalanılmıştır. Öncelikle Lineer armatürlerin lambaları LED olarak değişecek şekilde değişiklik yapılmış ve bunu takip ederek ışık akısı ve güç değerleri belirlenmiştir.

Şekil 33 kapsamında;

19 Adet Lineer (LED) - 2800 lm 30 W - DFR 60/100

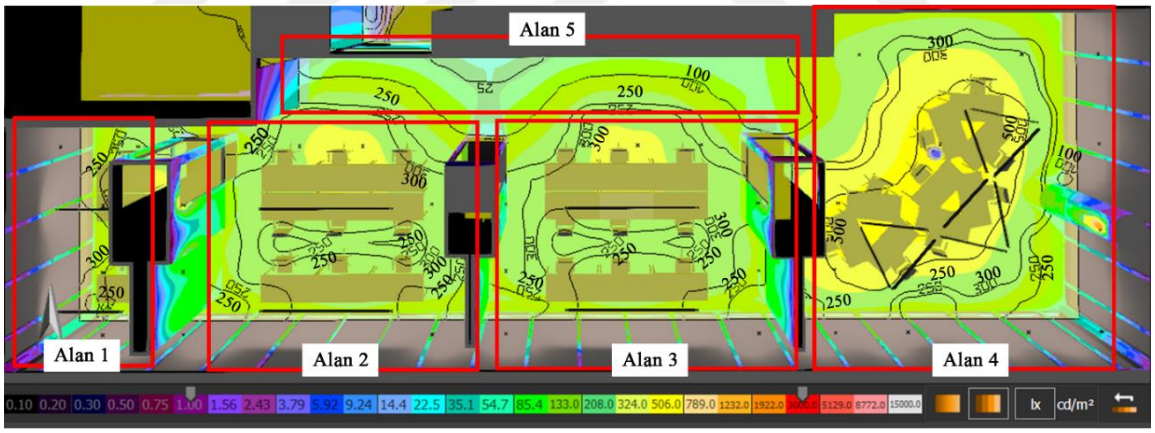
36 Adet Spot (LED) - 1521 lm 14 W - Mevcut spotlar

Sonuç: 307 lx < 500 lx (Şekil 33)

Lineer armatürler LED ile değiştirilerek DFR 60/100 kullanılmıştır.

Bu sayede lineer armatürlerin lx değerlerini iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 33'te görüldüğü gibi Y1 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 307 lx değerindedir. Şekil 33'de yer alan isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 250-300 lx değerleri görülmektedir. Alan 4 için yer yer 500 lx değerleri görülse de bu değerler belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100-250 lx değerleri görülmektedir. Alan 5 ortalarında optimum değer sağlansa da duvar dibindeki 100 lx değeri standartların sağlanmadığını göstermektedir (Şekil 33).



Şekil 33. Y1 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 34 kapsamında;

19 Adet Lineer (LED) - 3360 lm 36 W - DFR 60/120

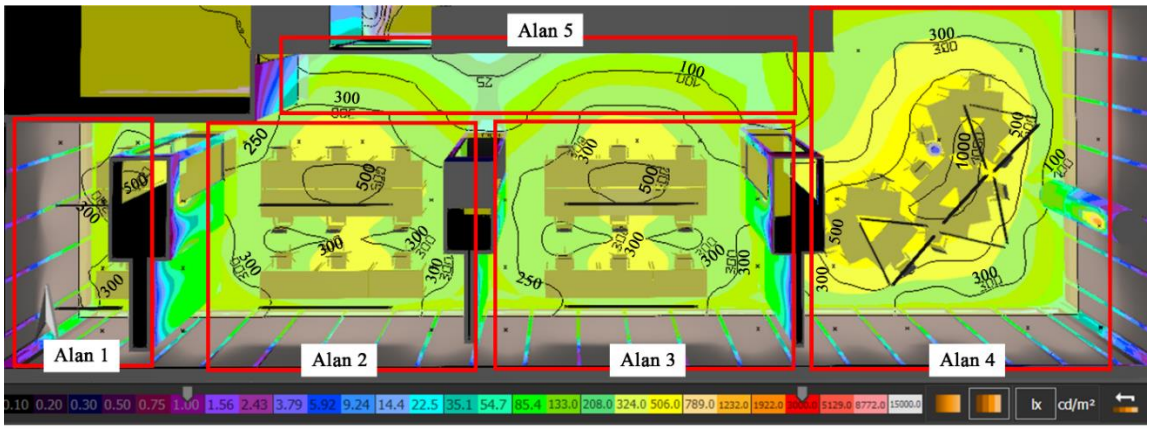
36 Adet Spot (LED) - 1521 lm 14 W - Mevcut spotlar

Sonuç: 340 lx < 500 lx (Şekil 34)

Lineer armatürler LED ile değiştirilerek DFR 60/120 kullanılmıştır.

Bu sayede lineer armatürlerin lx değerlerini iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 34'te görüldüğü gibi Y2 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 340 lx değerindedir. Şekil 34'te isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 300-500 lx değerleri görülmektedir. Standartlardaki optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Alan 4 için yer yer 500-1000 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100 lx değerleri görülmektedir. Bu alan için de aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu söylenebilmektedir (Şekil 34).



Şekil 34. Y2 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 35 kapsamında;

19 Adet Lineer (LED) - 4200 lm 45 W - DFR 60/150

36 Adet Spot (LED) - 1521 lm 14 W - Mevcut spotlar

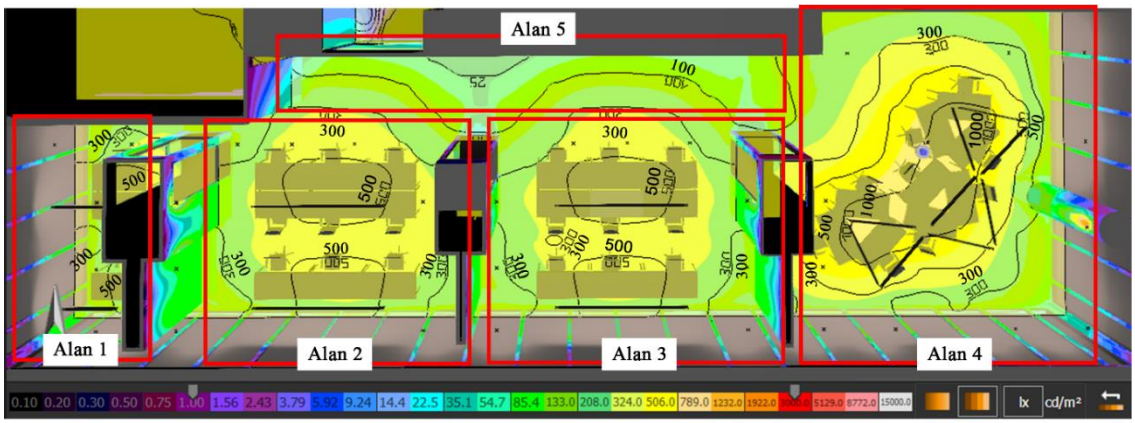
Sonuç: 390 lx < 500 lx (Şekil 35)

Lineer armatürler LED ile değiştirilerek DFR 60/150 kodlu ürün kullanılmıştır.

Bu sayede lineer armatürlerin lx değerlerini iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 35'te görüldüğü gibi Y3 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 390 lx değerindedir (Şekil 35). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 300-500 lx değerleri görülmektedir. Standartlardaki optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Alan 4 için yer yer

500-1000 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100 lx değerleri görülmektedir. Bu alan için de aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu söylenebilmektedir. Bu alanda spot kullanıldığı için sonucu Y1 (Şekil 33) ve Y2 (Şekil 34) ile aynıdır (Şekil 35). Bu senaryo standarda en yakın sonuçları vermiş olsa da Alanlarda lineer ve spot armatürler birlikte kullanıldığı için yalnızca lineer armatürlerin iyileştirilmesi yeterli olmamıştır.



Şekil 35. Y3 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 36 kapsamında;

19 Adet Lineer (kompakt floresan) - 2400 lm 42 W – Mevcut lineerler

36 Adet Spot (LED) - 1200 lm 14 W - MSG200/O/14

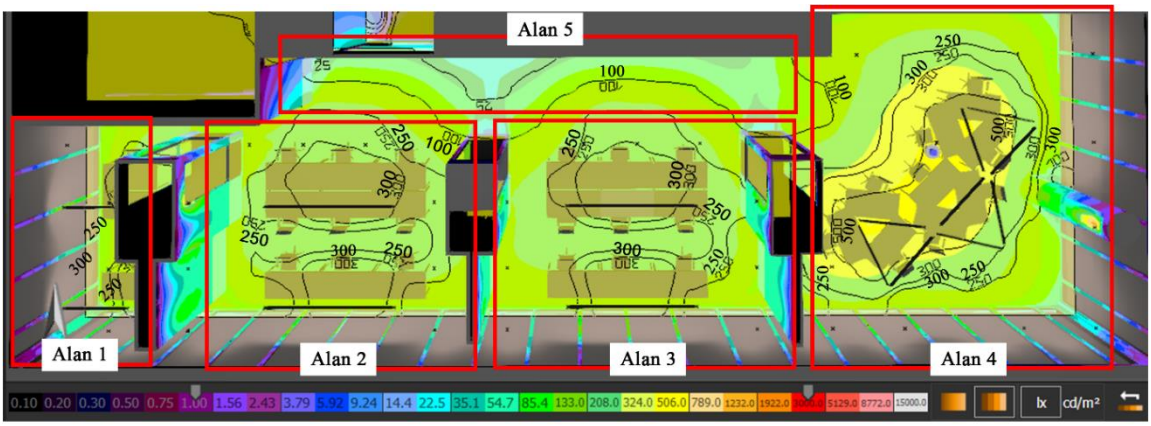
Sonuç: 254 lx < 500 lx (Şekil 36)

Spot armatürler için MSG200/O/14 kullanılmıştır.

Bu sayede spot armatürlerin lx değerlerinin iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 36'da görüldüğü gibi Y4 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 254 lx değerindedir (Şekil 36). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 250-300 lx değerleri görülmektedir. Standartlardaki optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Alan 4 için yer yer 500 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek

mümkündür. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100 lx değerleri görülmektedir. Bu alan için de aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu söylenebilmektedir (Şekil 36).



Şekil 36. Y4 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 37 kapsamında;

19 Adet Lineer (kompakt floresan) - 2400 lm 42 W – Mevcut lineerler

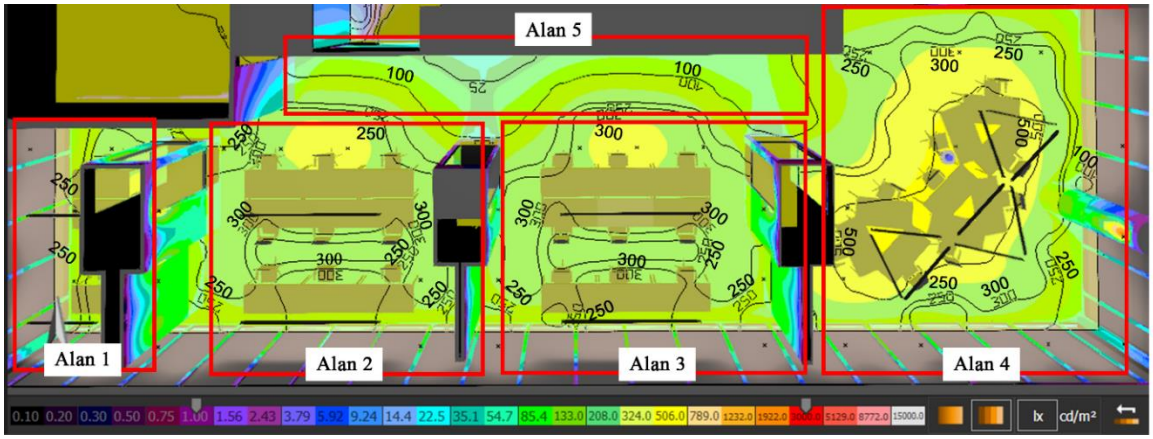
36 Adet Spot (LED) - 1700 lm 20 W - MSG200/O/20

Sonuç: 300 lx < 500 lx (Şekil 37)

Spot armatürler için MSG200/O/20 kodlu ürün kullanılmıştır.

Bu sayede spot armatürlerin lx değerlerinin iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 37'de görüldüğü gibi Y5 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 300 lx değerindedir (Şekil 37). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 250-300 lx değerleri görülmektedir. Standartlardaki optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Alan 4 için yer yer 500 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100 lx değerleri görülmektedir. Bu alan için de aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu söylenebilmektedir (Şekil 37).



Şekil 37. Y5 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 38 kapsamında;

19 Adet Lineer (kompakt floresan) - 2400 lm 42 W – Mevcut lineerler

36 Adet Spot (LED) - - 2200 lm 27 W - MSG200/O/27

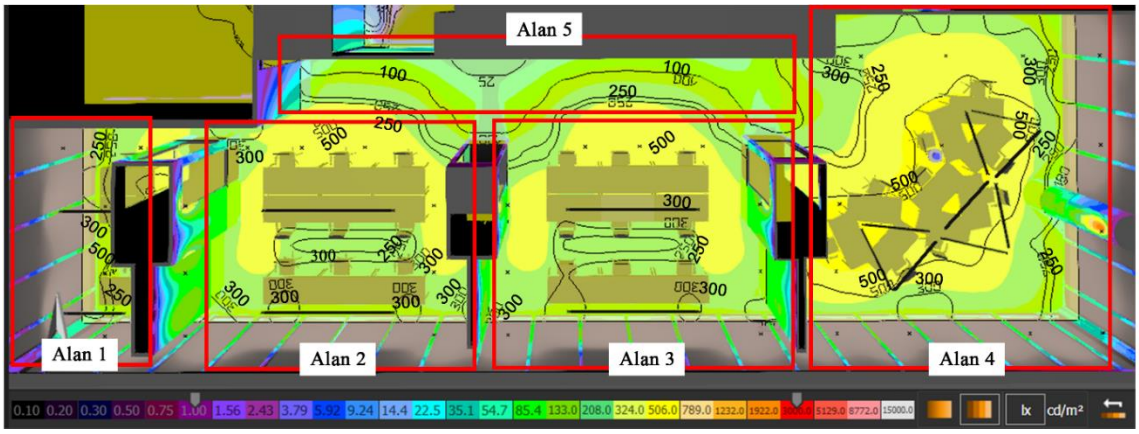
Sonuç: 347 lx < 500 lx (Şekil 38)

Spot armatürler için MSG200/O/27 kodlu ürün kullanılmıştır.

Bu sayede spot armatürlerin lx değerlerini iyileştirmesi test edilmiştir.

Şekil 38'de görüldüğü gibi Y6 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 347 lx değerindedir (Şekil 38). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 250-300-500 lx değerleri görülmektedir. Standartlardaki optimum değerleri sağlamadığı için elde edilen aydınlık düzeyi yetersizdir. Bu alanlarda yer yer 500 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür. Alan 5 arşivleme ve kopyalama alanı için 100-250 lx değerleri görülmektedir. Bu alan için de aydınlık düzeyinin yetersiz olduğu söylenebilmektedir (Şekil 38).

Bu senaryo ile spot armatürler için en iyi iyileştirme seviyesi sağlanabilmiştir. Ancak Alanlarda spot armatürler ile lineer armatürler birlikte kullanıldıkları için, spotların tekil iyileştirilmesi yeterli olamamıştır.



Şekil 38. Y6 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yapay armatürler bazında tekil iyileştirmeler yeterli olmamış, ancak her tipoloji için optimum değerleri veren sonuçlara ulaşılmıştır. Böylece, senaryolarda standarda en yakın lx değerlerini veren senaryo Y3 ve senaryo Y6 kombine edilmiş Y7 senaryosu oluşturulmuştur.

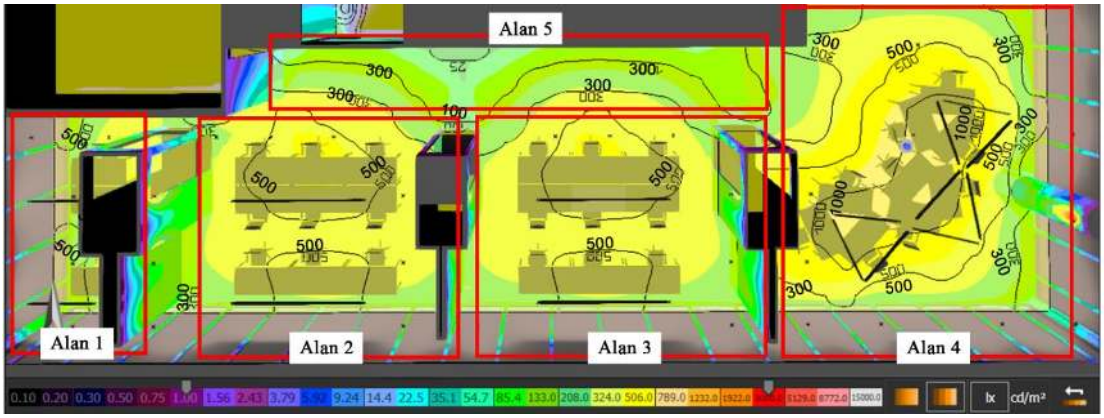
Şekil 39 kapsamında;

19 Adet Lineer (LED) - 4200 lm 45 W - DFR 60/150

36 Adet Spot (LED) - 2200 lm 27 W - MSG200/O/27

Sonuç: 453 lx < 500 lx (Şekil 39)

Şekil 39'da görüldüğü gibi Y7 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 453 lx değerindedir (Şekil 39). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 için 500 lx, Alan 5 için 300 lx değeri görülmektedir. Bu sonuçlar standarttaki optimum değerleri sağlamaktadır. Alan 5'te Y1-Y6 arası senaryolarda yalnızca tek bir aydınlatma armatürü tipi değişince iyileşme olmamıştır. Ancak bu senaryoda her iki armatür tipi de optimum verimde seçilince, daha farklı bir iyileştirme önerisine ihtiyaç olamadan Alan 5'in aydınlık düzeyi standartta arşivleme ve kopyalama için verilen skalaya uygun hale gelmiştir. Alan 4'te yerleşim ve buna bağlı aydınlatma tasarımı farklı olduğu için değerler de diğer alanlardan farklı olmuştur. Alan 4'te 500-1000 lx değerleri görülse de bu değerler homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür (Şekil 39). Bu durumda Alan 4 özelinde bir iyileştirme yapılması gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 39. Y7 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Y7'ye ek olarak Alan 4'teki dokuz adet lineer LED için aydınlatma firmasından aynı aydınlatma armatürünün farklı bir tipi seçilerek, diğer alanlardan farklı ışık akısı (lm) ve güç (W) değerleri girilmiştir. Sonuçta optimum değere ulaşmak amaçlanmıştır.

Şekil 40 kapsamında;

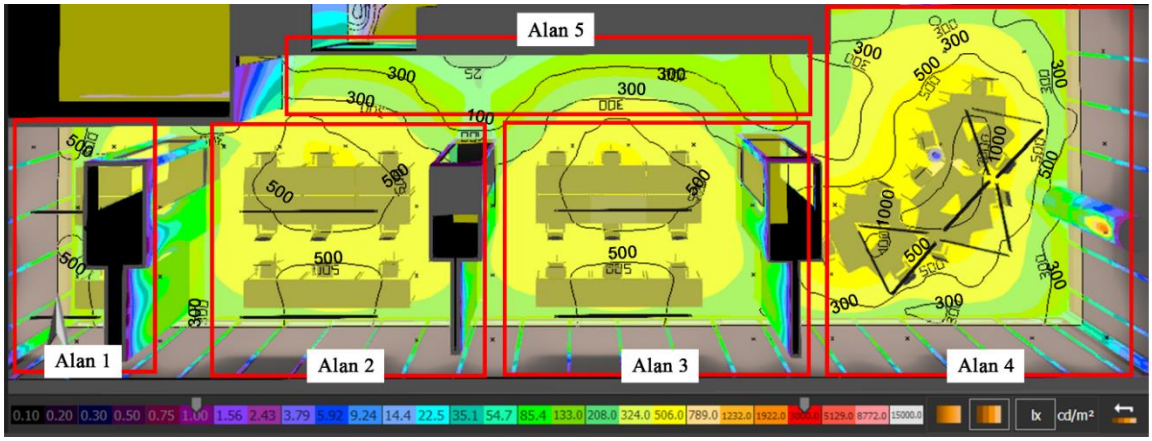
10 Adet Lineer (LED) - 4200 lm 45 W - DFR 60/150

9 Adet Lineer (LED) - 3360 lm 36 W - DFR 60/120 (Alan 4)

36 Adet Spot (LED) - 2200 lm 27 W - MSG200/O/27

Sonuç: 428 lx < 500 lx (Şekil 40)

Şekil 40'da görüldüğü gibi Y8 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 428 lx değerindedir (Şekil 40). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 için 500 lx, Alan 5 için 300 lx değeri görülmektedir. Bu değerler Y7 ile uyumludur. Alan 4 için 500-1000 lx değerleri görülse de bu değerler yine homojen olarak dağılmadığı için belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlamadığını söylemek mümkündür. Bu durumda Alan 4 özelinde yeni bir iyileştirme daha yapılması planlanmıştır. Bu sayede Alan 1, 2, 3, 4 için ayrı ayrı optimal değerlerin sağlanması hedeflenmiştir. Dolayısıyla Y9 senaryosu oluşturulmuş ve Alan 4 için Y8'deki aydınlatma armatürünün farklı bir tipi seçilerek Y8'e göre ışık akısı (lm) ve güç (W) değerleri düşürülmüştür. Bu sayede lx değerlerinin homojen dağılıp dağılmayacağı gözlemlenmiştir.



Şekil 40. Y8 Dialux Simülasyon Düzlemi

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 41 kapsamında;

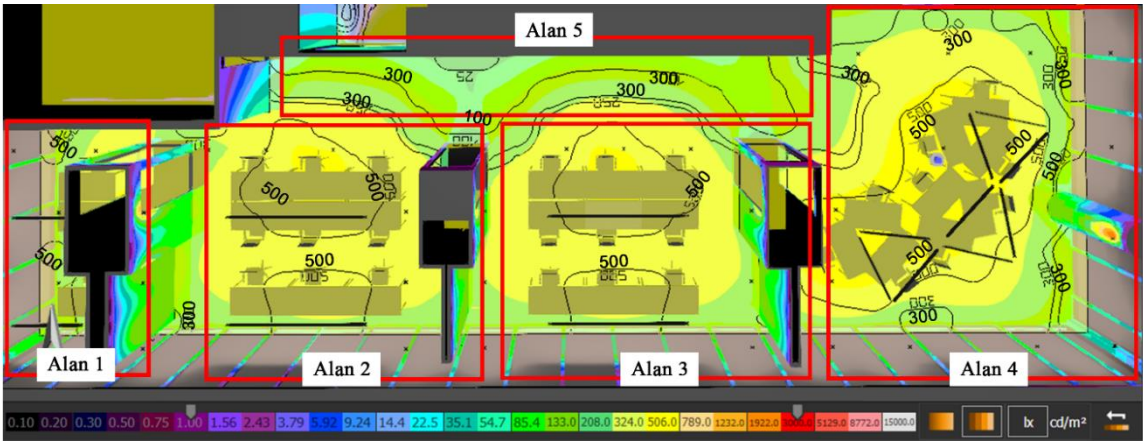
10 Adet Lineer (LED) - 4200 lm 45 W - DFR 60/150

9 Adet Lineer (LED) - 2800 lm 30 W **- DFR 60/100 (Alan 4)**

36 Adet Spot (LED) - 2200 lm 27 W - MSG200/O/27

Sonuç: 411 lx < 500 lx (Şekil 41)

Şekil 41'de görüldüğü gibi Y9 senaryosunun ortalama aydınlık düzeyi sonucu 411 lx değerindedir (Şekil 41). Isoline haritasında inceleme yaptığımızda, Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4 için 500 lx, Alan 5 için 300 lx değerleri görülmektedir. Alan 4 dışındaki değerler Y7 ve Y8 ile de uyumludur. Y9'da Alan 4 için de standarda uygun ve homojen dağılımda aydınlık düzeyi sağlanmıştır. Böylece, belirlenen standartlar skalasında (Tablo 5) optimum değerleri sağlayan optimum yapay aydınlatma tasarımına ulaşılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Y9 Dialux Simülasyon Düzlemi

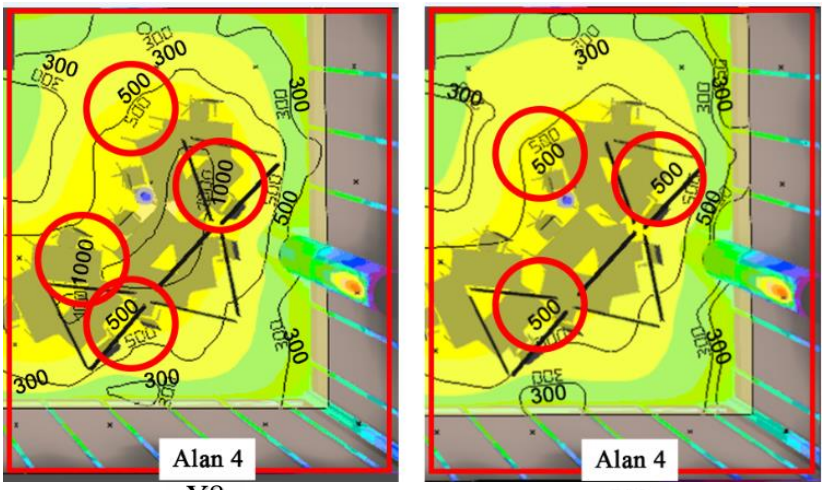
Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 42 kapsamında;

Kombinasyonların sonuçlarından hareketle Alan 4 çalışma birimi incelendiğinde, 3360 lm 36 W'lık sonuçta orta alanda 500-1000 lx değerlerini görüyoruz (Y8). Fakat 2800 lm 30 W'lık değerlerin sonucunda orta alanda 500 lx'lük bir değer görüyoruz (Y9). Bu durum, Senaryo 9'un (Y9) istediğimiz değerleri sağladığını göstermektedir. Ayrıca bu homojen dağılım tüm çalışma düzlemini kapsamaktadır.

Dolayısıyla standardın genel aydınlık düzeyi verisi ile oldukça uyumlu bir sonuç elde edildiğini söylemek mümkündür (Şekil 42).

Tüm alanlarda, personel masalarının olduğu bölgelerde 500 lx değerlerine ve homojen bir dağılıma ulaşılmıştır. Arşivleme ve kopyalama alanlarında 300 lx değeri sağlanmıştır. Senaryo 9 (Y9) için TS EN 12464-1:2021 standartlarıyla uyumlu değerler elde edilmiştir diyebiliriz (Şekil 42).



Y8 Y9

Şekil 42. Alan 4 için Y8 ve Y9 Kıyaslanması

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.4.4. Gün Işığı Faktörü - (Y0) ve (Y9) Entegrasyonu Sonuçları

Gün ışığı faktörünü ve optimum senaryoyu entegre etmenin temel amacı, aydınlatmadan kaynaklı enerji tüketimini azaltırken çalışanların konforunu artırmak ve görsel performansı iyileştirmektir. Bu çalışmada optimum değerlere ulaşılan Y9 Senaryosu (Y9) ve mevcut durum üzerinden mekânın farklı bölümlerindeki doğal ve yapay aydınlatmanın entegrasyonu incelenmiştir. Entegrasyon sürecinde, özellikle gün ışığının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için pencere düzenlemeleri, iç mekânın aydınlatma ihtiyacı ve doğal ışık ile yapay ışık arasındaki denge göz önünde bulundurulmuştur.

Bu entegrasyon sayesinde, açık ofis ortamlarında hem gün ışığının hem de yapay aydınlatmanın optimum bir şekilde birleştirilmesi mümkün olmuştur. Y9 senaryosunun entegrasyonu, yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda görsel performans açısından da önemli bir gelişim sağlar. Böylece bu çalışma doğal ışığın doğru entegrasyonu ile hem kullanıcı memnuniyetinin hem de enerji verimliliğini artırabilmesinin sağlanmasını ortaya koymaktadır.

Tablo 15. Gün Işığı Faktörü ve Yapay Aydınlatma Entegrasyonu

KOD	Batı Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Senaryoları				
	Batı Cephesi Gün Işığı			BG1Y0	BG1Y9
	Tarih	Saat	Aydınlık Düzeyi (lx)	Aydınlık Düzeyi (lx)	Aydınlık Düzeyi (lx)
BG1	21.03.2024	09:00	486 lx	770 lx	898 lx
		12:00	784 lx	1067 lx	1195 lx
		15:00	1375 lx	1659 lx	1786 lx
		18:00	968 lx	1252 lx	1379 lx
				BG2Y0	BG2Y9
BG2	21.06.2024	09:00	626 lx	910 lx	1037 lx
		12:00	750 lx	1033 lx	1161 lx
		15:00	1360 lx	1644 lx	1772 lx
		18:00	1631 lx	1914 lx	2042 lx
				BG3Y0	BG3Y9
BG3	23.09.2024	09:00	521 lx	804 lx	932 lx
		12:00	811 lx	1094 lx	1222 lx
		15:00	1427 lx	1711 lx	1839 lx
		18:00	758 lx	1042 lx	1170 lx
				BG4Y0	BG4Y9
BG4	21.12.2024	09:00	175 lx	459 lx	586 lx
		12:00	714 lx	997 lx	1125 lx
		15:00	951 lx	1235 lx	1363 lx
		17:00	368 lx	651 lx	779 lx
		18:00	0.00 lx	284 lx	411 lx

KOD	Güney Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Senaryoları				
	Güney Cephesi Gün Işığı			GG1Y0	GG1Y9
	Tarih	Saat	Aydınlık Düzeyi (lx)	Aydınlık Düzeyi (lx)	Aydınlık Düzeyi (lx)
GG1	21.03.2024	09:00	876 lx	1159 lx	1287 lx
		12:00	1611 lx	1895 lx	2023 lx
		15:00	1563 lx	1847 lx	1975 lx
		18:00	566 lx	850 lx	978 lx
				GG2Y0	GG2Y9
GG2	21.06.2024	09:00	929 lx	1213 lx	1341 lx
		12:00	1140 lx	1424 lx	1552 lx
		15:00	1166 lx	1450 lx	1578 lx
		18:00	792 lx	1075 lx	1203 lx
				GG3Y0	GG3Y9
GG3	23.09.2024	09:00	968 lx	1252 lx	1380 lx
		12:00	1648 lx	1932 lx	2060 lx
		15:00	1530lx	1814 lx	1942 lx
		18:00	441 lx	724 lx	852 lx
				GG4Y0	GG4Y9
GG4	21.12.2024	09:00	298 lx	582 lx	710 lx
		12:00	1477 lx	1761 lx	1889 lx
		15:00	1224 lx	1507 lx	1635 lx
		17:00	324 lx	607 lx	735 lx
		18:00	0.00 lx	284 lx	411 lx

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tez kapsamında açık ofis projesinin mevcut yönü olan Batı yönü ve sonradan önerilen Güney yönü, ayrı ayrı olacak şekilde gün ışığı faktörü ile kombine edilmiştir. Her iki kombinasyon incelendiğinde simülasyon sonuçlarına göre, ortalama aydınlık düzeyi sonuçlarının Güney yönlü senaryolarda daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Bu sebeple gün ışığı faktörünün Güney yönlü sonuçlar ile kombinasyonu isoline haritaları üzerinden yorumlanmıştır (Tablo 16, Tablo 17, Tablo 18, Tablo 19).

- **21.03.2024 tarihi için Güney yönlü yerleşimde, gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyonunun (GG1Y9) etkisi incelendiğinde (Tablo 16):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) pencere kenarında 2000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 2500 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Bununla birlikte, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında orta alana ilerlediğimizde 500 lx değerini görmekteyiz. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 1000 lx değerine yükselmiştir. Bu bölüm için yapay aydınlatma senaryosunda kişiye göre dimmer sistemi önerilebilir. Aslında bu değer standardın çalışma alanı için önerdiği skala ile uyumludur (Tablo 5). Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sistemden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Ancak aynı saat için pencere kenarındaki mahalleri rahatlatmak amacıyla, gölgeleme elemanı kullanılacak ise orta alandaki yapay aydınlatma sistemi dimmer sistemi yapılmadan da kullanılabilecektir. Gün ışığı faktörü kapsamında (Tablo 10) Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, çalışma düzleminde 1000 lx değeri daha yoğun görülmektedir. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 2500 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda gölgeleme elemanı önerilebilir. Ofisin iç kısımlarına doğru yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur.

Bu alanda GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 300-500 lx değer aralığındadır. Bu sebeple bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya gölgeleme elemanı kullanımına göre yapay aydınlatma armatürleri olduğu gibi kullanılabilir.

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına oldukça yüksek bir değerdir. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 5000 lx değerine yükselmiştir. Bu kısımda gölgeleme elemanı kullanımı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif de edilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) 1000 lx değeri GG1Y9 entegrasyonunda 1000-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilmelidir. Aynı saatte, pencere kenarındaki çalışma alanları için gölgeleme elemanından yararlanıldı ise, yine gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak yapay aydınlatma sistemi olduğu gibi veya dimmer sistemi aktif edilerek de kullanılabilir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında gün ışığı miktarı 300 lx değerindedir (Tablo 10). GG1Y9 entegrasyonunda bu değer 300-500 lx değer skalası arasındadır. Bu sebeple bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya pencere kenarındaki çalışma alanları için gölgeleme elemanından yararlanıldı ise yapay aydınlatma armatürleri olduğu gibi kullanılabilir (Tablo 16).

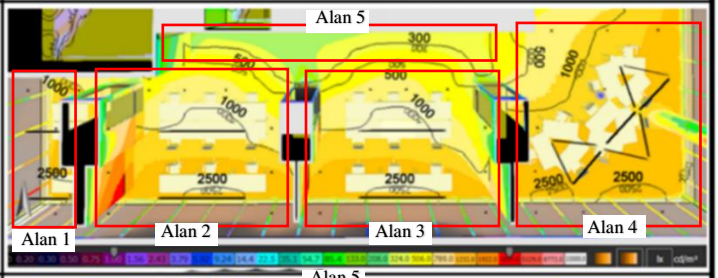
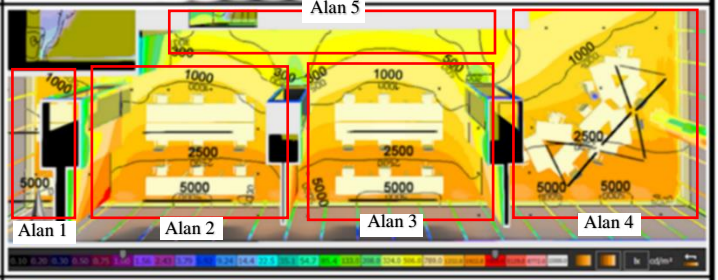
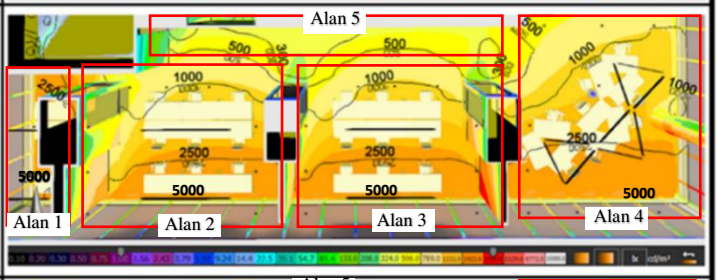
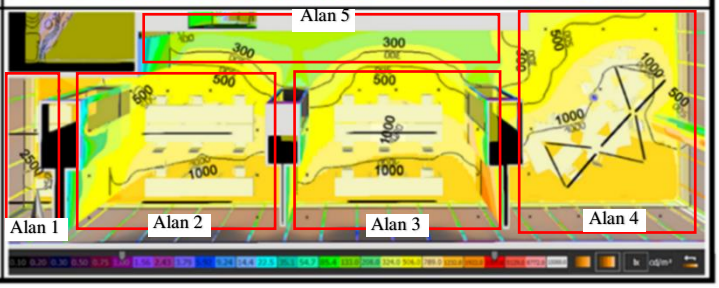
Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) pencere kenarında 2500-4000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer, tek başına oldukça yüksektir. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 2500-5000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilebilir ve buna ek olarak gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri için dimmer sistemi kullanılabilir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde orta alana doğru ilerlediğimizde Alan 1 Batı yönünde olduğu için burada aydınlık düzeyi 2500 lx'ün altında düşmemektedir. GG1Y9 entegrasyonunda Alan 1 kapsamında da aydınlık düzeyi 2500 lx'ün altında düşmemektedir. Bu sebeple Alan 1 özelinde gölgeleme

elemanı kullanılmalıdır. Diğer alanlarda, ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) 1000 lx değerini görmekteyiz. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 1000-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Gün ışığı miktarı standartlar için yeterli olduğundan bu bölümde yapay aydınlatmalar inaktif edilmelidir. Ancak, aynı saatte pencere kenarlarında gölgeleme elemanı kullanılmış ise bu kısımdaki aydınlatma armatürleri için gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak dimmer sistemi önerilebilir. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) ofisin iç kısımlarına doğru 500 lx değerinden başlayarak azalan isoline eğrisinde Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değeri mevcuttur, bu değer standart ile uyumludur. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer 500 lx değeri göstermektedir. Bu sebeple, pencereye yakın mahaller için gölgeleme elemanından faydalanılmadığı varsayılırsa, bu alandaki spot armatürler inaktif edilmelidir. Faydalanıldığı takdirde, değerin 500 lx'ün altına düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Saat 18:00 için, Alan 1 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) pencere kenarında 2000 lx değerini; Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) pencere kenarında 500-1000 lx değerlerini görmekteyiz. GG1Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 16) bu değer Alan 1'de 2500 lx değerine; Alan 2, Alan 3, Alan 4'te 1000 lx değerlerine yükselmiştir. Alan 1'deki değerin sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Bu sebeple o alanda gün ışığı miktarında artış gözlenmiştir ve 2500 lx değeri tüm alana yayılmıştır. Saat 18:00 için Alan 1'deki cepheye gölgeleme elemanı önerilmesi gerekmektedir ve gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilmelidir. Alan 2, Alan 3, Alan 4'te görülen 1000 lx değeri daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sisteminden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Genel olarak standart için uygun bir aralıktadır. Gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 10) orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 300 lx olan değer, GG1Y9 entegrasyonunda 500-1000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu alanda, kişiye göre dimmer sistemi önerilebilir. Ancak, aynı saatte pencere kenarlarında gölgeleme elemanı

kullanılmış ise gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak bu alanlardaki aydınlatma armatürleri olduğu gibi bırakılabilir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx olan değer, GG1Y9 entegrasyonunda 300 lx değerine ulaşmıştır. Yapay aydınlatma entegrasyonu sayesinde bu alandaki değer standartlarla uyumludur (Tablo 5).

Tablo 16. GG1Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları

KOD	Güney Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Isoline Haritaları		
	Tarih	Saat	GG1Y9 Entegrasyonu Aydınlık Düzeyi (lx)
GG1 Y9	21.03.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **21.06.2024 tarihi için Güney yönlü yerleşimde, gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyonunun (GG2Y9) etkisi incelendiğinde (Tablo 17):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) pencere kenarında 1000-2000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer, tek başına oldukça yüksektir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 2500 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Bununla birlikte, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 2500 lx değeri de görülmektedir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 3000 lx değerine kadar yükselmiştir. Bu alanlarda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 500 lx değerini görmekteyiz. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 1000 lx değerine yükselmiştir. Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sisteminden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Ancak aynı saat için pencere kenarındaki mahalleri rahatlatmak amacıyla gölgeleme elemanı kullanılacak ise yapay aydınlatma sistemi dimmer sistemi yapılmadan da kullanılabilecektir. Genel olarak standart için uygun bir aralıktadır (Tablo 5). Ofisin iç kısımlarına doğru yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 300-500 lx değer aralığındadır. Bu sebeple aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya pencere kenarındaki alanlar için gölgeleme elemanı kullanılmış ise ihtiyaca göre arşiv ve kopyalama bölümü için aydınlatma armatürleri aktif şekilde bırakılabilir.

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer, tek başına oldukça yüksektir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 4000 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda çalışan personeller için

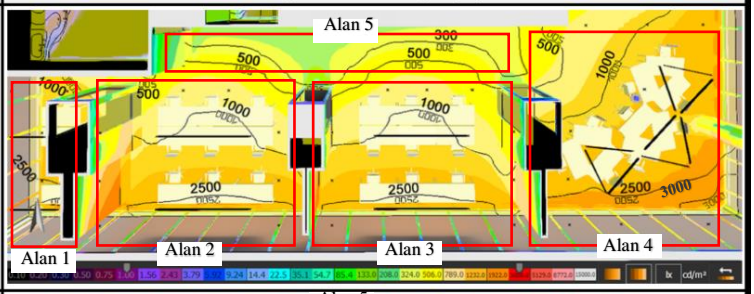
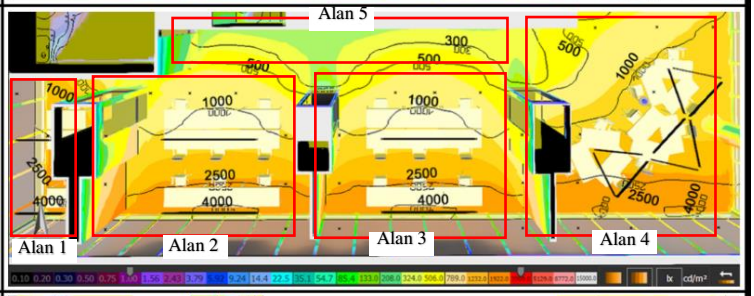
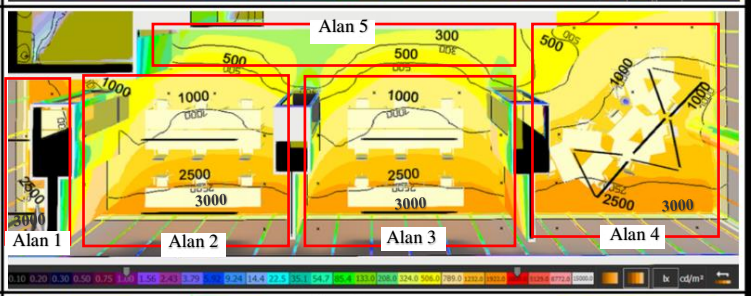
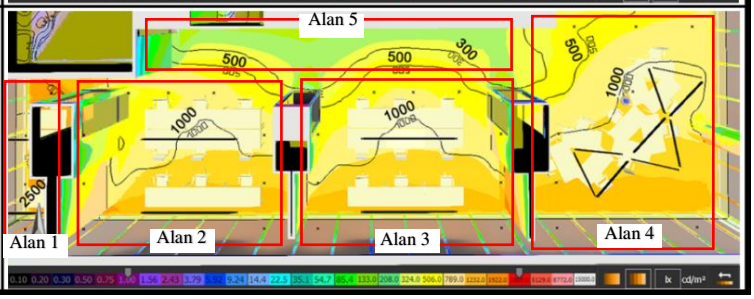
kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Bununla birlikte, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) 500-1000 lx değeri, GG2Y9 entegrasyonunda 1000-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilmelidir. Ancak pencere kenarı alan için gölgeleme elemanı kullanılmış ise, orta alandaki aydınlatma armatürleri dimmer sistemi ile kullanılabilir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında gün ışığı miktarı 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisine sahiptir. GG2Y9 entegrasyonunda bu değer 300-500 lx değer skalası arasındadır. Aynı saatte pencere kenarlarında gölgeleme elemanı kullanılmış ise gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak bu alanlardaki aydınlatma armatürleri olduğu gibi bırakılabilir (Tablo 11).

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer, tek başına oldukça yüksektir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 2500-3000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Bununla birlikte, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya dimmer sistemi uygulanabilir. Gün ışığı faktörü incelendiğinde orta alana ilerlediğimizde Alan 1 Batı yönünde olduğu için burada aydınlık düzeyi 2000 lx'ün altına düşmemektedir (Tablo 11). GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 2500 lx değerlerine yükselmiştir. Bu sebeple Alan 1 özelinde gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Diğer alanlarda, ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) 500-1000 lx değerlerini görmekteyiz. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu alanda çoğunlukla 1000 lx değerleri görülmektedir. Gün ışığı miktarı standartlar için yeterli olduğundan bu bölümde yapay aydınlatmalar inaktif edilmelidir. Ancak, aynı saatte gölgeleme elemanı kullanılmış ise bu kısımdaki aydınlatma armatürlerinden gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak faydalanılabilir veya dimmer sistemi önerilebilir. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Yalnızca gün ışığı faktörü

incelendiğinde (Tablo 11) ofisin iç kısımlarına doğru Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değeri görülmektedir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu alanda 300-500 lx değerleri görülmektedir. Bu sebeple, pencereye yakın mahaller için gölgeleme elemanından faydalanılmadığı varsayılırsa, bu alandaki spot armatürler inaktif edilmelidir. Faydalanıldığı takdirde, Alan 5'teki değerin 500 lx'ün altına düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Saat 18:00 için, yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) Alan 1'de 2500 lx değerini görmekteyiz. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. Bu sebeple o alanda gün ışığı miktarında artış gözlenmiştir. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 2500 lx değerinden başlayarak artan izoline eğrisine sahiptir. Saat 18:00 için Alan 1'de gölgeleme elemanı kullanımının bu saatlerde de devam ediyor olması önerilmelidir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) pencere kenarında 1000 lx değerlerini görmekteyiz. GG2Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 17) bu değer 1000 lx'ün üzerindedir. Bu sebeple dimmer sistemi önerilmelidir. Gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 11) orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında 300-500 lx olan değer, GG2Y9 entegrasyonunda 1000 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda kişiye göre dimmer sistemi önerilebilir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanına doğru ilerlediğimizde 100 lx olan değer, GG2Y9 entegrasyonunda 300-500 lx değerlerine ulaşmıştır. Yapay aydınlatma entegrasyonu sayesinde bu alandaki değer standartlarla uyumludur (Tablo 5).

Tablo 17. GG2Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları

KOD	Güney Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Isoline Haritaları		
	Tarih	Saat	GG2Y9 Entegrasyonu Aydınlık Düzeyi (lx)
GG2 Y9	21.06.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **21.09.2024 tarihi için Güney yönlü yerleşimde, gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyonunun (GG3Y9) etkisi incelendiğinde (Tablo 18):**

Saat 09:00 için Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) pencere kenarında 2000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 2500 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 2000-2500 lx değeri görülmektedir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) ise yine bu değerin 2500 lx değerinin altına düşmediğini görmekteyiz. Bu alanlarda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bu cephede de bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, kapsamında 500-1000 lx değerlerini görmekteyiz. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 1000 lx değerine yükselmiştir. Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sistemden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Ancak aynı saat için pencere kenarındaki mahalleri rahatlatmak amacıyla gölgeleme elemanı kullanılacak ise yapay aydınlatma sistemi dimmer sistemi yapılmadan da kullanılabilecektir. Ofisin iç kısımlarına doğru yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 300-500 lx değer aralığındadır. Bu alanda gün ışığı yetersiz kaldığı için yapay aydınlatma sistemi aktif olarak kullanılmalıdır.

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 5000 lx değerine yükselmiştir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere

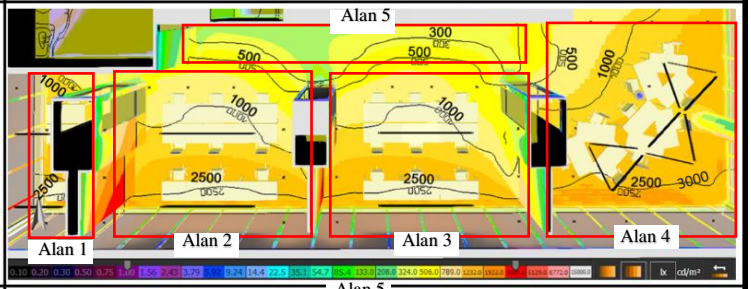
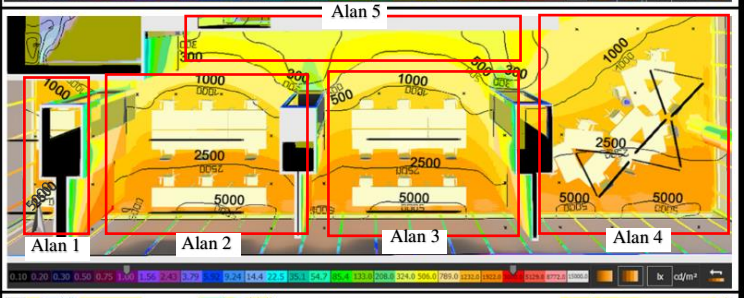
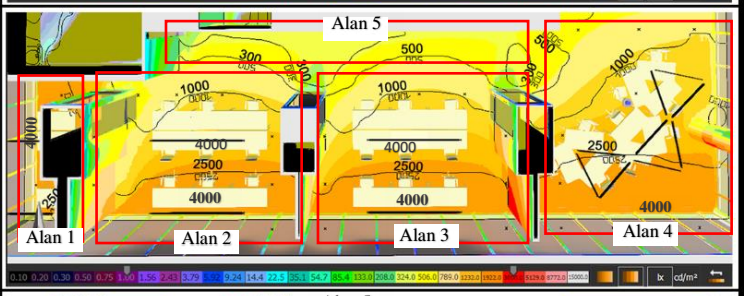
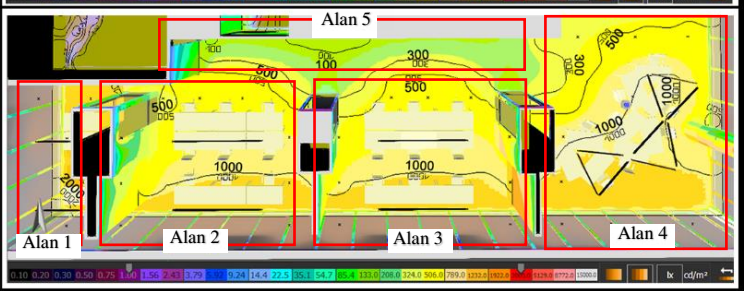
kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) 1000 lx değeri, GG3Y9 entegrasyonunda 1000-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya dimmer sistemi kullanılabilir. Ancak, aynı saatte gölgeleme elemanı kullanılmış ise bu kısımdaki aydınlatma armatürlerinden gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak faydalanılabilir. Gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarı 300 lx değerindedir. GG3Y9 entegrasyonunda bu değer 300-500 lx değer skalası arasındadır. Bu sebeple bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya aynı saatte gölgeleme elemanı kullanılmış olması durumuna göre, ihtiyaca bağlı olarak Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama bölümü için yalnızca spotların kullanılması yeterli olabilir.

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) pencere kenarında 2500-4000 lx değerlerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer yine 2500-4000 lx değerlerindedir. Ancak 4000 lx'lük alanı daha yoğun şekilde görmekteyiz. Bu alanda aydınlık düzeyi artmıştır diyebiliriz. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya dimmer sistemi önerilebilir. Gün ışığı faktöründe ve GG3Y9 entegrasyonunda Alan 1, bütününde aydınlık düzeyinin 2500 lx'ün altına düşmediğini görmekteyiz. Dolayısıyla, bu saatlerde Alan 1'de gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Orta alana ilerlediğimizde Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) 1000 lx değerini görmekteyiz. Ancak bu saat için alanların bütününe bakıldığında 1000 lx yalnızca alanların arka kısımlarında elde edilebilmektedir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 1500-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Gün ışığı miktarı standartlar için yeterli olduğundan bu bölümde yapay aydınlatmalar inaktif edilmelidir. Ancak, aynı saatte gölgeleme elemanı kullanılmış ise bu kısımdaki aydınlatma armatürlerinden gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak faydalanılabilir veya dimmer sistemi önerilebilir. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 12) ofisin iç

kısımlarına doğru Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300-500 lx değerleri görülmektedir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 500 lx'ü göstermektedir. Bu sebeple, pencereye yakın mahaller için gölgeleme elemanından faydalanılmadığı varsayılırsa, bu alandaki spot armatürler inaktif edilmelidir. Faydalanıldığı takdirde, değerin 500 lx'ün altına düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Saat 18:00 için, yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde Alan 1'de (Tablo 12) pencere kenarında 1000 lx ve 1500 lx değerleri görülmektedir. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 2000 lx değerindedir. Bu saatlerde gün ışığından kontrollü faydalanmak daha uygun olacaktır. Bu nedenle, gölgeleme elemanı kullanılmalıdır. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında pencere kenarında 1000 lux değerini görmekteyiz. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 1000 lx'ün üzerindedir. Bu sebeple, bu alandaki yapay aydınlatma armatürleri için dimmer sistemi önerilebilir. Armatürlerde bu sistem uygulanamıyorsa, bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında gün ışığı faktörü incelendiğinde orta alanda 300-500 lx değerlerini görmekteyiz. GG3Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 18) bu değer 500-1000 lx değerlerine yükselmiştir. Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sistemden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanına doğru ilerlediğimizde 100 lx olan değer, GG3Y9 entegrasyonunda 300 lx değerine ulaşmıştır. Yapay aydınlatma entegrasyonu sayesinde bu alandaki değer standartlarla uyumludur (Tablo 5).

Tablo 18. GG3Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları

KOD	Güney Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Isoline Haritaları		
	Tarih	Saat	GG3Y9 Entegrasyonu Aydınlık Düzeyi (lx)
GG3 Y9	23.09.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		18:00	

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **21.12.2024 tarihi için Güney yönlü yerleşimde, gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyonunun (GG4Y9) etkisi incelendiğinde (Tablo 19):**

Saat 09:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) pencere kenarında 500 lx değerini görmekteyiz. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 1000 lx değerine yükselmiştir. Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sisteminden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Genel olarak standart için uygun bir aralıktadır (Tablo 5). Gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) Alan 4 Doğu yönünde olduğu için, bu alanda pencere kenarında 750 lx değeri de görülmektedir. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) ise yine bu değerin 1000 lx değerin altına düşmediğini görmekteyiz. Bu değer standartlarla uyumludur (Tablo 5). Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) orta alana ilerlediğimizde 250-300 lx değerlerini görmekteyiz. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 500-1000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu bölüm için de yapay aydınlatma senaryosunda kişiye göre dimmer sistemi önerilebilir. Bu değerler standartlar skalasına uyumludur (Tablo 5). Ofisin iç kısımlarına doğru yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 100 lx değerinden başlayarak azalan bir isoline eğrisi mevcuttur. Bu alanda GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 300 lx değerindedir. Yapay aydınlatma entegrasyonu sayesinde bu alandaki değer standartlarla uyumludur (Tablo 5).

Saat 12:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) pencere kenarında 3000 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer yine 3000 lx değerindedir. Ancak GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde 3000 lx'lük alanı daha yoğun şekilde görmekteyiz. Bu alanda aydınlık düzeyi artmıştır diyebiliriz. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) 1000 lx değeri, GG4Y9

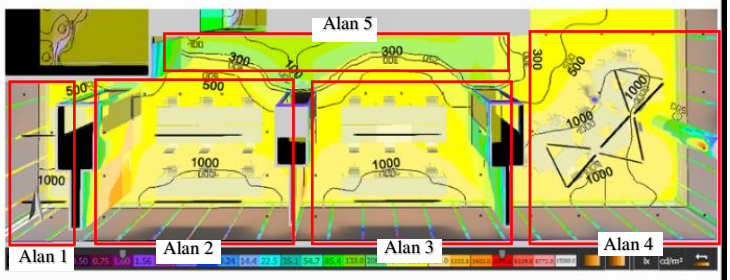
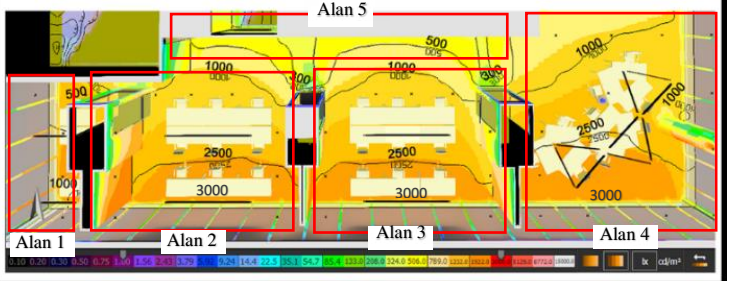
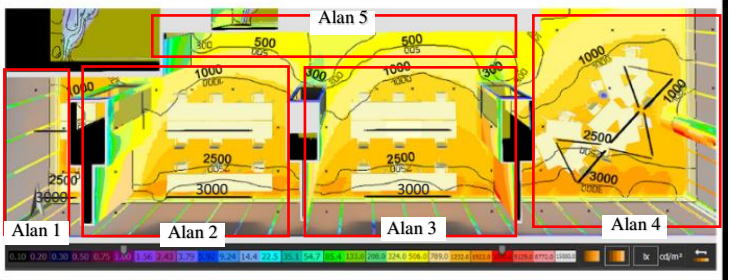
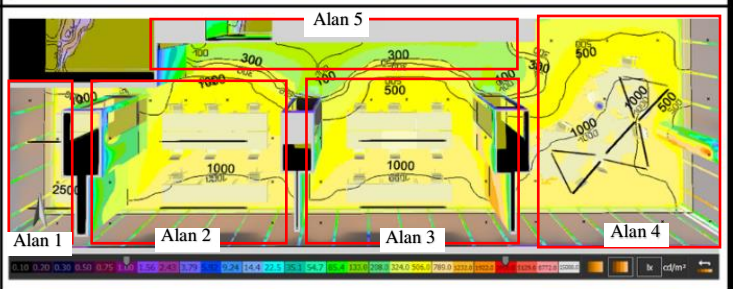
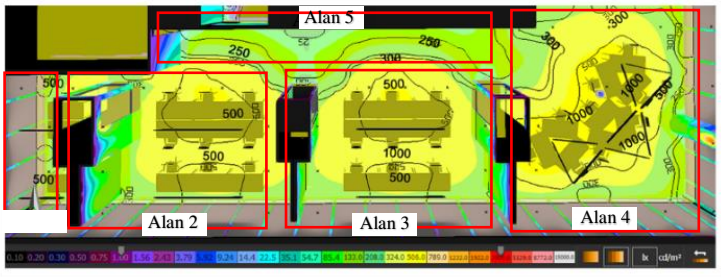
entegrasyonunda 1000-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu alanda yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir veya dimmer sistemi önerilebilir. Ancak, aynı saatte pencereye yakın alan için gölgeleme elemanı kullanılmış ise, elemanın gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak yapay aydınlatmadan faydalanılmalıdır. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında gün ışığı miktarı 300-500 lx değerlerindedir. Bu alanda GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 500 lx değerindedir. Bu sebeple, pencereye yakın mahaller için gölgeleme elemanından faydalanılmadığı varsayılırsa, bu alandaki spot armatürler inaktif edilmelidir. Faydalanıldığı takdirde, değerin 500 lx'ün altına düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Saat 15:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) pencere kenarında 2500 lx değerini görmekteyiz. Bu değer tek başına da oldukça yüksektir. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 2500-3000 lx değerlerine yükselmiştir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre pencere kenarındaki aydınlatma armatürleri inaktif edilebilir. Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) 1000 lx değerini görmekteyiz. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 1500-2000 lx değerlerine yükselmiştir. Gün ışığı miktarı standartlar için yeterli olduğundan bu bölümde yapay aydınlatmalar inaktif edilmelidir. Ancak, aynı saatte pencereye yakın alan için gölgeleme elemanı kullanılmış ise, elemanın gün ışığı geçirgenlik miktarına bağlı olarak yapay aydınlatmadan faydalanılmalıdır. Bu durumda dimmer sisteminden de faydalanılabilir. Ofisin iç kısımlarına doğru gün ışığı miktarında azalma görülmektedir. Yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) ofisin iç kısımlarına doğru Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanında 300-500 lx değerleri görülmektedir. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 500 lx'ü göstermektedir. Bu sebeple, pencereye yakın mahaller için gölgeleme elemanından faydalanılmadığı varsayılırsa, bu alandaki spot armatürler inaktif edilmelidir. Faydalanıldığı takdirde, değerin 500 lx'ün altına düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Saat 17:00 için, Alan 1'de yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) pencere kenarında 750 lx ve 500 lx değerlerini görmekteyiz. Bunun sebebi güneş batarken gün ışığı yatay olarak Batı cephesine denk gelmektedir. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 2500 lx değerindedir. Bu alanda çalışan personeller için kamaşma sorunu söz konusu olabilir. Bu sebeple bir gölgeleme elemanı önerilmelidir. Buna ek olarak, gölgeleme elemanının gün ışığı geçirgenlik miktarına göre dimmer sistemi önerilebilir. Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) pencere kenarında 500 lx değerini görmekteyiz. GG4Y9 entegrasyonu incelendiğinde (Tablo 19) bu değer 1000 lx değerindedir. Ancak, 1000 lx daha özellikli durumlar için geçerli olduğundan, dimmer sisteminden faydalanılması daha pozitif bir sonuç verecektir. Genel olarak standart için uygun bir aralıktadır (Tablo 5). Orta alana ilerlediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 15) 250-300 lx olan değer, GG4Y9 entegrasyonunda 1000 lx değerine yükselmiştir. Bu alandaki değer standartlarla uyumludur. Yer yer kişiye göre dimmer sistemi önerilebilir. Ancak, aynı saatte gölgeleme elemanından da faydalanılmış olacağından, yapay aydınlatma olduğu gibi de kullanılabilecektir. Alan 5 kapsamında arşiv ve kopyalama alanına doğru ilerlediğimizde 100 lx olan değer, GG4Y9 entegrasyonunda 300 lx değerine ulaşmıştır. Yapay aydınlatma entegrasyonu sayesinde bu alandaki değer standartlarla uyumludur (Tablo 5).

Saat 18:00 için, Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 kapsamında yalnızca gün ışığı faktörü incelendiğinde (Tablo 13) gün ışığı yetersiz kalmıştır. Bu sebeple açık ofis içerisinde isoline haritası oluşmamıştır. Alan içerisindeki aydınlık düzeyi 0 lx değerindedir. Bu durumda 21 Aralık tarihinde saat 18:00 için, ofis içerisinde tez kapsamında Y9 olarak oluşturulmuş olan optimum yapay aydınlatma senaryosu kullanılmalıdır.

Tablo 19. GG4Y9 Entegrasyonu Isoline Haritaları

KOD	Güney Cephesi Gün Işığı + Yapay Aydınlatma Isoline Haritaları		
	Tarih	Saat	GG4Y9 Aydınlık Düzeyi (lx)
GG4 Y9	21.12.2024	09:00	
		12:00	
		15:00	
		17:00	
		18:00	

Kaynak: Dialux evo 12.0 yazılımında yazar tarafından oluşturulmuştur.

4.5. Senaryo Sonuçlarının Genel Değerlendirmesi

Seçilen açık ofis özelinde gün ışığından etkin bir şekilde faydalanılması, sirkadiyen ritme paralel olarak çalışanların görsel konforunun gözetilmesi amacıyla gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyon senaryoları oluşturulmuş ve bu senaryolar simüle edilerek yorumlanmıştır. Bu çalışma kapsamında gün ışığı, yapay aydınlatma ve her ikisinin entegre edilerek oluşturulan senaryoların simülasyon süreci incelenmiştir. Çalışmanın mevcut yönü olan Batı yönü, Güney yönüne çevrilerek gün ışığından maksimum yararlanma sağlanması amaçlanmıştır.

Öncelikle gün ışığı faktörü için seçilen Güney yönü üzerinden 21 Mart 2024 (GG1), 21 Haziran 2024 (GG2), 23 Eylül 2024 (GG3) ve 21 Aralık 2024 (GG4) olmak üzere 4 adet tarih belirlenmiştir. Bu tarihlerin her biri için 09:00, 12:00, 15:00, 17:00 (Yalnızca 21 Aralık 2024), 18:00 saatleri belirlenmiştir. Bu tarihler ve saatler için yapay aydınlatma armatürleri inaktif edilerek simülasyon çalıştırılmıştır. Elde edilen veriler tablo şeklinde gösterilmiştir. Ancak açık ofis üzerinde çalışma düzlemlerini kapsayan Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4, Alan 5 için aydınlık düzeyi tek tek incelenmesi gerektiğinden Dialux dökümantasyon bölümünde sunulan genel lx değerine ek olarak isoline haritaları yorumlanmıştır. Bu isoline haritalarında alanlar üzerinde elde edilen aydınlık düzeyleri, seçilen tarihler ve saatler üzerinden yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda günün bazı saatlerinde bazı alanlarda aydınlık düzeylerinin standartlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. Aynı gün ve saatler için, açık ofisin mevcut yönü olan Batı yönü için de simülasyonlar yapılmış ve ofisin uzun cephesinin güneye yönelik olmasının iç mekânda daha optimal bir aydınlık düzeyi sağladığı tespit edilmiştir. Güney yönlü senaryolarda, ofisin üç cephesi de cam olduğu için, genel olarak gün ışığından çalışma saatleri boyunca faydalanılabilmiştir. Yalnızca gün batımında, Batı yönünde cephesi olan Alan 1'de ek önlemler alınması gerekmektedir.

Ek olarak mevcut aydınlatma tasarımı üzerinden (Y0) iyileştirmeler yapılarak Y0'a ek olarak dokuz adet senaryo (Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9) oluşturulmuştur. Bu iyileştirmeler ışık akısı ve watt değerleri üzerinden yapılmıştır. Y0 mevcut senaryoda lineerler 2400 lm, 42 W; spotlar 1521 lm 14 W olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu senaryodaki alanlar incelendiğinde elde edilen aydınlık düzeylerinin

TS EN 12464-1:2021 standardı ile uyumlu lx değerlerine ulaşamadığı görülmektedir. Bu sebeple optimum değerlere ulaşana kadar çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar oluşturulurken Litpa aydınlatma firmasının aydınlatma armatürlerinin ışık akısı ve watt değerlerinden faydalanılmıştır. Öncelikle lineer armatürler üzerinden iyileştirmeler yapılmıştır. Y1 (2800 lm-30 W), Y2 (3360 lm-36 W) ve Y3 (4200 lm-45 W) senaryoları spotların mevcutla aynı tutulduğu yalnızca lineerlerin lümen ve watt değerlerinin değiştirildiği durumları test etmiştir. Aynı zamanda lineer armatür lambası mevcut durumda floresan olduğu için, LED ile değiştirilmiştir. Bu tekil senaryolarda TS EN 12464-1:2021 standardına uyumlu aydınlık düzeylerine ulaşılamadığından, spot armatürlerin iyileştirme sürecindeki etkilerinin incelenmesi için lineer armatürler sabit tutularak Y4 (1200 lm-14 W), Y5 (1700 lm-20 W) ve Y6 (2200 lm-27 W) senaryoları oluşturulmuştur. Spot armatürlerin lambaları mevcut durumda da LED olduğundan, onların lambaları değiştirilmemiştir. Tekil olan bu senaryolarla da standardın uygun bulduğu değerlere ulaşılamamıştır. Ancak, her iki armatürün de iyileştirme sürecinde optimuma yaklaştığı senaryolar (Y3 ve Y6) birleştirilerek Y7 senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryoda isoline haritasını incelediğimizde Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 5'te optimum değerlere ulaşılsa da Alan 4 için bu değerler sağlanamamıştır ve bu sebeple Alan 4 özelinde yeni bir senaryoya yani Y8'e ihtiyaç duyulmuştur. Alan 4 için lineer aydınlatma armatürlerinin standartlarda belirtilen aydınlık düzeylerinden yüksek çıkması sebebiyle lineerlerin ışık akısı ve watt değerlerini Y2'deki değerlere döndürerek senaryo yeniden simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda standartlara yakın sonuçlar sağlansa da homojen bir aydınlık düzeyi sonucuna ulaşılamadığı için Alan 4 özelinde son senaryo olan Y9 senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryoda Alan 4'te bulunan lineerlerin değerleri Y1'deki değerlere döndürerek senaryo yeniden simüle edilmiştir. Bu simülasyon sonucunda isoline haritası incelendiğinde Alan 4 için standartlara uyumlu homojen bir aydınlık düzeyi sonucuna ulaşılmıştır. Y9 senaryosunda ilk olarak tüm alanlarda standartlarla uyumlu homojen dağılım gösteren lx değerlerine yani optimum değere ulaşılmıştır. Bu senaryoların oluşturulma amacı, gün ışığının yetersiz kaldığı durumlarda standartlarla uyumlu aydınlık düzeylerinin sağlanması ve bu sayede kullanıcılar için görsel konfor gereksinimlerinin gözetilmesidir.

Son olarak, optimum aydınlatma tasarımı oluşturulmuş ve gün ışığı Y9 senaryosuna entegre edilerek doğal ve yapay aydınlatmanın birlikte kullanıldığı durumun açık ofis içerisindeki aydınlatma düzeylerine etkisi, seçilen gün ve saatler üzerinden simüle edilerek yorumlanmıştır. Bu seçilen günler yapay aydınlatma tasarımıyla birleştirilerek GG1Y9, GG2Y9, GG3Y9, GG4Y9 olmak üzere dört adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar simüle edildikten sonra isoline haritalarında her saat için yorumlar yapılmış ve yapay aydınlatma kullanımından tasarruf edebilmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Bu durumda hem gün ışığının hem de yapay aydınlatmanın entegre edilmesi durumunda Y9 senaryosunda bulunan aydınlatma armatürlerinin bazıları belirli günlerde inaktif edilebileceği ve bu sayede enerji tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Böyle bir önerinin gerçekleştirilebilmesi için, yapay aydınlatma armatürlerinin anahtarlaması yapılırken, pencere kenarından başlanarak kademe kademe bağlantılar yapılmalıdır. Ayrıca, bu proje özelinde Batı cephesinde bulunan alan için de anahtarlama ayrılmalıdır. Gün ışığının TS EN 12464-1:2021 standardında istenilen değerlerin çok üzerinde olması durumunda gölgeleme elemanlarından faydalanılması da önerilmiştir. Bunlarla birlikte, her zaman yapay aydınlatmayı tam inaktif hale getirmek yerine, ışığın parlaklığının kısılabildiği dimmer sistemi önerilmiştir.

4.6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, açık ofislerde görsel performans gereksinimlerine ve güncel standartlara uygun olarak aydınlatma tasarımını optimize etmek amacıyla yapay aydınlatma senaryoları ile gün ışığı entegrasyonlarını ele almıştır. Bu kapsamda TS EN 12464-1:2021 standardı ana kaynak olarak alınmıştır ve iç mekândaki doğal ve yapay aydınlatmaya bağlı aydınlık düzeyi değerleri standarda bağlı olarak değerlendirilmiş ve iyileştirme önerileri getirilmiştir.

Üç cephesi de saydam olan açık ofis projesi için öncelikle gün ışığı simülasyonları gerçekleştirilerek, doğal aydınlatmanın etkisi irdelenmiştir. Bu simülasyonlar gerçekleştirilirken yapay aydınlatma armatürleri devre dışı bırakılmıştır.

Mevcut binada açık ofis alanı Batı yönlü olduğundan çıkan sonuçlar çerçevesinde gün ışığından maksimum verim sağlamak amacıyla bina Güney yönlü olacak şekilde de konumlandırılarak analizler tekrar edilmiştir.

Her iki yön için de belli tarihler ve ofisin çalışma saatler4ine göre günün belli saatleri belirlenmiştir. (21 Mart 2024, 21 Haziran 2024, 23 Eylül 2024, 21 Aralık 2024)

09:00, 12:00, 15:00, 17:00 (yalnızca 21 Aralık 2024 için), 18:00 saatlerinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Bu sayede yılın belli gün ve saatlerinde çeşitli gün ışığı verileri elde edilmiştir. Bu veriler, daha sonra eş zamanlı olarak yapay aydınlatma kullanıldığında, yapay aydınlatmadan ne kadar faydalanılması gerektiğinin belirleyicisi olmuştur.

Gün ışığı simülasyonlarının ardından yapay aydınlatma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda gün ışığı faktörü devre dışı bırakılmıştır. Burada amaç, gün ışığından faydalanılamadığı takdirde, yapay aydınlatma ile açık ofis içerisindeki farklı fonksiyonlarda TS EN 12464-1:2021 standardı ile uyumlu ve homojen bir aydınlatma tasarımı elde edebilmektir.

Öncelikle aydınlatma firmasının bu proje için yapmış olduğu aydınlatma tasarımı Y0 koduyla ele alınmıştır. Ancak mevcut aydınlatma tasarımının TS EN 12464-1:2021 standardının öngördüğü aydınlık düzeyi verilerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu durumda, mevcut aydınlatma tasarımı ile çalışma ortamı ve ek fonksiyonlar için görsel konfor sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, mevcut durum üzerinden iyileştirmeler yapılarak çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryoları oluştururken mevcut projede yer alan lineer ve spot armatür tipleri değiştirilmemiş ancak Litpa aydınlatma firmasının aydınlatma armatür verileri kullanılmıştır. Özellikle ışık akısını düzenlemeye yönelik gerçek armatür seçimleri yapılmıştır. Işık akısı değişirken, armatürlerin güç değerleri de değişmiştir. Bu seçimler yapılırken aydınlık düzeyini optimal hale getirecek aynı zamanda enerji tüketimini artırmayacak armatürler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, mevcut projede floresan lamba kullanılmış olan lineer aydınlatma armatürlerinin lamba tipi LED olacak şekilde seçilmiştir.

İyileştirmeler önce tekil öneriler, daha sonra kombinasyonlar olarak geliştirilmiştir. Tekil önerilerin test edilmesindeki amaç yalnızca lineer ve yalnızca

spot armatürlerin tekil olarak iyileştirilmelerinin, ortamın aydınlık düzeyi üzerindeki etkisini incelemektir. Ayrıca, her bir armatür tipi için optimal iyileşmeyi sağlayan seçimi yapabilmektir. Ardından, tekil olarak aydınlatma armatürü iyileştirmeleri standarda uyumlu aydınlık düzeyini sağlayamadığı için kombinasyonlar yapılmıştır. Kombinasyonlarda, tekil senaryolardaki optimum sonucu veren lineer (Y3) ve spot (Y6) armatürlerin yer aldığı senaryolar kullanılmıştır. Alan 4, yerleşim ve çalışan sayısı farklılığı sebebiyle diğer alanlardan daha fazla sayıda yapay aydınlatma armatürü içermektedir. Bu sebeple, ilk kombinasyon olan Y7 senaryosunda diğer alanlar için standardın önerdiği optimum değere ulaşılırken, Alan 4'te istenilen değerin üzerinde bir aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Diğer iki senaryo ile (Y8 ve Y9) bu değerin optimize edilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak, istenilen değere en çok yaklaşan senaryo Y9 olmuştur.

Bu sayede gün ışığının olmadığı veya yetersiz olduğu koşullarda (mesela 21 Aralık 2024 saat 18:00 gibi) iç mekânda görsel konfor koşullarının sağlanması hedeflenmiştir.

Açık ofis alanında gün ışığı olmadığında yapay aydınlatma ile TS EN 12464-1:2021 standardındaki verilere uygun bir aydınlatma tasarımına ulaştıktan sonra gün ışığı ve yapay aydınlatmanın bir arada kullanıldığı senaryolar simüle edilmiştir. Ofisin hem mevcut Batı yönü hem de Güney yönüne çevrilmiş hali için, yapay aydınlatmada mevcut durum ve dokuz adet senaryo gün ışığı ile kombine edilerek simülasyonlar yapılmıştır. Güney yönü ve Y9 senaryosu kendi senaryo paketleri içerisindeki en iyi iki sonucu verdikleri için bu kombinasyon özelinde isoline haritaları yorumlanmıştır. Bu sonuçlar ışığında elde edilen verilere kamaşma problemini önleyecek çeşitli öneriler getirilmiştir. Önerilerde, Alan 1 Batı yönünde de cephesi olması sebebiyle, Alan 5 ise iç kesimde kalması ve istenilen aydınlık düzeyi daha düşük olduğu için diğer alanlardan farklılaşmışlardır.

Bu çalışma, açık ofislerde görsel performans kriterlerine uygun aydınlatma tasarımını ele alarak, gün ışığı ve yapay aydınlatma sistemlerinin entegrasyonuna odaklanmıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle dimmer sistemi, gün ışığına bağlı otomasyon sistemleri, yapay aydınlatmanın bölgesel anahtarlanması, cam yerleşimi ve kombinasyonu ve gölgeleme elemanlarının verimli kullanımının, ofis ortamlarında

aydınlatma verimliliğini artırabileceğini ve görsel konforu iyileştirebileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, doğru aydınlatma armatürü seçimi, dimmer ve otomasyon sistemi, yapay aydınlatma armatürlerinin anahtarlama sistemleri, cam ve gün ışığı entegrasyonu, gölgeleme sistemlerinin entegrasyonu, kirlilik faktörü ve bakım gibi parametrelerin nasıl daha etkin kullanılabileceğine dair öneriler aşağıda sıralanmıştır.

Doğru Yapay Aydınlatma Tasarımı İçin Öneriler

1- Doğru Aydınlatma Armatürü Seçimi

- Düşük enerji tüketimi ile sağladığı yüksek ışık akısı ve uzun ömrü sebebiyle aydınlatma armatürlerinde LED teknolojisi tercih edilmelidir. Yapılan simülasyonlarda LED kullanımının, aydınlatma düzeylerinin iyileştirilmesi ve enerji tasarrufu sağlanması açısından etkili olduğu görülmüştür.
- Armatürlerin renk sıcaklığı ve CRI (Renk Geriverim İndeksi) değerleri, mekânın kullanım amacına uygun şekilde seçilmelidir. Örneğin, çalışma alanlarında doğal ışığa yakın renk sıcaklıkları tercih edilerek çalışanların görsel konforu artırılabilir.
- Aydınlatma sisteminde hareket sensörleri veya gün ışığına duyarlı sensörler kullanılarak enerji verimliliği artırılabilir. Özellikle gün ışığının yeterli olduğu senaryolarda, sensör destekli çözümler yapay aydınlatmanın gereksiz kullanımını önleyebilir.

2- Dimmer Sistemi ve Otomasyon Sistemleri

Dimmer ve otomasyon sistemleri, yapay aydınlatma sistemlerinin ışık seviyelerinin otomatik veya manuel olarak ayarlandığı teknolojilerdir. Bu sistemler, gün ışığı faktörünü dikkate alarak iç mekândaki doğal ışığın miktarına göre yapay ışık kaynaklarını kısar (dimmer). Bu yaklaşım yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda çalışanların görsel konforunu artırır. Tez kapsamında yapılan simülasyonlar ve analizler, bu sistemlerin ofis aydınlatmasına entegrasyonu ile enerji tüketiminde önemli bir azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Dimmer ve otomasyon sistemleri, özellikle gün ışığının yoğun olduğu saatlerde yapay

aydınlatmanın gereksiz kullanımını önleyerek enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından fayda sağlamaktadır.

Bu bağlamda, aşağıdaki noktalar tez sonuçlarıyla ilişkilendirilerek önerilmektedir:

- **Gün Işığı Sensörleri ile Entegrasyon:** Gün ışığı sensörleri ile entegre edilen dimmer ve otomasyon sistemleri, iç mekân aydınlatmasının yalnızca ihtiyaç duyulduğunda aktive olmasını sağlar. Bu sistemler, dışarıdan gelen doğal ışık miktarına göre yapay ışık seviyelerini otomatik olarak ayarlayarak enerji tüketimini optimize eder. Tezde yapılan simülasyonlarda, gün ışığının yeterli olduğu senaryolarda yapay aydınlatmanın devre dışı bırakılabileceği veya minimum seviyede tutulabileceği gözlemlenmiştir.
- **Zamanlayıcılar ve Programlanabilir Sistemler:** Zamanlayıcılar ve programlanabilir dimmer sistemleri, belirli saat dilimlerinde istenen aydınlık düzeylerinin sağlanmasını mümkün kılar. Örneğin, sabah saatlerinde daha yüksek aydınlatma seviyeleri, öğle saatlerinde ise gün ışığının yoğunluğuna bağlı olarak daha düşük seviyeler programlanabilir. Bu yaklaşım, çalışanların görsel konforunu artırırken enerji verimliliğini de destekler.
- **Manuel ve Otomatik Kontrol Seçenekleri:** Dimmer sistemleri yalnızca otomatik sensörlere bağlı olmak zorunda değildir; kullanıcıların manuel kontrolüne de açık olmalıdır. Kullanıcılar, aydınlatma seviyelerini bilgisayar üzerinden veya doğrudan anahtar sistemleri aracılığıyla ayarlayabilir. Tezde ele alınan senaryolarda, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre esnek kontrol mekanizmalarının görsel konfor açısından olumlu sonuçlar doğurabileceği belirtilmiştir.
- **Dimmer ve Gün Işığı Otomasyon Sistemlerine Ek Olarak Hareket Sensörleri:** Hareket sensörleri, bir alanın kullanım durumuna göre ışık seviyelerini ayarlayarak yalnızca gerekli olduğunda aydınlatmanın aktif olmasını sağlar. Bu sistemler, enerji verimliliği açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak, tez kapsamında yapılan değerlendirmeler, hareket sensörlerinin sürekli kullanımda olan ofis çalışma alanları için uygun olmadığını göstermektedir. Bu tür sistemler, daha kısa süreli kullanım alanlarında (örneğin depolar, koridorlar veya toplantı odaları gibi) daha etkili

olabilir. Daha büyük projelerde, hareket sensörlerinin bu tür alanlarda kullanılması enerji tasarrufu açısından değerlendirilebilir.

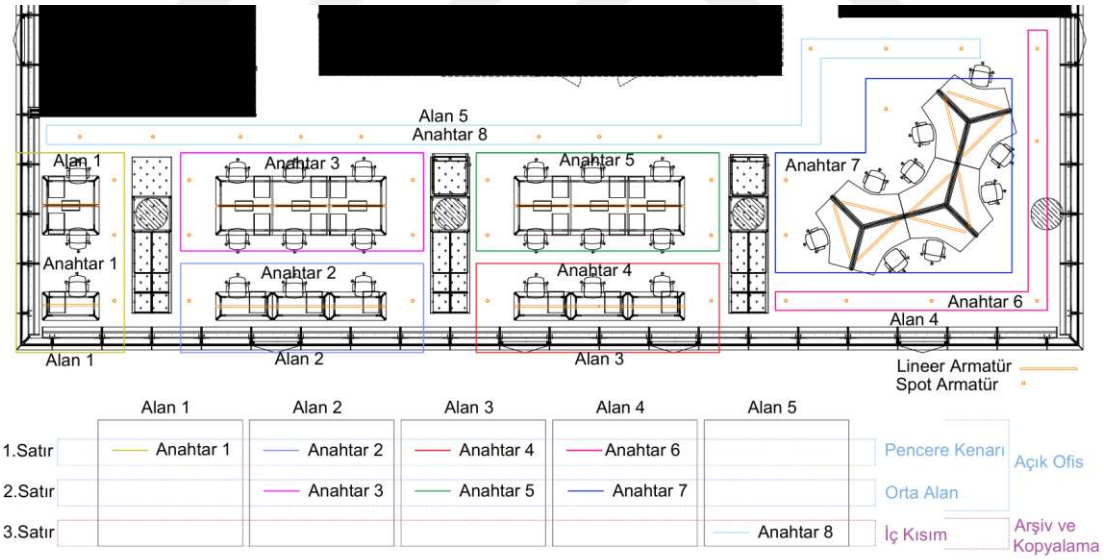
3- Yapay Aydınlatma Armatürlerinin Anahtar Sistemleri

Yapay aydınlatma armatürlerinin anahtar sistemleri, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından kritik bir tasarım unsurudur. Aydınlatma armatürlerinin doğru şekilde gruplandırılması ve anahtarlanması, gün ışığından maksimum düzeyde faydalanmayı ve yapay aydınlatmanın yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmasını sağlar. Bu bağlamda, tez kapsamında yapılan analizler ve öneriler doğrultusunda şu maddeler vurgulanabilir:

- **Bölgesel Ayrıştırma:** Aydınlatma armatürleri, mekânın farklı bölgeleri için ayrı anahtarlama yapılacak şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle pencere kenarından başlayarak iç kısımlara doğru bir ayrıştırma yapılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma, gün ışığının yoğun olduğu pencere kenarındaki alanların (Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4) yapay aydınlatmaya daha az ihtiyaç duyduğu durumlarda, yalnızca bu bölgelerdeki ışıkların kapatılabilmesine olanak tanır. Aksi takdirde, tüm alanı kapsayan tek bir anahtar sistemiyle bir bölgeyi kapatmak istediğinizde, diğer bölgeleri de kapatmak zorunda kalabilirsiniz.
- **Yön ve Gün Işığı Faktörünün Dikkate Alınması:** Yapay aydınlatma armatürlerinin gruplandırılması ve anahtarlaması yapılırken, mekânın yönü ve gün ışığı alımı dikkate alınmalıdır. Örneğin, güney cephesine bakan alanlar (Alan 1, Alan 2, Alan 3 ve Alan 4) gün ışığından daha fazla faydalandığı için bu bölgelerdeki armatürlerin ayrı bir anahtar sistemiyle kontrol edilmesi gereklidir. Bu tasarım, gün ışığı sensörleriyle entegre dimmer sistemi veya yapay aydınlatmanın tamamen kapatılmasını kolaylaştırır.
- **Proje Tasarım Sürecinde Karar Verilmesi:** Aydınlatma armatürlerinin anahtarlama sistemleri, elektrik projesinin tasarım aşamasında belirlenmelidir. Bu aşamada, pencere kenarından başlayarak iç kısımlara doğru bölgesel ayrıştırma yapılmalı ve her bölge için ayrı anahtar sistemleri planlanmalıdır. Bu yaklaşım, mekânın gün ışığı potansiyelinden en iyi şekilde faydalanılmasını sağlarken, enerji tüketimini de optimize eder.

- **Dimmerleme ve Komple Kapatma Seçenekleri:** Bölgesel ayrıştırma sayesinde, gün ışığı sensörleriyle entegre dimmer sistemi veya yapay aydınlatmanın tamamen kapatılması mümkün hale gelir. Örneğin, pencere kenarındaki Alan 1'de gün ışığı yeterliyse yalnızca bu bölgedeki armatürler kapatılabilir veya dimmerlenebilir. Bu esnek kontrol mekanizması hem enerji tasarrufu sağlar hem de kullanıcıların aydınlatma ihtiyaçlarına uygun çözümler sunar.

Anahtar sistemleri, kullanıcıların ihtiyaçlarına göre manuel veya otomatik kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Manuel kontrol seçenekleri, kullanıcıların belirli bölgelerdeki ışıkları kapatabilmesini veya dimmerleme yapabilmesini sağlar. Otomatik kontrol seçenekleri ise, gün ışığı sensörleriyle entegre edilerek enerji verimliliğini artırır. Mevcut proje özelinde önerileri geliştirmek amacıyla mevcut aydınlatma planı üzerinde tasarlanan anahtarlama sistemi aşağıdaki gibidir (Şekil 43). Bu tarz sistemler proje başlangıç aşamasında elektrik mühendisleriyle birlikte yapılmalıdır.



Şekil 43. Mevcut Proje İçin Anahtarlama Önerisi

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Alan 1, Alan 2, Alan 3, Alan 4 ve Alan 5 kapsamında güneşin geliş açısına bağlı olarak bu bölümler 1. Satır 2. Satır ve 3. Satırları kademeli olarak takip ederek anahtarlanabilir. Bu sistem otomatik veya kullanıcı kontrolünde manuel olarak gerçekleşebilir.

4- Cam ve Gün Işığı Entegrasyonu

Cam, doğal ışığın iç mekâna girmesini sağlayan en önemli mimari bileşenlerden biridir. Bu çalışma, cam alanlarının verimli şekilde kullanılmasının, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Cam tasarımı ve seçimi, yalnızca ışık geçirgenliği ve enerji verimliliği değil, aynı zamanda görsel konfor, insan psikolojisi ve estetik bütünlük gibi faktörleri de dikkate almalıdır. Bu bağlamda, tez kapsamında yapılan analizler doğrultusunda aşağıdaki maddeler önerilmektedir:

- **Pencere Boyutları ve Yerleşimi:** Pencere boyutları ve yerleşimi, binanın yönü ve gün ışığı faktörüne uygun şekilde belirlenmelidir. Ofislerde doğrudan güneş ışığından kaçınılmalı ve ışığın düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamak için cam kombinasyonları doğru seçilmelidir. Camların yerleşimi, mekânın güneş ışığını en verimli şekilde almasını sağlarken, kamaşma (glare) gibi olumsuz etkileri önlemelidir.
- **Camların Tvis (Işık Geçirgenliği) Değeri:** Camların ışık geçirgenliği değeri (Tvis), doğal ışığın iç mekâna ne kadar iletileceğini belirler. Bu projede kullanılan camların Tvis değeri %68 olarak belirlenmiştir. Bu oran mevcut cam seçimi nedeniyle bu şekilde kalmıştır; ancak daha yüksek Tvis değerine sahip camların kullanılması durumunda gün ışığından daha fazla faydalanılabilir. Tvis değeri belirlenirken, binanın yönü ve iç mekândaki fonksiyonlar dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yapay aydınlatma tasarımı yapılırken bu seçimlerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Camların yüzey yansıtma çarpanları da dikkate alınarak, doğal ışığın maksimum verimlilikle iç mekâna iletilmesi sağlanmalıdır.
- **Isı İzolasyonu ve SHGC Değeri:** Camların yalnızca ışık geçirgenliği değil, aynı zamanda ısı izolasyonu da enerji verimliliği açısından önemlidir. Isı

yalıtımı sağlayan camlar, iç mekân sıcaklığını düzenleyerek hem yaz aylarında soğutma hem de kış aylarında ısıtma ihtiyacını azaltır. Cam seçimlerinde SHGC (Solar Heat Gain Coefficient/Güneş Isı Kazanç Katsayısı) değeri, binanın bulunduğu bölgenin iklimsel özelliklerine göre belirlenmelidir. Bu sayede, yazın soğutma ihtiyacı azalırken kışın ısınma maliyetleri düşer. Isı yalıtımlı camlar, enerji tüketimini azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunur.

- **Teknolojik Gelişmelere Uyum:** Teknolojik gelişmelerle birlikte, camların dinamik özelliklere sahip olması da mümkündür. Akıllı camlar veya elektro-kromik camlar, ışığın yoğunluğuna bağlı olarak şeffaflık seviyelerini değiştirebilen sistemlerdir. Bu tür camlar, günün saatine, dışarıdaki hava koşullarına ve iç mekânda ihtiyaç duyulan ışık seviyesine göre otomatik olarak ayarlanabilir. Bu, enerji verimliliğini artırırken aynı zamanda kullanıcı konforunu da sağlayacaktır. Bu, ofis ortamlarında enerji verimliliği sağlamak ve kamaşma (glare) sorununu önlemek için de önemlidir. Ancak bu proje kapsamında önerilmemiştir. Bu proje kapsamında akıllı camlar kullanılmamıştır. Bunun yerine, Tvis ve SHGC değerlerine göre seçilen cam kombinasyonları, yapay aydınlatma anahtarlama sistemleri ve gün ışığına bağlı otomasyon sistemleri ile daha kontrol edilebilir bir çözüm sunmaktadır. Akıllı camların kullanımı elektif bir seçenek olarak değerlendirilebilir.
- **Estetik ve Mekânsal Bütünlük:** Camlar, enerji verimliliği ve görsel konfor sağlamanın yanı sıra mekânın estetik bütünlüğüne de katkı sağlamalıdır. Doğal ışık, ofislerde hoş bir atmosfer yaratırken, iç tasarım unsurlarını da vurgular. Camların renk, doku ve düzenlemeleri, mekânın genel tasarım diliyle uyum içinde olmalıdır. Örneğin, cam panellerin tasarımı, ofiste kullanılacak renk paletleri ve mobilyalarla bütünleşmelidir.
- **İnsan Odaklı Tasarım ve Psikolojik Etkiler:** Cam kenarında oturma düzenlemeleri, manzara faktörü ve doğal ışığın insan psikolojisi üzerindeki olumlu etkileri göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Gün ışığı, çalışanların ruh halini iyileştiren ve üretkenliği artıran önemli bir unsurdur. İnsan odaklı tasarım ilkeleri doğrultusunda, camların yerleşimi ve boyutları, çalışanların doğal ışığa maruz kalmasını artıracak şekilde planlanmalıdır.

- **Çevresel Sürdürülebilirlik:** Cam tasarımı, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik ilkelerine uygun olmalıdır. Doğal ışığın iç mekâna etkin bir şekilde iletilmesi, yapay aydınlatmaya olan bağımlılığı azaltırken, enerji tüketimini minimize eder. Ayrıca, ısı yalıtımlı camlar ve doğru SHGC değerleri, ısıtma ve soğutma sistemlerine olan bağımlılığı azaltarak çevresel etkileri en aza indirir.

5- Gölgeleme Sistemlerinin Entegrasyonu

Gölgeleme elemanları, ofis ortamlarında gün ışığı kontrolü sağlamak, iç mekânda aşırı ısınmayı engellemek ve görsel konforu artırmak amacıyla kullanılır. Bu sistemler, özellikle doğrudan güneş ışığının iç mekâna girmesini engeller ve gün ışığının iç mekânda daha verimli bir şekilde yayılmasını sağlar. Gölgeleme, aynı zamanda kamaşma sorununu da önlemektedir.

- **Dinamik Gölgeleme Panelleri ve Otomasyon Sistemleri:** Dinamik gölgeleme panelleri veya perdeler, gün ışığı faktörüne göre çalışan otomasyon sistemleriyle entegre edilmelidir. Bu sistemler, dışarıdan gelen ışık miktarını algılayarak otomatik olarak açılıp kapanabilir ve iç mekânda aydınlatma ihtiyacını optimize eder. Örneğin, güneş ışığının yoğun olduğu saatlerde gölgeleme elemanları otomatik olarak devreye girerek iç mekânı aşırı ısınmadan korur ve kamaşma sorununu önler. Bunun yanı sıra, gün ışığının azaldığı saatlerde gölgeleme elemanları açılarak doğal ışık kullanımını artırır. Tez kapsamında, dinamik gölgeleme sistemlerinin enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından önemli bir katkı sağlayabileceği vurgulanmıştır. Bu tür sistemlerin, proje kapsamında mevcut tasarıma uygun olarak kolayca entegre edilebileceği düşünülmektedir.
- **Kullanıcı Kontrollü Gölgeleme Sistemleri ve İnsan Odaklı Tasarım:** Ofis ortamlarında çalışanların konforunu artırmak amacıyla, gölgeleme sistemlerinin kullanıcı ihtiyaçlarına göre manuel veya yarı otomatik olarak ayarlanabilir olması önemlidir. Kullanıcı kontrollü sistemler, bireylerin kendi ihtiyaçlarına göre ışık ve gölge ayarlarını yapabilmesine olanak tanır. Kullanıcıların gölgeleme sistemlerini nasıl kullandığını anlamak, bu sistemlerin performansını optimize etmek için de faydalı olabilir. Tez

kapsamında, kullanıcı kontrollü sistemlerin insan psikolojisi üzerindeki olumlu etkileri vurgulanmıştır. Bu tür sistemler, bireylerin çalışma ortamındaki kontrol hissini artırarak insan odaklı tasarım ilkelerine katkıda bulunur. Mevcut proje kapsamında, manuel ve yarı otomatik sistemlerin uygulanabilirliği daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilmiştir. Dinamik sistemler de önerilebilir; ancak mevcut sistemlerin kullanıcı kontrollü olması, ekonomik ve işlevsel açıdan daha avantajlıdır.

- **Akıllı Kaplamalar ve Gölgeleme Elemanları:** Akıllı pencere kaplamaları, ışık geçirgenliğini değiştirerek gölgeleme işlevi görebilir. Ancak, bu tür sistemler mevcut proje kapsamında önerilmemiştir. Camların değiştirilmesinin yüksek maliyetli olması nedeniyle, doğru bir gölgeleme elemanı seçiminin yeterli olacağı düşünülmüştür. Mevcut projede, iç mekânda kullanılacak gölgeleme elemanlarının doğru seçimi hem ekonomik hem de enerji verimliliği açısından daha uygun bir çözüm sunmaktadır.
- **Enerji Verimliliği ve Çevresel Sürdürülebilirlik:** Gölgeleme elemanları, güneş enerjisinden kaynaklanan ısıl kazançları kontrol ederek iç mekânda aşırı ısınmayı önler ve termal konforu artırır. Bu sayede, ısıtma ve soğutma sistemlerinin daha verimli çalışmasına katkıda bulunur. Gölgeleme sistemleri, enerji verimliliğinin yanı sıra karbon ayak izinin küçültülmesine de yardımcı olur. Isıtma-soğutma ihtiyaçlarının azalması, enerji tüketimini düşürerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Ayrıca, gölgeleme elemanlarının geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmesi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantaj sağlar. Bu tür malzemeler, atıkların yeniden değerlendirilmesine olanak tanır ve çevre dostu bir yaklaşım sergiler.

- **Estetik ve Mekânsal Uyum:** Gölgeleme elemanlarının tasarımı, yalnızca fonksiyonel olmakla kalmayıp aynı zamanda iç mekânın estetik yapısına da katkı sağlamalıdır. Bu sistemlerin pencere ve dış cephe tasarımıyla uyum içinde olması, mekânın estetik bütünlüğünü korur. Mevcut proje kapsamında, gölgeleme elemanları iç mekânda kullanılmıştır. Bu sebeple dış cepheye entegre edilen sistemlerden ziyade, iç mekânda kullanılan perdeler veya paneller, projenin mevcut durumu ve tasarım diliyle daha uyumlu bir çözüm sunmaktadır.

Projede önerilen gölgeleme elemanlarının görseller ve açıklamalarla birlikte sunulduğu Tablo 20 aşağıda yer almaktadır. Gölgeleme elemanlarının farklı geçirgenlik değerlerine sahip tipleri ve işlevsel özellikleri detaylandırılmıştır. Bu elemanlar tez kapsamında, gün ışığı kontrolünü optimize etmek, aşırı kamaşmayı önlemek ve görsel konforu artırmak amacıyla önerilmiştir (Tablo 20).

Tablo 20. Proje Kapsamında Önerilen Gölgeleme Elemanları

Gölgeleme Elemanı	Görsel	Geçirgenlik Değeri	Özellikler
Screen Stor Perdeler		%5-30	Gün ışığı geçirgenlik değeri kumaşın dokuma sıklığına bağlı olarak değişmektedir.
Katlanabilir Perdeler		%30, %50, %70	Farklı geçirgenlik değerlerinde üretilir. Gün ışığını filtreler ve kamaşmayı önler. Katlanabilir yapısı sayesinde mekânda esneklik sağlar.
Black Out Perdeler		%0 (Tam Kapatma)	Tamamen karartma sağlar. Aşırı kamaşma durumlarında veya projeksiyon kullanılan alanlarda idealdir. Gün ışığını tamamen engeller.
Jaluzi Perdeler		Ayarlanabilir (Tam Açık - Kapalı)	Lamel açısı ayarlanarak ışık geçirgenliği kontrol edilir. Tamamen kapanma özelliği sayesinde ek bir Black Out perdeye gerek kalmaz.

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

6- Kirlilik Faktörü ve Bakım

Gün ışığından maksimum düzeyde faydalanabilmek için pencere yüzeylerinin temizliği ve bakımının düzenli olarak yapılması, projede önerilen doğal aydınlatma stratejilerinin etkinliğini artırmak açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle tez kapsamında vurgulanan görsel konfor ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, pencere yüzeylerinde biriken kir ve tozun ışık geçirgenliğini

azaltmasının önüne geçmek, doğal ışığın mekâna etkili bir şekilde ulaşmasını sağlayacaktır.

- **Düzenli Temizlik ve Bakım Takvimi:** Bölgenin hava kirliliği seviyesi analiz edilerek, pencere yüzeyleri için periyodik bir temizlik takvimi oluşturulmalıdır. Örneğin, yoğun kirlilik dönemlerinde (örneğin, kış aylarında veya endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde), temizlik sıklığı artırılabilir.
- **Kendi Kendini Temizleyen Cam Kaplamaları:** Tez kapsamında, kendi kendini temizleyebilen cam kaplamaları kullanılması önerilebilir. Bu kaplamalar, yüzeyde biriken kir ve tozun yağmur suyu ile kolayca temizlenmesini sağlar ve bakım maliyetlerini düşürür. Bu teknoloji, özellikle bakımın zor olduğu yüksek binalar veya geniş cam yüzeyleri için oldukça etkilidir.
- **Hava Kirliliğine Dayalı Akıllı Sistemler:** Proje kapsamında, hava kirliliği seviyesini izleyen sensörler ve akıllı sistemler entegre edilerek temizlik zamanlaması optimize edilebilir. Bu sistemler, kirlilik seviyesine göre bakım takvimini dinamik olarak ayarlayabilir.

Gün ışığı ve optimum senaryo ile oluşturulan yapay aydınlatma entegrasyonu simülasyonları sonuçlarına dayalı olarak geliştirilen senaryolar, açık ofis ortamlarında çevresel sürdürülebilirlik ve görsel konfor hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, doğru aydınlatma armatürlerinin seçimi, dimmer ve otomasyon sistemlerinin etkin kullanımı, yapay aydınlatma armatürlerinin anahtar sistemleri, cam ve gün ışığı entegrasyonu, gölgeleme sistemlerinin entegrasyonu ve kirlilik faktörü ile bakım süreçleri ele alınarak, enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından optimize edilmiş öneriler geliştirilmiştir. Bu kapsamda, gün ışığının yoğun olduğu senaryolarda yapay aydınlatmanın minimum seviyede tutulması, doğru cam seçimi ve gölgeleme elemanlarının kullanımıyla kamaşma sorunlarının önlenmesi, dimmer ve sensör sistemleri ile aydınlatma kontrolünün optimize edilmesi gibi stratejiler hem işlevsel hem de estetik açıdan bütünleşik bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Ayrıca, düzenli bakım ve temizlik süreçleri ile gün ışığından maksimum düzeyde faydalanılması, önerilerin uzun vadeli etkinliğini desteklemektedir. Bu öneriler, açık ofis ortamlarında enerji verimliliği, görsel konfor

ve insan odaklı tasarım ilkeleri doğrultusunda uygulanabilir bir yol haritası sunmaktadır.

GG1Y9 kodlu, 21.03.2024 tarihine ait gün ışığı ve optimum koşulların dikkate alındığı Y9 senaryosunun entegre edildiği simülasyon sonuçları, plan üzerindeki alanlar ve konumlar özelinde belirli öneriler geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu senaryoların analizine dayalı olarak, her bir alanın aydınlatma ihtiyaçları, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda yukarıdaki önerilerin tez kapsamında bir özeti olarak alanlar özelinde öneriler tablo şeklinde sunulmuştur (Tablo 21).

Tablo 21. GG1Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu

KOD	Tarih	Saat	Alanlar		Gölgeleme sistemleri	Dim ve otomasyon sistemi	Armatürlerin inaktif edilmesi
GG1Y9	21.03.2024	09:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		12:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		15:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓	✓	✓
				Alan 2	✓	✓	✓
				Alan 3	✓	✓	✓
				Alan 4	✓	✓	✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		18:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		
				Alan 3	✓		
				Alan 4	✓		
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

GG2Y9 kodlu, 21.06.2024 tarihine ait gün ışığı ve optimum koşulların dikkate alındığı Y9 senaryosunun entegre edildiği simülasyon sonuçları, plan üzerindeki alanlar ve konumlar özelinde belirli öneriler geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu senaryoların analizine dayalı olarak, her bir alanın aydınlatma ihtiyaçları, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda yukarıdaki önerilerin tez kapsamında bir özeti olarak alanlar özelinde öneriler tablo şeklinde sunulmuştur (Tablo 22).

Tablo 22. GG2Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu

KOD	Tarih	Saat	Alanlar		Gölgeleme sistemleri	Dim ve otomasyon sistemi	Armatürlerin inaktif edilmesi
GG2Y9	21.06.2024	09:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		12:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		15:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1			
				Alan 2			
				Alan 3			
				Alan 4			
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		18:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

GG3Y9 kodlu, 23.09.2024 tarihine ait gün ışığı ve optimum koşulların dikkate alındığı Y9 senaryosunun entegre edildiği simülasyon sonuçları, plan üzerindeki alanlar ve konumlar özelinde belirli öneriler geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu senaryoların analizine dayalı olarak, her bir alanın aydınlatma ihtiyaçları, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda yukarıdaki önerilerin tez kapsamında bir özeti olarak alanlar özelinde öneriler tablo şeklinde sunulmuştur (Tablo 23).

Tablo 23. GG3Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu

KOD	Tarih	Saat	Alanlar		Gölgeleme sistemleri	Dim ve otomasyon sistemi	Armatürlerin inaktif edilmesi
GG3Y9	23.09.2024	09:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		12:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		15:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		18:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

GG4Y9 kodlu, 21.12.2024 tarihine ait gün ışığı ve optimum koşulların dikkate alındığı Y9 senaryosunun entegre edildiği simülasyon sonuçları, plan üzerindeki alanlar ve konumlar özelinde belirli öneriler geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu senaryoların analizine dayalı olarak, her bir alanın aydınlatma ihtiyaçları, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu bağlamda yukarıdaki önerilerin tez kapsamında bir özeti olarak alanlar özelinde öneriler tablo şeklinde sunulmuştur (Tablo 24).

Tablo 24. GG4Y9 Senaryosu Öneriler Tablosu

KOD	Tarih	Saat	Alanlar		Gölgeleme sistemleri	Dim ve otomasyon sistemi	Armatürlerin inaktif edilmesi
G43Y9	21.12.2024	09:00	Pencere kenarı	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			
		12:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		15:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		✓
				Alan 2	✓		✓
				Alan 3	✓		✓
				Alan 4	✓		✓
			Orta alan	Alan 1		✓	✓
				Alan 2		✓	✓
				Alan 3		✓	✓
				Alan 4		✓	✓
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			✓
		17:00	Pencere kenarı	Alan 1	✓		
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Orta alan	Alan 1		✓	
				Alan 2		✓	
				Alan 3		✓	
				Alan 4		✓	
			Arşiv-kopyalama	Alan 5			
		18:00	Pencere kenarı	Alan 1	Aydınlık düzeyi 0 lux değerindedir. Y9 yapay aydınlatma senaryosu aktif edilmelidir.		
				Alan 2			
				Alan 3			
			Orta alan	Alan 4			
				Alan 1			
				Alan 2			
			Arşiv-kopyalama	Alan 3			
				Alan 4			
				Alan 5			

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

- **Alan Bazlı Değerlendirme:** Her bir alanın gün ışığına maruz kalma durumu ve yapay aydınlatma gereksinimleri analiz edilmiştir.
- **Enerji Verimliliği:** Gün ışığının yeterli olduğu alanlarda yapay aydınlatmanın azaltılması veya kapatılması önerilmiştir.
- **Görsel Konfor:** Çalışanların görsel konforunu artırmak için uygun aydınlatma seviyeleri, gölgeleme elemanları ve otomasyon sistemleri önerilmiştir.
- **Optimum Çözümler:** Dimmer, sensör ve otomasyon sistemlerinin kullanımıyla enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu maksimize edecek stratejiler geliştirilmiştir.

Tablolar, genel olarak, açık ofis ortamlarında gün ışığı ve yapay aydınlatma entegrasyonunun nasıl optimize edilebileceğini ve bu entegrasyonun enerji tasarrufu, çevresel sürdürülebilirlik ve çalışan konforu üzerindeki etkilerinin nasıl daha insan odaklı hale getirilebileceğine dair önerileri özetlemektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, doğru aydınlatma armatürü seçimi, yapay aydınlatma sistemlerinin anahtarlama kararları, dim otomasyon, cam tasarımı ve gölgeleme sistemlerinin bir arada kullanılmasının, ofislerdeki aydınlatma verimliliğini ve görsel performansı artırmada önemli bir etki yarattığını göstermektedir. Bu beş sistemin birbirini tamamlayıcı şekilde entegre edilmesi hem enerji tüketimini azaltmak hem de iç mekânlardaki görsel verimliliği ve çalışanların konforunu sağlamak açısından büyük önem taşır. Dim otomasyon, ışık seviyelerini ihtiyaca göre ayarlayarak gereksiz enerji tüketimini önlerken, gölgeleme sistemleri dışarıdan gelen ışığın istenilen seviyelerde tutulmasını sağlar. Cam yerleşimi ve kombinasyonu ise doğal ışığın iç mekânda verimli bir şekilde dağıtılmasını sağlayarak, her alanın dengeli bir şekilde aydınlatılmasını mümkün kılar. İçeri girecek ışık miktarı üzerinde cam kombinasyonu belirleyicidir.

Aynı zamanda insan odaklı çözümlerin, çalışanların biyolojik saatlerine ve sirkadiyen ritimlerine uyum sağlayacak şekilde tasarlanması, verimliliğin artmasında ve insan sağlığının desteklemesinde katkısı olacaktır. Tüm bu önerilerin yalnızca otomasyon sistemlerine bağlı olarak çalıştırılabileceğini düşünmek yanlış olacaktır. Otomasyon sistemlerinin olmadığı açık ofislerde bu çözümler manuel olarak da sağlanabilmelidir. Ofislerde seçilen bir kişi ya da bir grup personel görevlendirilerek ortamda etkili ve verimli aydınlatma sağlanabilmesi için bu kişiye veya ekibe bu konuda eğitim verilmesi zorunlu tutulmalıdır. Bu sayede ofis ortamında aydınlatma sistemine gerekli zamanlarda doğru müdahalelerde bulunularak ofisin sirkadiyen ritimle uyumlu, enerji verimli ve görsel konfor koşullarına uygun hale getirilmesi amaçlanmalıdır.

Ek olarak görsel konforun sağlanması, yalnızca enerji verimliliği açısından değil, çalışanların göz sağlığı, çalışma performansı ve psikolojik durumları açısından da büyük önem taşımaktadır. Yetersiz veya aşırı parlak aydınlatma, göz yorgunluğu, baş ağrısı ve dikkat dağınıklığı gibi olumsuz etkiler yaratabilirken, dengeli ve doğru aydınlatma çözümleri çalışanların daha uzun süre konforlu bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır. Aynı zamanda, yeterli düzeyde ve homojen bir aydınlatma sağlanması, çalışanların motivasyonunu artırarak iş verimliliğini yükseltmekte ve

psikolojik iyi oluşlarını desteklemektedir. Özellikle doğal ışığın yeterince iç mekâna entegre edilmesi, çalışanların ruh halini olumlu yönde etkileyerek stres seviyelerini azaltabilmektedir.

Bu sistemlerin daha sofistike hale getirilmesi için daha fazla araştırma çalışmalarına ihtiyaç vardır. Örneğin, yapay zeka ve makine öğrenimi kullanılarak, gün ışığı seviyesinin daha doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve buna göre yapay aydınlatmanın daha verimli bir şekilde kontrol edilebilmesi sağlanabilir. Ayrıca, gölgeleme sistemlerinin daha kullanıcı dostu hale getirilmesi için ergonomik tasarımlar üzerinde çalışmalar yapılabilir. Gölgeleme panellerinin malzeme seçiminden, pencere boyutlandırmalarına kadar her aşamada optimize edilmesi, sistemlerin etkinliğini daha da artıracaktır. Cam teknolojisinin de daha verimli hale getirilmesi, enerji verimliliği ve konfor sağlama açısından önemli bir gelişim alanı olacaktır.

Bu çalışmada geliştirilen öneriler, gün ışığı kullanımını artırarak yapay aydınlatma ihtiyacını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum, yalnızca enerji verimliliği sağlamanın ötesinde, kullanıcıların psikolojisi üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır. Doğal ışığın kullanımı, iç mekân malzemelerinin algısını güçlendirmiş, mekânlara daha ferah ve davetkâr bir atmosfer kazandırmıştır. Böylece, çalışanların görsel konforu ve genel memnuniyeti artarken, insan odaklı tasarım ilkeleri doğrultusunda hem işlevsel hem de estetik bir denge sağlanmıştır. Bu yaklaşım, kullanıcı deneyimini iyileştirirken çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de katkıda bulunmuştur. Ayrıca çalışmanın diğer hedefi olan çevresel sürdürülebilirlik için enerji performans hesaplamaları yapılmamıştır ancak yapay aydınlatma kullanımını azaltarak elektrik enerjisi tüketimini azaltılmıştır. Floresan lambadan LED lambalara geçerek elektrik enerjisi kullanımındaki verimin arttırılması amaçlanmıştır. Anahtarlama ve dimmerleme sayesinde gerekmedikçe yapay aydınlatma kullanımı azaltılmıştır. Gölgeleme elemanlarının önerilmesi ile de aşırı ısınmanın engellenmesine katkıda bulunulmuştur. Böylece iç mekân çevre kalitesi açısından özellikle termal ve görsel konfora pek çok katkı sunacak önerilerde bulunulmuştur Bu şekilde ısıtma-soğutma için enerji ihtiyacı azaltılabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca seçilen gölgeleme elemanlarının yapımında kullanılan geri dönüştürülebilir malzeme ile

atıkların geri dönüşümünün sağlanması hedeflenmiştir. Bu gibi önerilerle, açık ofisler için çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Bu çalışma, açık ofislerdeki aydınlatma tasarımı ve doğal ışık entegrasyonu konusunda önemli bulgular sunmakta ve modern çalışma ortamlarının tasarımında yol gösterici bir kaynak oluşturmaktadır. Hem enerji verimliliği hem de görsel konfor bakımından bu tür entegre çözümler, ofislerdeki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Açıksarı, C., ve Karasu, B. (2018). Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering (ECJSE), 5(2)*, 437–457.

Alkan, İ. (2010). *Ofis mekânlarında ışık ve renk ilişkisinin görsel konfora etkisi* [Yüksek lisans tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

American Academy of Sleep Medicine. (2020). Daylight saving time and circadian rhythms. *Journal of Clinical Sleep Medicine, 16(4),* 649-658.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2023). *ASHRAE Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings.* ASHRAE.

Apaydın, S. (2012). *Ofislerde aydınlatma tasarımının sürdürülebilirlik açısından mekân tasarımına etkileri* [Yüksek lisans tezi]. Haliç Üniversitesi.

Boduroğlu, Ş. (2001). *Kentsel dış mekânların aydınlatılmasının kentsel tasarım ilkeleri açısından incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Mimar Sinan Üniversitesi.

Building Research Establishment. (2024). *BREEAM international new construction technical manual 2018.* BRE Global.

Cajochen, H., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Adalet, A., ve Stefani, O. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology. 111(5),* 1289-1296.

Chartered Institution of Building Services Engineers. (2023). *Lighting guide 7: Office lighting.* CIBSE Publications.

Ching, D. K. F. (2006). *İç mekân tasarımı: Resimli* (2. basım, s. 126). Yem Yayınları.

Cılasun Kunduracı, A. (2016). *Categorization of manual lighting control behavior patterns based on interior layout in offices* [Doktora Tezi]. İzmir Teknoloji Üniversitesi.

Civan, U. (2006). *Akıllı binaların çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Coles, J., ve House, N. (2012). *İç mimarlığın temelleri.* Akademik Temeller Dizisi 05. Literatür Yayınları.

Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). (2019). *Lighting of work places: Part 1 – Indoor work places*. / Onaygil, S. tarafından düzenlenmiştir.

Çiftçi, M. E., ve Arpacıoğlu, Ü. (2021). Gün Işığı Yönlendirme Sistemleri. *Journal of Architectural Sciences and Applications, 6(1),* 59-76.

Dalga, P. (2007). *Geçmişten günümüze ofislerin gelişimi* [Yüksek lisans tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Demir, H., Çıracı, G., Kaya, R., ve Ünver, Ü. (2020). Aydınlatmada enerji verimliliği: Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi durum değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *25*(1), 123-135.

Ekinex (2023). *Human Centric Lighting (HCL).* Ekinex Smartlighting.

Entwistle, J. (2000). *Designing with light: Hotels.* RotoVision. Londra.

Er Akan, A., ve Arslan Selçuk, S. (2005). *Ofislerin aydınlatmaları üzerine bir inceleme: A Tasarım Mimarlık Ofisi örneği.* Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Erdemli, M. İ. (2018). *Elektrokromik kaplamalı camın farklı iklim bölgelerine göre enerji performansı* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Figueiro, M. G., Sahin, L., Wood, B., ve Plitnick, B. (2015). Light at night and measures of alertness and performance: Implications for shift workers. *Biological Research for Nursing, 18(1),*90–100.

Figueiro, M. G., ve Rea, M. S. (2010). Lack of short-wavelength light during the school day delays dim light melatonin onset in middle school students. *Neuroendocrinology Letters. 31 (1),* 92–96.

Fitoz, İ. (2008). Işık ve mekân tasarımlarının teknolojiyle yüzleşmesi. *1. Ulusal İç Mimarlık Sempozyumu:* Mekân Tasarımında Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar, Sempozyum Bildiri Kitabı. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Fitöz, İ. (2002). *Mekân tasarımında belirleyici bir etken olarak yapay ışık için aydınlatma tasarımı modeli* [Doktora Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Gali Taşçı, G., Akgüç, A., ve Yılmaz, A. Z. (2013). Bir ofis binası örneği ile doğal aydınlatma ile uyum içinde yapay aydınlatma kullanımı. *CLIMAMED - VII. Akdeniz İklimlendirme Kongresi*, İstanbul, Türkiye.

Getman, G.N. (1962). *How to develop your child's intelligence*. Optometric Extension Program Foundation.

Gezer, F. G., ve Altın, M. (2024). Güneş kontrolünde pasif olarak kullanılan gelişmiş cam malzemelerin irdelenmesi. *Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 5(1),* 70–85.

Haigh, G. (2012). *The Office: A Hardworking History.* Miegunyah Press. https://doi.org/10.1080/01576895.2013.765355

Hardeland, R., Madrid, J. A., Tan, D.X., ve Reiter, R. J. (2012). Melatonin, the circadian multioscillator system and health: the need for detailed analyses of peripheral melatonin signaling. *J. Pineal Res. 52*, 139–166

Horng, J. S., Wang, C. H., ve Tsai, C. H. (2013). *Creativity, aesthetics and eco-friendliness: A physical dining environment design synthetic assessment model of innovative restaurants. 36,* 15-25.

IDEE Mimarlık Arşivi. İstannbul.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.

Karabulut, D., (2024). *Tarihi binalarda doğal aydınlatma performansının incelenmesi: Rami kışlası örneği* [Yüksek lisans tezi]. Trakya Üniversitesi.

Kazanasmaz, T., ve Diler, Y. (2018). *Gelişmiş cam teknolojileri ile enerji etkinliğin değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi]. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Korkmaz, A. (2025). *Kişisel Fotoğraf Arşivi.* Üsküdar.

Köseli, C. G. (2018). *The human centric lighting concept: A proposal for an office interior* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Küçükdoğu, M. Ş. (1976). *İklimsel konfor ve aydınlık seviyesine bağlı görsel konfor gereksinmeleri açısından, pencerelerin tasarlanmasında kullanılabilecek bir yöntem* [Yayımlanmamış doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Lerner, J. (1976). *Learning Disabilities: Theories, Diagnosis, and Teaching Strategies.* Houghton Mifflin. 7th Edition.

Marangoz, E. (2018). *İç mimaride aydınlatmanın tanımı ve ofis mekânlarında aydınlatma kriterlerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Haliç Üniversitesi.

Matenchuk, B. A., Mandhane, P. J., ve Kozyrskyj, A. L. (2020). Sleep, circadian rhythm, and gut microbiota. *Sleep Medicine Reviews, 53,* 101340.

Mayo Clinic. (2021). Seasonal affective disorder (SAD) - Symptoms and causes.

MDPI (2023). Human-Centric Lighting Design: A Framework for Supporting Circadian Rhythms. MDPI.

Memiş, Ö., ve Ekren, N. (2019). *İnsan odaklı aydınlatma.* Marmara Üniversitesi.

Moayed, M., (2011). *İç mekân tasarımında gün ışığı kullanımının sürdürülebilir tasarım kriterleri* [Yüksek lisans tezi]. Hacettepe Üniversitesi.

Morgan, C. T. (1984). *Psikolojiye giriş*. 8. Baskı.

National Institute of Mental Health (2023). *Seasonal affective disorder.* NIMH.

National Institute of Mental Health. (2023). *NIMH-Sponsored program announcements*. U.S. Department of Health and Human Services, National Institutes of Health.

Noraslı, M., & Köse Doğan, R. (2020). *Çağdaş ofis tasarımı bağlamında bee rendering tasarım ofisi*. *Artium, 8(1),* 1-10.

Okutan, H. (2008). *Gün ışığı ile aydınlatmanın temel ilkeleri ve gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Onaygil, S. (2016). *EBT 544 – Enerji verimli aydınlatma teknolojileri: Aydınlatma armatürleri (Aygıtlar).* İTÜ Enerji Enstitüsü – Enerji Planlaması ve Yönetimi A.B.D.

Oxford Academic (2020). *Transcriptional control of circadian rhythms and metabolism.* Endocrine Reviews.

Öztürk Gül, E. (2023*). Ofislerde görsel konfor ve enerji tüketimine ilişkin aydınlatma tasarım parametreleri ve etkilerinin belirlenmesi üzerine bir yaklaşım* [Doktora Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

PMC (2022). *Disturbance of the circadian system in shift work and ıts health ımplications.* PMC.

Rosenthal, N. E. (1984). Seasonal affective disorder: A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. *Archives of General Psychiatry, 41(1)*, 72–77.

Saval, N. (2014). *Cubed: A secret history of the workplace*. Doubleday.

Scheiermann, C., Gibbs, J., Ince, L., ve Loudon, A. (2018). Clocking in to immunity. *Nature Reviews Immunology, 18(7),* 423–437.

Sleep Foundation (2023). *Light and sleep: effects on sleep quality.* Sleep Foundation.

Smolders, K. C. H. J. (2013). *Daytime light exposure: Effects and preferences* [Doktora Tezi]. Technische Universiteit Eindhoven.

Sollars, P. J., ve Pickard, G. E. (2015). The neurobiology of circadian rhythms. *The Psychiatric Clinics of North America, 38(4),* 645–665.

Taoluk, D. (2014). *Doğal aydınlatma, Konya'daki ofis binalarının doğal aydınlatma bakımından incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Selçuk Üniversitesi.

Tian, Y., Yang, W., Chen, G., Men, C., Gu, Y., Song, X., Zhang, R., Wang, L., ve Zhang, X. (2022). An important link between the gut microbiota and the circadian rhythm: Implications for treatments of circadian rhythm sleep disorder. *Food Science and Biotechnology, 31(2),* 155–164.

Topal, A. S., ve Arpacıoğlu, Ü. (2020). Mimarlıkta akıllı malzeme. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 5(2)*, 241–254.

Türk Standardı Enstitüsü. (2011). TS EN 410:2011, *Camlar - Camın optik özelliklerinin belirlenmesi*. Türk Standardı Enstitüsü.

Türk Standartları Enstitüsü. (2011). *Yapılarda cam – Isı geçirgenliği (U-değeri) tayini – Hesaplama yöntemi* (EN 673). Türk Standartları Enstitüsü.

Türk Standartları Enstitüsü. (2017). *TS EN 15193-1: Binalarda enerji performansı - Aydınlatma enerji gereksinimi - Bölüm 1: Hesaplama yöntemi.* Türk Standartları Enstitüsü.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Binalarda gün ışığı (TS-EN 17037).* Türk Standartları Enstitüsü.

Türk Standartları Enstitüsü. (2021). *TS EN 12464-1: Işık ve Aydınlatma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması - Bölüm 1: İç mekân çalışma yerleri*. Türk Standartları Enstitüsü.

ULI Americas. (2020). *The business case for healthy buildings: Insights from early adopters.* Urban Land Institute.

Uygun, İ. (2018). *An optimization model for luminaire layout design in office spaces: OptimLUM.* [Doktora Tezi]. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

WAC Lighting (2023). *What human-centric lighting ıs, and why you need ıt.* WAC Lighting.

Waring, S. P. (1991*). Taylorism transformed: Scientific management theory since 1945.* The University of North Carolina Press.

Yener, A. K. (2007). Binalarda gün ışığından yararlanma yöntemleri*: Çağdaş teknikler. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.*

İnternet Kaynağı

Alsop, R. (13 Mayıs 2015). *Açık ofis çalışanları nasıl etkiliyor?* 11.01.2025 tarihinde https://www.bbc.com/turkce/haberler/2015/05/150513_vert_cap_acik_ofis adresinden edinilmiştir.

American Psychiatric Association (2025). *Seasonal affective disorder.* 05.03.2025 tarihinde https://www.psychiatry.org/patients-families/seasonal-affective-disorder adresinden edinilmiştir.

Any-Lamp. (2020). *Which colour temperature for LED.* 18.06.2024 tarihinde https://www.any-lamp.com/blog/which-colour-temperature-for-led adresinden edinilmiştir.

Artas Holding (t.y.). *Bilişim Vadisi İstanbul*. 06.02.2025 tarihinde https://www.artasholding.com/tr-tr/proje/bilisim-vadisi-istanbul/ adresinden edinilmiştir.

Aydınlatma Türk Milli Komitesi, (2024, 23 Mayıs). *Aydınlatma ve Işık Günü Prof. Dr. Rengin Ünver sunum dosyası*. 17.06.2024 tarihinde www.atmk.org.tr adresinden edinilmiştir.

Aykan Yapi. (2022). *Yalıtımlı cam nedir?* 20.07.2024 tarihinde https://aykanyapitasarim.com/yalitimli-cam-nedir adresinden edinilmiştir.

Carol M. Highsmith Arşivi (2011). *Kongre Kütüphanesi, Baskılar ve Fotoğraflar Bölümü'ndeki fotoğraflar.* 02.08.2024 tarihinde lccn.loc.gov/2011633764 adresinden edinilmiştir.

Dezeen. (2017, 14 Haziran). *Frank Lloyd Wright's Johnson Wax Administration Building headquarters opens as an office*. 20.02.2025 tarihinde https://www.dezeen.com/2017/06/14/frank-lloyd-wright-johnson-wax-administration-building-headquarters-racine-wisconsin-open-plan-office/ adresinden edinilmiştir.

DIAL GmbH. (2025). *Dialux.* 03.01.2025 tarihinde https://www.dial.de adresinden edinilmiştir.

Editverse (2018). *Işık terapisi ve ruh hali bozuklukları*. 09.12.2024 tarihinde https://editverse.com/tr/%C4%B1%C5%9F%C4%B1k-terapisi-ruh-hali-bozukluklar%C4%B1/ adresinden edinilmiştir.

Gürsan (t.y.). *Güneş kontrol camları.* 12.08.2024 tarihinde https://www.gursanglass.com.tr/gunes-kontrol-camlari/ adresinden edinilmiştir.

İzoder. (2009). *Yalıtım camı üniteleri.* 18.06.2024 tarihinde https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitim_cami_uniteleri.pdf adresinden edinilmiştir.

Kavaklı, H. (2018, Haziran 27). *2017 Nobel Tıp Ödülü: İçimizdeki biyolojik saatin işleyişi. Şarkac.* 20.11.2024 tarihinde https://sarkac.org/2017/10/2017-nobel-tip-odulu-icimizdeki-biyolojik-saatin-isleyisi/ adresinden edinilmiştir.

Lighting and Health (t.y.). *What is biodynamic lighting*. 17.02.2024 tarihinde http://lightinghealth.dns-systems.net/biodynamic-lighting-2/what-is-it/ adresinden edinilmiştir.

Litpa. (2019). *DFR-80*. 05.12.2024 tarihinde https://litpa.com.tr/dfr-80.html adresinden edinilmiştir.

Litpa. (2019). *MSG200-O*. 05.12.2024 tarihinde https://litpa.com.tr/msg200-o.html adresinden edinilmiştir.

M. Ş. Sözen, (2020, 7 Ocak). *Sektörüm Dergisi.* 27.03.2024 tarihinde https://www.sektorumdergisi.com/aydinlatma/ adresinden edinilmiştir.

Modesco (2021). *Aydınlatma'da ışık renk sıcaklığı*. 22.02.2025 tarihinde https://www.modesco.com.tr/ adresinden edinilmiştir.

Özdaş, M. (2022). *Pencere camlarının türleri ve özellikleri. BilgiUstam.* 07.2024 tarihinde https://www.bilgiustam.com/pencere-camlarinin-turleri-ve-ozellikleri/ adresinden edinilmiştir.

Pelsan. (2024, Haziran 26). *İç mekân bahçe aydınlatma renk seçimi.* 03.12.2024 tarihinde https://pelsan.com.tr/blog/ic-mekan-bahce-aydinlatma-renk-secimi/ adresinden edinilmiştir.

Shineway Europe. (2023). *Thermochromic smart glass*. 01.04.2024 tarihinde https://www.shinewayeurope.eu/en/thermochromic-smart-glass/ adresinden edinilmiştir.

Solemma (2010). *Yeni bir sirkadiyen aydınlatma tasarım yazılımı (Alfa),* 18.11.2024 tarihinde https://www.solemma.com/alfa adresinden edinilmiştir. / Yazar tarafından Türkçe'ye çevrilmiştir.

Teknik Pencere. (2022). *Tek cam ile çift cam arasındaki fark. Teknik Pencere.* 22.07.2024 tarihinde https://www.teknikpencere.com/tek-cam-ile-cift-cam-arasindaki-fark/ adresinden edinilmiştir.

TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi. (t.y.). *Astronomi takvimi.* 15.08.2024 tarihinde https://tug.tubitak.gov.tr adresinden edinilmiştir.

U.S. Environmental Protection Agency. (t.y.). *Learn about sustainability*. 20.02.2025 tarihinde https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability adresinden edinilmiştir.

Wikipedia (2024). *Biyolojik saat.* 22.11.2024 tarihinde https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyolojik_saat adresinden edinilmiştir.

Yıldız Cam (2015). *Isıcam sinerji.* 06.02.2025 tarihinde https://yildizcam.com.tr/tr/urunler/yalitim-camlari/isicam/isicam-sinerji adresinden edinilmiştir.