EĞİTİM YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN BIM TABANLI GÜNIŞIĞI ANALİZİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIMA KATKILARI

Arta ÇUPİ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EĞİTİM YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN BIM TABANLI GÜNIŞIĞI ANALİZİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIMA KATKILARI

Arta ÇUPİ
0009-0009-7413-1912

Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

EĞİTİM YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN BIM TABANLI GÜNIŞIĞI ANALİZİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIMA KATKILARI

Arta ÇUPİ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER

Gün ışığı analizi, binaların iç mekanlarında doğal ışığın etkin kullanımıyla enerji tüketiminin azaltılması, görsel konforun artırılması ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu doğrultuda, gün ışığının bina tasarımındaki rolünü anlamak ve optimize etmek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

Tezin ilk bölümünde, çalışmanın amacı, kapsamı ve BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) entegrasyonlu gün ışığı analizine ilişkin temel bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde ise kuramsal çerçeve kapsamında BIM tabanlı yapı modellemesi ve simülasyon yöntemleri ele alınmış, doğal ve yapay aydınlatmanın enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiş ve eğitim yapılarında uygulanması gereken gün ışığı standartları ile kriterleri detaylı olarak değerlendirilmiştir.
Üçüncü bölümde, materyal ve yöntem kısmında, Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi binası örnek alınarak BIM tabanlı modelleme gerçekleştirilmiş ve Revit Insight yazılımı ile gün ışığı analizleri yapılmıştır. Farklı senaryolar geliştirilerek, iç mekanlarda gün ışığının en verimli şekilde optimize edilmesi hedeflenmiştir.
Dördüncü bölümde, mevcut gün ışığı performansı ilgili standartlar doğrultusunda değerlendirilmiş, gün ışığının yetersiz olduğu bölgelerde, yapay aydınlatmanın Dialux Evo yazılımı ile uygun entegrasyonu sağlanmıştır. Sonuç bölümünde ise, doğal aydınlatmanın farklı senaryolarla optimize edilmesi ve yapay aydınlatma desteği ile enerji tüketiminin minimize edilmesi hedeflenmiş, böylece sürdürülebilir ve enerji verimli bina tasarımı kapsamında önemli katkılar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gün ışığı analizi, doğal aydınlatma, BIM modelleme, enerji verimliliği

2025, xvii + 113 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

CONTRIBUTIONS OF BIM-BASED DAYLIGHT ANALYSIS TO SUSTAINABLE DESIGN IN EDUCATIONAL BUILDINGS IN TERMS OF ENERGY EFFICIENCY

Arta ÇUPİ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER

Daylight analysis is becoming increasingly important for reducing energy consumption, enhancing visual comfort, and achieving sustainability goals through the effective use of natural light in building interiors. In this context, a comprehensive literature review was conducted to understand and optimize the role of daylight in building design.

In the first chapter of the thesis, the aim and scope of the study, as well as the fundamental concepts of BIM (Building Information Modeling)-integrated daylight analysis, are presented. The second chapter addresses BIM-based building modeling and simulation methods within the theoretical framework, examining the effects of natural and artificial lighting on energy efficiency and sustainability, and provides a detailed evaluation of daylight standards and criteria applicable to educational buildings. In the third chapter, within the materials and methods section, BIM-based modeling was performed using the Faculty of Architecture building at Bursa Uludağ University as a case study, and daylight analyses were carried out using Revit Insight software. Different scenarios were developed to optimize daylight utilization within interior spaces as efficiently as possible. In the fourth chapter, the existing daylight performance was evaluated in accordance with relevant standards, and in areas where daylight was insufficient, appropriate artificial lighting integration was achieved using Dialux Evo software. In the conclusion, the optimization of natural lighting through various scenarios, together with artificial lighting support to minimize energy consumption, is presented, thus providing significant contributions to sustainable and energy-efficient building design.

Key words: Daylight analysis, natural lighting, BIM modelling, energy efficiency

2025, xvii + 113 pages.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, BIM tabanlı gün ışığı analizinin enerji verimliliğine olan katkıları ele alınmış ve bu analizlerin sürdürülebilir bina tasarımına entegrasyonu incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, gün ışığının bina performansına etkisini anlamak ve daha verimli tasarımlar geliştirmek adına önemli bir kaynak oluşturmuştur. Bu süreçte edindiğim bilgiler, akademik ve mesleki gelişimime büyük katkı sağlamış olup, bu desteği sağlayan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın her aşamasında yol gösterici olan değerli danışmanım Prof. Dr. Filiz Şenkal Sezer'e, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak süreci daha verimli hale getirdiği için sonsuz minnettarım. Akademik çalışmalarım boyunca bilgi ve deneyimlerini paylaşan Arş. Gör. Dr. Egemen Kaymaz'a, desteklerini esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan dostlarıma da içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu çalışmanın ortaya çıkmasında emeği geçen tüm akademisyenlere, teknik destek sağlayan uzmanlara ve araştırmalarıma katkıda bulunan kişi ve kurumlara şükranlarımı sunarım. Bu tezin, sürdürülebilir bina tasarımı alanında çalışan araştırmacılar ve profesyoneller için faydalı bir kaynak olması, benim için en büyük mutluluk olacaktır, bu vesileyle teşekkürlerimi sunarım.

Arta ÇUPİ
07/10/2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii

ABSTRACT ix

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR x

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xii

1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1 BIM (Building Information Modeling) 4
2.1.1. BIM Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları 7
2.1.2. BIM Boyutları ve İnşaat Sektöründeki Temel Faydaları 10
2.1.3. BIM Modelleme Yazılımları 14
2.2 BIM Tabanlı Gün Işığı ve Doğal Aydınlatma Analizleri 17
2.2.1. BIM Entegrasyonlu Gün Işığı Simülasyon Araçları 22
2.2.2. Insight Simülasyonu ile Günışığı Performans Kriterlerinin Analizi 25
2.2.3. Mekan Tasarımında Doğal ve Yapay Aydınlatmanın Entegrasyonu ve Standartlarının İncelenmesi 32
2.2.4. BIM Tabanlı Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik 37
2.2.5. Eğitim Binalarında Aydınlatma Tasarım Kriterleri 44
3. MATERYAL ve YÖNTEM 52
3.1 Çalışma Alanının Tanımlanması 52
3.2 BIM Modelleme Süreci ve Kullanılan Yazılımlar 58
3.3 Mevcut Durum Gün Işığı Performans Analizleri 62
3.3.1. Gün Işığı Dağılımı ve Aydınlatma (Illuminance) Analizi 62
3.3.2. Gün Işığı Faktörü (Daylight Factor) Analizi 67
3.4. Gün Işığı Optimizasyon Sonrasında Simülasyon Tabanlı Performansın İncelenmesi 71
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 77
4.1 Mevcut Gün Işığı Performansının Değerlendirilmesi 77
4.2 Yapay Aydınlatma Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Dialux Analiz Çalışmaları 82
4.3. Doğal ve Yapay Aydınlatmanın Entegrasyonu 90
5. SONUÇ 106

KAYNAKLAR 109

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
DT	Hedef günışığı düzeyi [%]
DTM	Minimum hedef günışığı düzeyi [%]
Eexternal	Engel bulunmayan noktadaki yatay dış aydınlık düzeyi [lx]
Einternal	Referans noktasındaki yatay iç aydınlık düzeyi [lx]
ETM	Hedef minimum aydınlık düzeyi [lx]
Ēm	Gerekli aydınlık düzeyi [lx]
Lx	Lüx
Ra	Renk geriverim indeksi
UGRL	Kamaşma sınırları
U_o	Üniformite (aydınlığın düzgünlük oranı)
%	Yüzde, oran ifadesi

Kısaltmalar	**Açıklama**
3D	Üç Boyutlu
4D	Dört Boyutlu
5D	Beş Boyutlu
6D	Altı Boyutlu
7D	Yedi Boyutlu
8D	Sekiz Boyutlu
9D	Dokuz Boyutlu
10D	On Boyutlu
ADF	Ortalama Günışığı Faktörü
AEC	Architecture, Engineering, and Construction
BDS	Buiding Description System
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
BIM	Building Information Modeling
BMP	Bitmap
BPM	Building Product Model
BS EN	İngiliz Standardı - Avrupa Standardı
CO_2	Karbondioksit
CRI	Renk Geriverimi İndeksi
DF	Daylight Factor
DGN	Design
DGP	Günışığı Kamaşma Olasılığı
DT	Digital Twin
DWF	Design Web Format
DWG	Drawing
DXF	Drawing Exchange Format
GBI	Green Building İndex
GBM	Generic Building Model
gbXML	Green Building XML
GLIDE	Graphical Language for Interactive Design
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning

IAI	Industry Alliance for Interoperability
IFC	İndustry Foundation Classes
JPG / JPEG	Joint Photographic Experts Group
ODBC	Open Database Connectivity
SKP	SketchUp
TS EN	Türk Standardları Enstitüsü - Avrupa Standardı
UDI	Useful Daylight Illuminance
YBM	Yapı Bilgi Modellemesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	BIM kavramının görsel temsili (Azhar et al., 2012)	4
Şekil 2.2.	Proje Paydaşları Arasındaki İlişkiler (Bhangale, M.K. & Bhangale, P., 2020)	5
Şekil 2.3.	BIM Kavramının Görsel Sunumu (Azhar et al., 2012)	7
Şekil 2.4.	BIM yazılım geliştiricilerinin kuruluş yılları (Kalkan ve diğerleri, 2018)	7
Şekil 2.5.	BIM'in 1970'lerden günümüze evrimi (Sinoh, Ibrahim, Othman, ve Muhammad, 2020)	8
Şekil 2.6.	BIM'in Boyutları (BuildEXT, 2022)	11
Şekil 2.7.	Gün ışığının gökyüzü koşullarına göre farklılaşması (Lechner, 1991)	21
Şekil 2.8.	Pencere biçimi ile konumunun, iç mekan gün ışığı dağılımına etkisi (Loe et al., 1999)	21
Şekil 2.9.	Insight Aydınlatma Analizi - Analiz ve Çevre Ayarları (Autodesk, 2017)	27
Şekil 2.10.	Daylight Factor Analizin Bulut Tabanlı Aydınlatma Ayarları (Autodesk, 2017)	29
Şekil 2.11.	(a) Sıcak İklim Koşullarında Pasif Soğutma Stratejileri (b) Soğuk İklim Koşullarında Isıl Kütleye Dayalı Pasif Stratejiler (Gallo, 1994).	38
Şekil 2.12.	Bina Yönelimi ve Güneşin Hareketine Dayalı Konumlandırma Örneği (Mytafides et al., 2017)	39
Şekil 2.13.	Güneş Kontrolünde Yatay Saçakların Rolü (Donn et al., 2010)	40
Şekil 2.14.	Eğitim Yapılarında Uygulanan Farklı Tasarım Formları (Zhang et al., 2017)	45
Şekil 2.15.	Sınıflarda Optimum Aydınlatma Tasarımı (Ulusan & Fitöz, 2017; Loe ve ark., 1999)	47
Şekil 3.1.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin Google Earth'ten üst ölçekli görünümü.	52
Şekil 3.2.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin dış cephe görünümü.	53
Şekil 3.3.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi zemin kat planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)	53
Şekil 3.4.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi birinci kat planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)	54
Şekil 3.5.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi çatı katı planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)	54
Şekil 3.6.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin güneybatı cephesi. A) Cephenin genel görünümü (fotoğraf) B) Güneybatı cephesinin yakın plandan görünümü C) Revit modelinde güneybatı cephesinin görünümü	55
Şekil 3.7.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin kuzeybatı ve güneydoğu cephesi. A) Güneydoğu cephesinin fotoğrafı B) Kuzeybatı cephesinin fotoğrafı C) Güneydoğu cephesinin Revit modelinden görünümü D) Kuzeybatı cephesinin Revit modelinden görünümü	56
Şekil 3.8.	Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin kuzeybatı cephesi. A) Kuzeybatı cephesinin genel görünümü B) Kuzeybatı cephesinin yakın plandan görünümü C) Kuzeybatı cephesinin Revit modelinden görünümü	57

Şekil 3.9. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin avlu görünümü. A) Perspektif 1 B) Perspektif 2 C) Perspektif 3 57
Şekil 3.10. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin çatı görünümü. A) Perspektif 1 B) Perspektif 2 58
Şekil 3.11. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin Revit Modeli. A) Perspektif 1 B) Perspektif 2 59
Şekil 3.12. Mimarlık Fakültesi BIM Modelinin Kuzey Yönüne Göre Yerleşimi. 60
Şekil 3.13. Room (Oda) ve Space (Mekan) elemanlarının Revit üzerindeki gösterimi..... 61
Şekil 3.14. Konumun Gösterimi 61
Şekil 3.15. Lighting aracının seçilmesi 61
Şekil 3.16. Zemin Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 63
Şekil 3.17. Birinci Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 64
Şekil 3.18. Çatı Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 66
Şekil 3.19. Zemin Katın Daylight Factor Dağılım Haritası 68
Şekil 3.20. Birinci Katın Daylight Factor Dağılım Haritası..... 69
Şekil 3.21. Çatı Katın Daylight Factor Dağılım Haritası 71
Şekil 3.22. Zemin Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 72
Şekil 3.23. Birinci Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 74
Şekil 3.24. Çatı Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası 75
Şekil 4.1. Zemin katın DIALux ile lamba yerleşim planı 85
Şekil 4.2. Birinci katın DIALux ile lamba yerleşim planı 87
Şekil 4.3. Çatı katın DIALux evo ile lamba yerleşim planı 89
Şekil 4.4. Zemin kat aydınlatma performans analizi , DIALux evo hesaplama verileri. A) Plan görünümü (DIALux evo hesaplama verileri) B) Perspektif görünümü (DIALux aydınlatma simülasyonu)..... 91
Şekil 4.5. Sınıf alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 92
Şekil 4.6. WC alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 93
Şekil 4.7. İdari odanın çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 94
Şekil 4.8. Kantin alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 94
Şekil 4.9. Birinci kat aydınlatma performans analizi , DIALux evo hesaplama verileri. 95
Şekil 4.10. Toplantı odasının çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 96
Şekil 4.11. Öğretmenler odasının çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 97
Şekil 4.12. Konferans salonun çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 97
Şekil 4.13. WC alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 98

Şekil 4.14. Koridor alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 99
Şekil 4.15. Çatı katı aydınlatma performans analizi, DIALux evo hesaplama verileri. A) Plan görünümü (DIALux evo hesaplama verileri) B) Perspektif görünümü (DIALux aydınlatma simülasyonu)..... 100
Şekil 4.16. Sarı Salon çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 101
Şekil 4.17. Depo alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri..... 102
Şekil 4.18. Koridor alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.....102
Şekil 4.19. İdari alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.....103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Revit eklentisine sahip farklı gün ışığı analiz yazılımlarının karşılaştırılması (Miri & Ashtari, 2022)..... 23
Çizelge 2.2. Insight Yazılımının Analiz Türleri (Autodesk, 2017)..... 26
Çizelge 2.3. Insight Yazılımının Analiz Türleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur)28
Çizelge 2.4. Daylight Factor Analizinin Optimum Değerler (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 31
Çizelge 2.5. BS EN 12464-1:2021a'e göre Kamuya Açık Mekanlar – Kütüphaneler..... 37
Çizelge 2.6. TS EN 12464-1'e göre çalışma alanları aydınlatma standartları (Özen & Sümengen, 2022)..... 46
Çizelge 4.1. TS EN 17037+A1 Standardına Göre Düşey ve Eğik Yüzeylerde Gün Işığı Açıklıkları ile Gün Işığı Sağlama Önerileri 77
Çizelge 4.2. TS EN 17037+A1 Standardına Göre Yatay Yüzeylerde Gün Işığı Açıklıkları ile Gün Işığı Sağlama Önerileri 78
Çizelge 4.3. Zemin Kat - Analiz Sonuçları (Insight, Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 79
Çizelge 4.4. Zemin Kat - Uygunluk Tablosu ve Karşılaştırma (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 79
Çizelge 4.5. Birinci Kat - Analiz Sonuçları (Insight – Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 80
Çizelge 4.6. Birinci Kat - Uygunluk Tablosu ve Karşılaştırma (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 81
Çizelge 4.7. Çatı Katı - Analiz Sonuçları (Insight , Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 81
Çizelge 4.8. Uygunluk Değerlendirme Tablosu - Çatı Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 82
Çizelge 4.9. TS EN 12464-1 Standardına Göre Eğitim Yapıları İçin Aydınlatma Kriterleri..... 83
Çizelge 4.9. TS EN 12464-1 Standardına Göre Eğitim Yapıları İçin Aydınlatma Kriterleri (devam)..... 84
Çizelge 4.10. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Zemin Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 86
Çizelge 4.11. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Birinci Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 88
Çizelge 4.12. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Çatı Katı (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 90
Çizelge 4.13. Aydınlatma Analizi Karşılaştırması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)..... 105

1. GİRİŞ

Antik dönemlerden günümüze kadar doğal ışık, insanların yaşam mekanlarında görsel konforu sağlamak amacıyla kullanılan temel unsurlardan biri olmuştur. İnsan var oldukça barınma mekanlarında ışığın varlığı da kaçınılmaz olmaktadır. Mimarlık tarihi boyunca ışık, dönemin anlayışı ve teknolojik imkanları çerçevesinde mekanlarda kullanılmaktadır. Doğal ışığı etkin biçimde kullanan mimarlar, tasarımlarında ışığı yalnızca işlevsel bir unsur olarak değil, aynı zamanda anlamsal ve psikolojik bir boyut taşıyan bir öğe olarak değerlendirmektedirler. Bu doğrultuda, birçok yapının mekansal ve strüktürel kurgusu da ışığın üstlendiği anlamsal role göre biçimlenmektedir (Yıldız, 1995).

Doğal ışık, sürdürülebilir yapılar için en basit ve etkili yöntemlerden biri olarak görülmektedir. İç mekanlara gün ışığının dahil edilmesi, enerji kazanımını artırmakta ve yapı performansına katkı sağlamaktadır. Gün ışığının bir tasarım öğesi olarak değerlendirilmesi, yalnızca aydınlatma işlevi ile sınırlı kalmamakta, mekanın biçimlenişi, kullanılan elemanların tasarımı, yaratılan atmosfer ve istenilen anlamsal etkilerle birlikte düşünülmektedir. Bu nedenle, doğal ışığın mekan içinde tasarımsal bir unsur olarak ele alınması, farklı mekansal anlamların ve özgün sonuçların ortaya çıkmasına imkan tanımaktadır (Bahar & Yalçınkaya, 2021).

Günümüzde sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kullanıcı konforu odaklı tasarım anlayışı, mimari projelerin vazgeçilmez unsurları arasında yer almaktadır. Doğal ışığın tasarımda sistematik olarak ele alınması, iç mekanın kullanım kalitesini yükseltmekte ve kullanıcıların mekana olan bağlılığını güçlendirmektedir. Tasarım sürecinin erken aşamalarında Bina Bilgi Modellemesi (BIM) tabanlı gün ışığı analizlerinin kullanılması, mimarlara ve mühendislik disiplinlerine güçlü bir karar destek aracı sunmaktadır. BIM tabanlı simülasyonlar sayesinde farklı senaryolar tasarımın ilk evrelerinde test edilebilmekte, böylece hem daha doğru tasarım kararları alınmakta hem de enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir katkı sağlanmaktadır. Bu nedenle, BIM tabanlı gün ışığı analizlerinin tasarım sürecine entegrasyonu, yalnızca teknolojik bir yenilik değil, aynı zamanda çağdaş mimari pratiklerde ayrılmaz bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde Türkiye'de ve dünyada inşaat sektöründe Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ile önemli bir dönüşüm yaşanmaktadır. Projelerin yaşam döngüsü boyunca verimliliği artıran, zaman ve emek kayıplarını en aza indiren ve paydaşlara işbirliğine dayalı bir süreç sunan BIM, sektörün yenilikçi yaklaşımını temsil etmektedir. Ancak uygulama pratiğinde, tasarım ve yapım süreçlerinde beklenen işbirliği çoğu zaman çeşitli nedenlerle kesintiye uğramaktadır. Özellikle Türkiye'de yapılan akademik çalışmalarda BIM adaptasyonunun süreç, teknoloji ve işleyiş boyutları ele alınsa da, kullanıcıların işbirliği becerisinin bu süreçteki belirleyici etkisi büyük ölçüde göz ardı edilmektedir. Bu durum, konunun daha kapsamlı ve özelleşmiş akademik incelemelerle derinleştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Gün ışığı ve doğal aydınlatma konuları literatürde sınırlı sayıda çalışmada ele alınmış olup, bu tez çalışması, BIM tabanlı gün ışığı analizlerinin tasarım sürecine entegrasyonunu sistematik bir şekilde inceleyerek bu boşluğu doldurmaktadır. Çalışmanın akademik katkısı, doğal ışık kullanımının sürdürülebilir tasarım ve enerji verimliliği bağlamında bilimsel olarak değerlendirilmesini sağlamaktır. Teknik açıdan, BIM tabanlı simülasyonların tasarım kararlarını destekleyen bir araç olarak kullanımının somut avantajlarını ortaya koymaktadır. Toplumsal açıdan ise, enerji verimli ve konforlu eğitim mekanlarının tasarımına yönelik rehberlik sunarak kullanıcıların yaşam kalitesine dolaylı katkı sağlamaktadır.

Enerji verimliliği ve kullanıcı odaklı mekan tasarımında doğal aydınlatmanın rolü, günümüzde giderek daha belirleyici bir nitelik kazanmıştır. Özellikle eğitim yapıları gibi uzun süreli kullanıma sahip mekanlarda, bu unsurun erken tasarım sürecinde etkin biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının araştırma problemini, tükenebilir enerji kaynaklarının giderek azaldığı ve küresel ölçekte enerji tüketiminin ciddi boyutlara ulaştığı günümüzde, mimari tasarım yaklaşımında doğal ışığın etkin kullanımının yeterince ele alınamamasından kaynaklanan sorunlar oluşturmaktadır. Enerji tüketiminin önemli bir kısmı yapılardan kaynaklanmakta olup, bu durum özellikle eğitim yapıları gibi mekanlarda enerji verimliliğini kritik hale getirmektedir. Çalışmanın çıkış noktası, enerjiye bağımlılığın azaltılması ve sürdürülebilir tasarım ilkelerinin güçlendirilmesi için gün ışığından en üst

düzeyde yararlanmanın bilimsel olarak nasıl sağlanabileceği sorusuna dayanmakta, bu doğrultuda "BIM tabanlı gün ışığı analizleri, erken tasarım sürecinde enerji verimliliğine nasıl ölçülebilir katkılar sunabilir?" sorusu temel araştırma problemi olarak ortaya konmaktadır. Bu bilimsel sorgulama, küresel sürdürülebilirlik hedefleri ile ulusal enerji stratejileri arasındaki ilişkiye odaklanmakta ve gün ışığı tasarımının hem çevresel hem de ekonomik boyutlarda kritik bir etken olduğunu göstermeyi amaçlamaktadır.

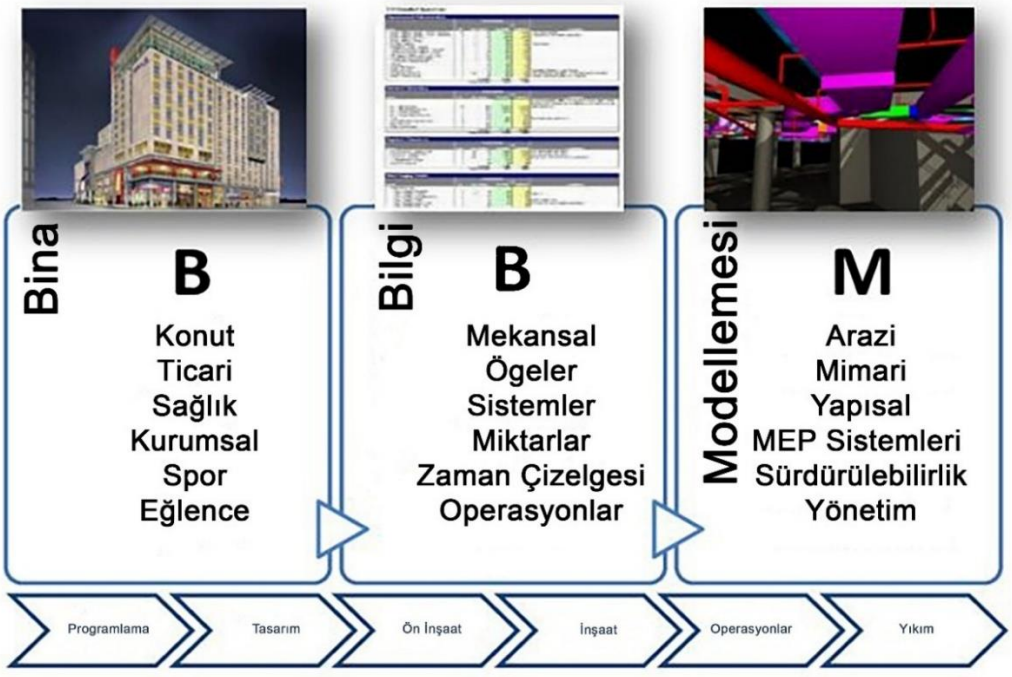
Tez çalışmasının temel amacı, tasarım sürecinin erken aşamalarında Bina Bilgi Modellemesi (BIM) tabanlı gün ışığı analizlerinin etkinliğini ortaya koymak ve bu analizlerin enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve kullanıcı konforu üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Çalışma, BIM tabanlı gün ışığı simülasyonlarının tasarım sürecinde karar destek sistemleri olarak sağladığı avantajları belirlemeyi, farklı gün ışığı senaryolarının iç mekan performansına etkilerini incelemeyi, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kriterleri bağlamında analizlerin katkısını ölçmeyi ve mimari tasarımın görsel ve fonksiyonel kalitesini artırmadaki rollerini ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım, hem akademik literatüre hem de uygulamaya doğrudan katkı sağlayarak, gün ışığı kullanımının tasarım süreçlerindeki kritik önemini vurgulamaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde BIM (Building Information Modeling) kavramı ele alınmış, tarihsel gelişimi, uygulama alanları ve inşaat sektörüne sağladığı temel faydalar açıklanmıştır. Devamında BIM tabanlı gün ışığı ve doğal aydınlatma analizleri incelenmiş, bu kapsamda simülasyon araçlarının entegrasyonu, Insight kullanılarak gün ışığı performans kriterlerinin değerlendirilmesi ve enerji verimliliği ile sürdürülebilirlik bağlamındaki katkılar tartışılmıştır. Son olarak eğitim binalarında aydınlatma tasarım kriterleri üzerinde durularak konunun kuramsal çerçevesi oluşturulmuştur.

2.1 BIM (Building Information Modeling)

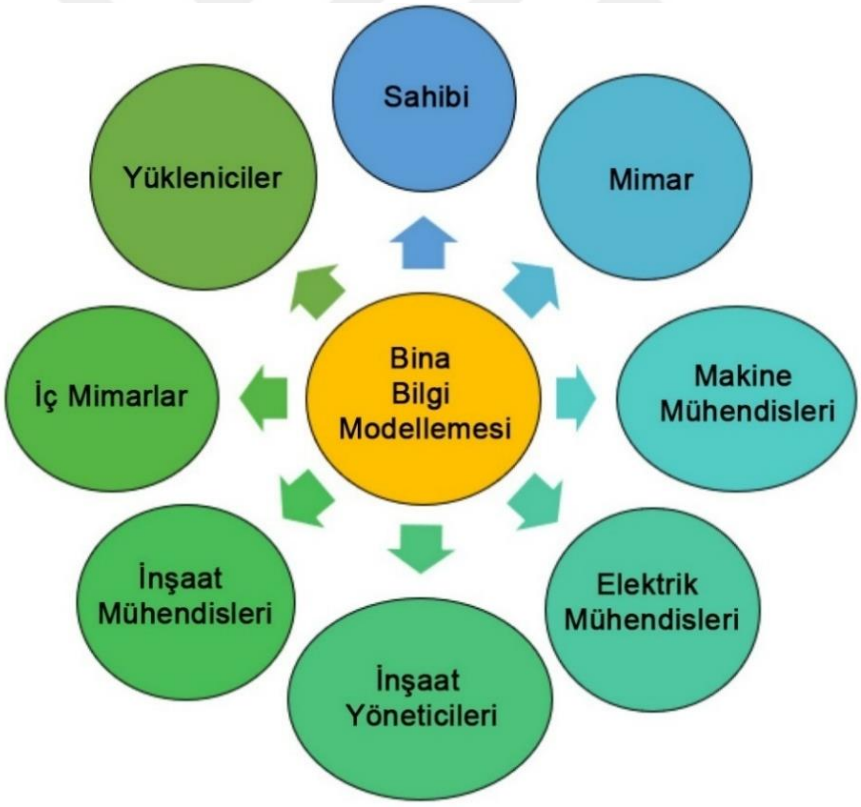
Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), uluslararası literatürde Building Information Modeling (BIM) olarak adlandırılan ve mimarlık, mühendislik ile inşaat (AEC) sektörlerinde son yıllarda hızla yayılan dijital bir tasarım ve yönetim yaklaşımıdır. BIM (Building Information Modeling) kavramını üç temel bileşen üzerinden tanımlamaktadır: Building (yapı türleri), Information (bilgi türleri) ve Modeling (modelleme kapsamı) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. BIM kavramının görsel temsili (Azhar et al., 2012)

Afsari (2012), BIM'in konsept tasarım aşamasına entegrasyonunun, tasarım sürecini ve tasarımcıların karar alma süreçlerini önemli ölçüde dönüştürdüğünü belirtmektedir. BIM, projelerin üç boyutlu dijital ortamda modellenmesine olanak tanırken, disiplinler arası işbirliğini güçlendirmekte, tasarım hatalarını azaltmakta ve proje süresini kısaltmaktadır (Azhar, 2011). Afsari'ye (2012) göre, BIM'in sunduğu en büyük avantajlardan biri, tasarım sürecinin erken aşamalarında bina modellemesini dijital ortamda görselleştirme ve simüle etme olanağı sunmasıdır. Bu özellik, tasarımcıların fikirlerini somutlaştırmalarını ve farklı tasarım alternatiflerini hızla incelemelerini sağlar.

Farklı paydaşların aynı modeli kullanabilmesi, temsilde bütünlüğü güçlendirerek revizyon sürecini kolaylaştırmakta ve veri dönüştürme, tekrarlı veri üretimi ile ek koordinasyon gereksinimlerini önemli ölçüde azaltmaktadır (Ofluoğlu, 2014) (Şekil 2.2).



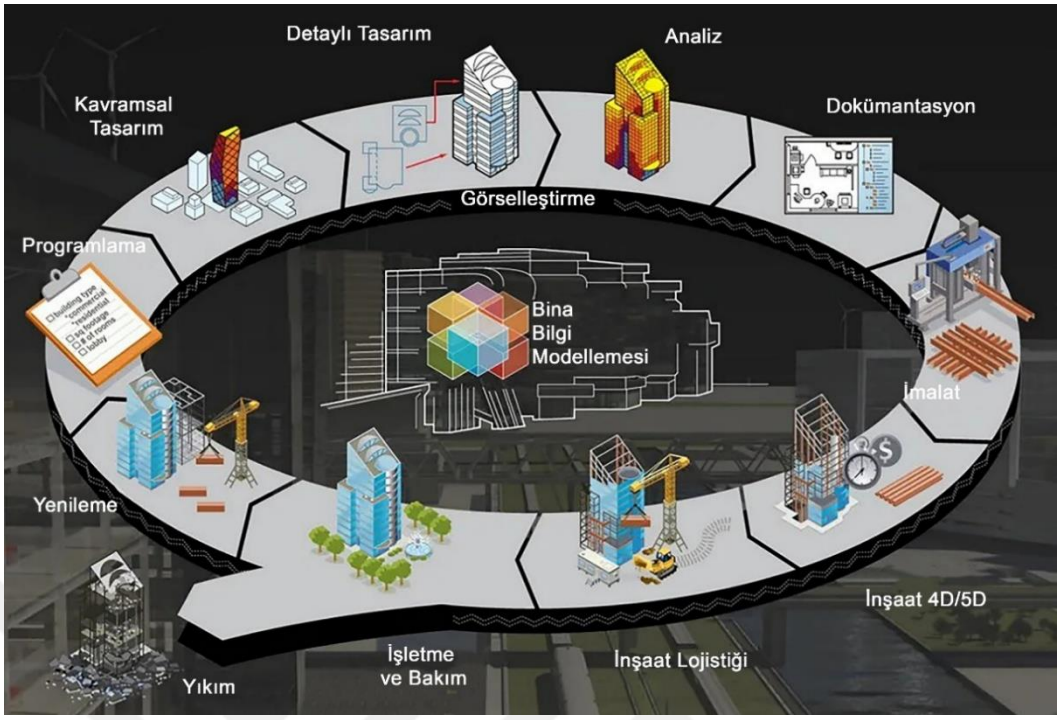
Şekil 2.2. Proje Paydaşları Arasındaki İlişkiler (Bhangale, M.K. & Bhangale, P., 2020)

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), tasarım, projelendirme, yapım ve işletme süreçlerinin tümünde aktif olarak kullanılabilen, bu aşamalardaki ilerleyişe doğrudan katkı sağlayan

bütünleşik bir sistem niteliğindedir. Kullanılan YBM yazılımlarının teknik özelliklerine bağlı olarak, sisteme veri girişi yapılabilmekte veya mevcut veriler güncellenebilmektedir. Çok sayıda paydaşın farklı formatlardaki verilerinin bir araya getirildiği bu yapı, proje sürecindeki gelişmelere paralel olarak sürekli güncellenmekte ve böylece dinamik bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Bu yönüyle YBM, proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında verimlilik, koordinasyon ve bilgi sürekliliği sağlamaktadır (Akkaya, 2012).

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), tasarım, projelendirme, yapım ve işletme süreçlerinin tümünde aktif olarak kullanılabilen, bu aşamalardaki ilerleyişe doğrudan katkı sağlayan bütünleşik bir sistem niteliğindedir. Kullanılan YBM yazılımlarının teknik özelliklerine bağlı olarak, sisteme veri girişi yapılabilmekte veya mevcut veriler güncellenebilmektedir. Çok sayıda paydaşın farklı formatlardaki verilerinin bir araya getirildiği bu yapı, proje sürecindeki gelişmelere paralel olarak sürekli güncellenmekte ve böylece dinamik bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Bu yönüyle YBM, proje yaşam döngüsünün tüm aşamalarında verimlilik, koordinasyon ve bilgi sürekliliği sağlamaktadır (Akkaya, 2012).

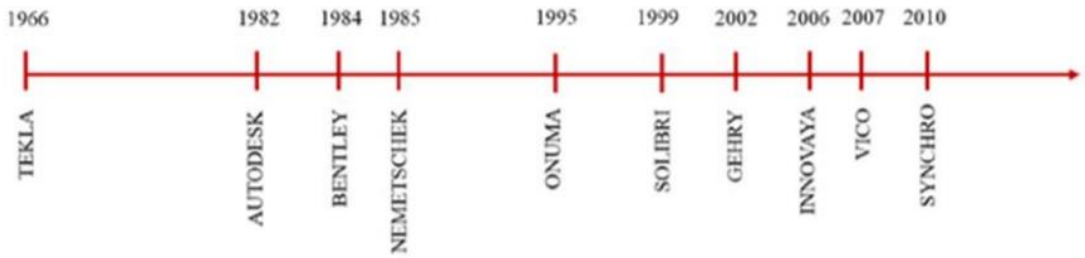
Yapının yaşam döngüsü, programlama aşaması ile başlayarak, konsept tasarım, detaylı tasarım, analiz, dokümantasyon ve fabrikasyon desteği ile devam etmektedir. Ardından maliyet, zaman ve lojistik planlamalarının yapılmasıyla yapım aşamasına geçilmektedir. İşletme ve bakım süreçlerinden sonra ise yapı, ömrünü tamamladığında yıkım süreciyle yaşam döngüsünü sonlandırmakta ya da yenileme ve yeniden işlevlendirme çalışmalarıyla sürecine tekrar dahil olmaktadır (Bakır, 2020) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. BIM Kavramının Görsel Sunumu (Azhar et al., 2012)

2.1.1. BIM Tarihsel Gelişimi ve Uygulama Alanları

BIM teknolojisi günümüzde birçok ülkede inşaat sektörünün vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Son yıllarda önemi giderek artsa da, bu sistemin temelleri uzun yıllar öncesine dayanmaktadır (Kalkan et al., 2018) (Şekil 2.4).

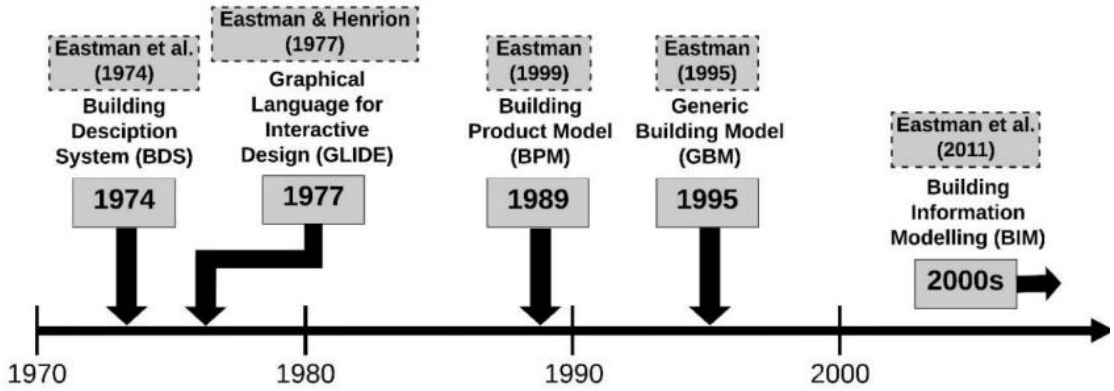


Şekil 2.4. BIM yazılım geliştiricilerinin kuruluş yılları (Kalkan ve diğerleri, 2018)

Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) yazılımlarının gelişmesinin başlıca sebeplerinden biri, uzun yıllar yapı sektöründe yaygın olarak yalnızca proje çizimi amacıyla kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) yazılımlarının belirli yetersizlikleridir. Bu

eksikliklerin en önemlilerinden biri, proje revizyon süreçlerindeki zorluklardır. BDT yazılımları, sağladıkları katkılara rağmen, yerini aldıkları geleneksel kağıt ve cetvel tabanlı yöntemlerle benzer şekilde plan, kesit ve görünüş gibi tasarım temsillerini ayrı ayrı üretmeye devam etmiştir. Bu temsillerin birbirinden bağımsız üretilmesi, özellikle büyük ölçekli projelerde tüm proje belgelerinde tutarlı revizyon yapılmasını güçleştirmekte ve her belgenin tek tek güncellenmesini zorunlu kılmaktadır (Ofluoğlu, 2014).

İnşaat sektöründe dijitalleşme süreci, uzun süre basılı dokümanlara dayalı geleneksel yöntemlerin kullanılması nedeniyle gecikmiştir. Sektördeki dönüşüm, 1970'li yıllarda bilgisayar destekli tasarım teknolojilerinin ortaya çıkmasıyla başlamaktadır (Sinoh, Ibrahim, Othman, ve Muhammad, 2020). Bu dönemde Charles Eastman tarafından geliştirilen Building Description System (BDS), günümüzdeki Bina Bilgi Modellemesi (BIM) yaklaşımının öncülü olarak kabul edilmektedir (Eastman et al., 1974). BDS, yapı elemanlarının dijital ortamda tanımlanmasına ve yönetilmesine olanak tanıyan bir sistemdir. BDS'nin sağladığı bu dijital modelleme anlayışı, ilerleyen yıllarda farklı sistemlerin ortaya çıkmasıyla geliştirilerek gelişime uğramıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. BIM'in 1970'lerden günümüze evrimi (Sinoh, Ibrahim, Othman, ve Muhammad, 2020)

1977'de Graphical Language for Interactive Design (GLIDE), modelleme doğruluğunu artıran önemli bir adım olmuştur (Eastman & Henrion, 1977). 1989'da Building Product Model (BPM) ile maliyet tahmini gibi yeni işlevler eklenmiş (Eastman, 1999) ve 1995'te Generic Building Model (GBM) ile model içerisinde bina tiplerinin tanımlanabilmesi

sağlanmıştır (Eastman, 1995). 2000'li yıllara gelindiğinde, parametrik üç boyutlu modelleme teknolojilerindeki gelişmeler, BIM'in mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektöründe yaygın olarak benimsenmesine zemin hazırlamaktadır (Eastman et al., 2011; Azhar et al., 2012). Böylece, yaklaşık kırk yılı aşan bir süreç sonunda, farklı teknolojik gelişmelerin birleşmesiyle modern BIM kavramı oluşmaktadır (Sinoh, Ibrahim, Othman, ve Muhammad, 2020).

Bina Bilgi Modellemesi (BIM) kavramının terminolojik kökeni incelendiğinde, "Building Model" ifadesinden "Building Information Model" terimine geçişin kısa bir süreçte gerçekleştiği görülmektedir. Eastman et al., (2008), bu terimin İngilizce literatürde ilk kez 1992 yılında Automation in Construction dergisinde yayımlanan ve G.A. van Nederveen ile F. Tolman tarafından yazılan "Modeling Multiple Views on Buildings" adlı çalışmada kullanıldığını belirtmektedir.

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), yalnızca tasarım sürecinde değil, yapıların planlama, inşaat ve işletme aşamalarında da çok çeşitli uygulama olanakları sunmaktadır. Azhar (2011) çalışmasında, BIM'in proje yaşam döngüsünde farklı disiplinler tarafından kullanılabilecek başlıca uygulama alanları kapsamlı şekilde ortaya konulmuştur.

A: Görselleştirme (Visualization): BIM, üç boyutlu (3D) görselleştirmelerin hızlı ve düşük maliyetle oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede tasarım ekipleri, projeyi hem teknik ekiplere hem de paydaşlara gerçekçi görsellerle sunabilmekte, olası tasarım kararlarının etkilerini erken aşamada değerlendirebilmektedir (Azhar, 2011).

B: İmalat ve Atölye Çizimleri (Fabrication/Shop Drawings): BIM modelleri, mekanik, elektrik ve havalandırma (MEP) sistemleri gibi çeşitli bina bileşenlerinin atölye çizimlerinin otomatik olarak üretilmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin, model tamamlandığında sac hava kanalı sistemine ait detaylı imalat çizimleri doğrudan elde edilebilmektedir (Azhar, 2011).

C: Kod ve Yönetmelik İncelemeleri (Code Reviews): Yangın güvenliği birimleri veya ilgili resmi kurumlar, BIM modellerini kullanarak projelerin yürürlükteki yönetmeliklere uygunluğunu daha etkin şekilde değerlendirebilmektedir. Bu durum, onay süreçlerini

hızlandırmakta ve olası eksikliklerin erken tespit edilmesine imkan tanımaktadır (Azhar, 2011).

D: Adli Analiz ve Sorun İncelemeleri (Forensic Analysis): BIM, olası yapı hasarları, sızıntılar veya acil tahliye senaryoları gibi durumların görsel olarak analiz edilmesine imkan verir. Bu yetenek, özellikle risk analizi, bakım planlaması ve güvenlik stratejilerinin geliştirilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır (Azhar, 2011).

E: Tesis Yönetimi (Facilities Management): Tesis yönetim birimleri, BIM verilerini yenileme projeleri, alan planlaması ve bakım operasyonlarında etkin şekilde kullanabilmektedir. Dijital model, yapının tüm fiziksel ve teknik özelliklerini içerdiğinden, bakım ve onarım faaliyetlerinin planlanmasında kritik bir rol oynamaktadır (Azhar, 2011).

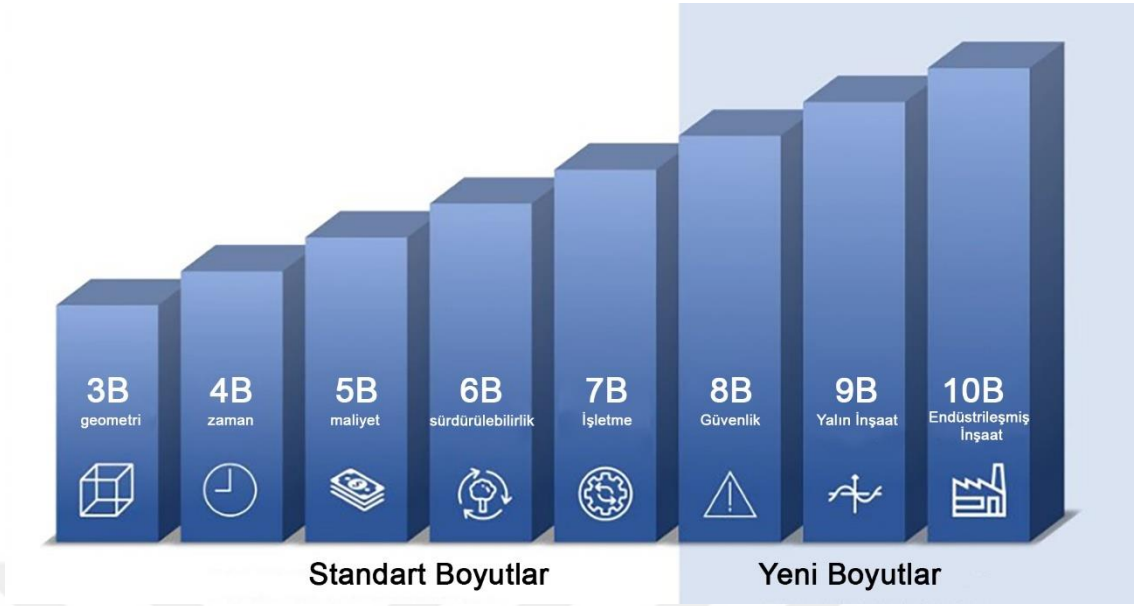
F: Maliyet Tahmini (Cost Estimating): BIM yazılımlarında yer alan maliyet tahmini modülleri, malzeme miktarlarını otomatik olarak çıkarabilmekte ve modelde yapılan değişiklikler anında maliyet hesaplarına yansıtılabilmektedir. Bu özellik, bütçe kontrolünü ve kaynak yönetimini daha doğru hale getirmektedir (Azhar, 2011).

G: İnşaat Sıralaması ve Lojistik Planlama (Construction Sequencing): BIM, malzeme siparişi, imalat ve teslimat programlarının planlanmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Böylece inşaat sürecinde kaynakların verimli kullanımı ve zamanında teslimat sağlanabilmektedir (Azhar, 2011).

H: Çakışma ve Çarpışma Tespiti (Conflict, Interference and Collision Detection): BIM modelleri, 3B ortamda ölçekli olarak oluşturulduğu için farklı yapı sistemleri arasındaki olası çakışmalar görsel olarak kontrol edilebilmektedir. Bu sayede boru hatlarının çelik kirişler, duvarlar veya havalandırma kanallarıyla kesişmesi gibi sorunlar inşaat başlamadan önce tespit edilerek düzeltilebilmektedir (Azhar, 2011).

2.1.2. BIM Boyutları ve İnşaat Sektöründeki Temel Faydaları

Bina Bilgi Modellemesi (BIM), yalnızca üç boyutlu (3D) geometrik temsillerden ibaret olmayıp, modele entegre edilen farklı veri katmanları aracılığıyla projenin tüm yaşam döngüsünü kapsayan çok boyutlu bir bilgi yönetim sistemidir ((BuildEXT, 2022); Azhar et al., 2008; Akkoyunlu, 2015; Canpolat, 2023). BIM boyutları, belirli proje hedeflerine ulaşmak amacıyla modele eklenen veriler üzerinden tanımlanmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. BIM'in Boyutları (BuildEXT, 2022)

3D BIM (Geometri Boyutu), projenin tüm bileşenlerinin parametrik ve birbirine bağlı olduğu, ortak veri ortamında (CDE) depolanan sanal bir üç boyutlu modelin oluşturulmasını ifade etmektedir. Bu boyut, tasarım doğrulama, çakışma tespiti, standartlara uygunluk kontrolü ve görsel analizler açısından kritik öneme sahiptir (BuildEXT, 2022).

4D BIM (Zaman Boyutu), 3D modele zaman planı verisinin eklenmesiyle elde edilmektedir. İnşaat sürecine ilişkin başlama-bitiş tarihleri, montaj süreleri, lojistik planlamalar ve diğer zaman bağımlı unsurlar bu boyut kapsamında modellenmektedir. Bu sayede iş programının görselleştirilmesi, şantiye süreçlerinin optimize edilmesi ve paydaşlar arası iletişimin güçlendirilmesi mümkün olmaktadır (BuildEXT, 2022).

5D BIM (Maliyet Boyutu), modele entegre edilen metraj, keşif, malzeme, ekipman ve işçilik maliyetlerinin gerçek zamanlı olarak hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Farklı senaryoların karşılaştırılması, bütçe optimizasyonu ve finansal planlamanın şeffaflaştırılması bu boyut ile mümkün olmaktadır (BuildEXT, 2022).

6D BIM (Sürdürülebilirlik Boyutu), yapının enerji tüketimi, malzeme seçimi ve yaşam döngüsü analizlerini içeren verilerin modelle entegre edilmesini ifade etmektedir. Bu boyut ile tasarım aşamasından itibaren enerji verimliliği ve çevresel performans optimizasyonu yapılabilmektedir. Ayrıca 6B BIM, entegre BIM (iBIM) olarak da

adlandırılmakta ve tesis yönetimi ile işletme süreçlerine destek sunmaktadır (BuildEXT, 2022).

7D BIM (İşletme ve Bakım Boyutu), yapının dijital ikizinin oluşturulmasını ve bu modelin IoT sensörleri gibi gerçek zamanlı veri kaynaklarıyla güncellenmesini kapsamaktadır. Bileşenlerin üretici bilgileri, bakım takvimleri, performans verileri ve işletme maliyetleri bu boyut ile yönetilmektedir. Bu sayede bakım-onarım faaliyetleri yıllar öncesinden planlanabilmekte, sistemlerin ekonomik ömrü etkin şekilde takip edilebilmektedir (BuildEXT, 2022).

8D BIM (Güvenlik Boyutu), inşaat sürecindeki olası risklerin öngörülmesini ve iş sağlığı-güvenliği önlemlerinin artırılmasını hedeflemektedir. AR/VR teknolojileri kullanılarak şantiyedeki riskli alanlar görselleştirilmekte, güvenlik planları oluşturulmakta ve potansiyel tehlikeler önceden belirlenebilmektedir (BuildEXT, 2022).

9D BIM (Yalın İnşaat Boyutu), süreçlerin dijitalleştirilerek kaynak yönetiminin optimize edilmesini, atık miktarının azaltılmasını ve verimliliğin artırılmasını amaçlamaktadır. Bu boyut, yalın inşaat prensipleri ile projelerin zamanında ve bütçe dahilinde tamamlanmasına katkı sağlamaktadır (BuildEXT, 2022).

10D BIM (Endüstrileşmiş İnşaat Boyutu), inşaat sektöründe verimliliği artırmak amacıyla mevcut tüm veri, teknoloji ve süreçlerin entegre edilmesini içermektedir. Bu yaklaşım, yalnızca tekil projeler için değil, tüm sektör genelinde üretkenliği yükseltmeyi hedeflemektedir (BuildEXT, 2022).

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), son yıllarda inşaat ve yapılı çevre alanında dijital dönüşümün merkezinde yer alan yenilikçi bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Tasarım, inşaat ve işletme süreçlerini entegre bir platform üzerinden yönetmeye olanak tanıyan bu yaklaşım, projelerin tüm yaşam döngüsünde verimliliği artırma, maliyetleri düşürme ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma açısından kritik bir rol üstlenmektedir (University of the Built Environment, 2025). Literatürde BIM'in sektöre sağladığı başlıca avantajlar şu şekilde özetlenebilir:

A: Disiplinlerarası İşbirliğinin Güçlendirilmesi: BIM, farklı uzmanlık alanlarından (mimar, mühendis, yüklenici, ölçüm uzmanı vb.) aktörlerin tek bir dijital ortamda eş zamanlı olarak çalışmasına imkan tanımaktadır. Bu sayede bilgi akışı hızlanmakta, veri

tutarlılığı sağlanmakta ve proje süresince oluşabilecek iletişim eksikliği, veri tekrarı veya çelişkili dokümanlar gibi sorunlar en aza indirilmektedir. Ortak bir "tek doğruluk kaynağı" (single source of truth) üzerinden erişim, projelerde koordinasyonu ve karar alma süreçlerini önemli ölçüde geliştirmektedir (University of the Built Environment, 2025).

B: Verimlilik ve Sürdürülebilirlik Potansiyelinin Artırılması: Günümüzde sürdürülebilirlik, yapı üretim sürecinin vazgeçilmez hedeflerinden biri haline gelmiştir. BIM, enerji verimliliğinin artırılması, doğal aydınlatma kullanımının optimize edilmesi, yüksek karbon ayak izine sahip beton gibi malzemelere çevreci alternatiflerin belirlenmesi ve yaşam döngüsü değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi gibi stratejilerle bu hedeflere katkı sunmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca çevresel etkiyi azaltmakla kalmayıp uzun vadede işletme maliyetlerini de düşürmektedir (University of the Built Environment, 2025).

C: Proje Sürelerinin Kısaltılması: İnşaat projelerinde yaşanan gecikmeler, maliyet artışı ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açabilmektedir. BIM, sanal simülasyonlar aracılığıyla sahada ortaya çıkabilecek riskleri önceden tespit ederek yeniden iş yapma ihtiyacını azaltmakta ve süreç optimizasyonu sağlamaktadır. Böylece proje teslim süreleri kısalmakta, zaman yönetimi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmektedir (University of the Built Environment, 2025).

D: Prefabrikasyon Süreçlerinin Desteklenmesi: BIM, yapı bileşenlerinin saha dışında, kontrollü üretim ortamlarında imal edilmesine imkan tanıyarak prefabrikasyon uygulamalarını teşvik etmektedir. Bu yöntem, üretim kalitesini artırmakta, inşaat süresini kısaltmakta ve şantiyede oluşabilecek atıkları azaltarak sürdürülebilir inşaat uygulamalarına katkı sağlamaktadır (University of the Built Environment, 2025).

E: Maliyetlerin Etkin Yönetimi: BIM, malzeme ihtiyacının doğru tahmin edilmesi, lojistik planlamanın optimize edilmesi ve atık yönetiminin iyileştirilmesi yoluyla maliyetlerin kontrol altına alınmasını kolaylaştırmaktadır. Tasarım aşamasında yapılan ısıl performans simülasyonları sayesinde, enerji verimliliğini maksimize edecek yönelim, boyut ve yalıtım stratejileri belirlenebilmektedir. Bu durum, hem yatırım hem de işletme maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır (University of the Built Environment, 2025).

F: İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemlerinin Güçlendirilmesi: İnşaat alanları, yüksek iş kazası riski taşıyan çalışma ortamlarıdır. BIM, inşaat başlamadan önce potansiyel tehlikeleri sanal ortamda simüle ederek önleyici tedbirlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu sayede hem çalışan güvenliği artırılmakta hem de işin kesintisiz ve planlanan sürede tamamlanması desteklenmektedir (University of the Built Environment, 2025).

G: Kalite Yönetimi ve Güvence Süreçlerinin İyileştirilmesi: BIM, proje öncesinde ve süresince yapılacak görselleştirme ve simülasyonlar sayesinde kalite standartlarının korunmasına olanak tanımaktadır. Olası tasarım hataları veya uygulama sorunları, henüz inşaat başlamadan tespit edilerek gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir. Bu da proaktif kalite yönetimi anlayışının benimsenmesini sağlamaktadır (University of the Built Environment, 2025).

H: Tesis Yönetimine Katkı Sağlaması: BIM'in faydaları, yapının inşaat sürecinin tamamlanmasıyla sınırlı değildir. Dijital ortamda tutulan kapsamlı veri setleri, tesis yönetimi süreçlerinde bakım planlaması, alan optimizasyonu, enerji yönetimi ve performans izleme gibi konularda etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Böylece yapıların işletme ömrü boyunca verimlilik artırılmaktadır (University of the Built Environment, 2025).

2.1.3. BIM Modelleme Yazılımları

Bina Bilgi Modellemesi (BIM) yazılımları, yapı tasarımı ve yönetim süreçlerinde kullanılan dijital platformlar olup, her biri kurumsal geçmişi, ürün ailesi, dosya yönetim sistemi, eş zamanlı kullanım desteği, arayüz çeşitliliği, nesne kütüphanesi kapsamı, ölçeklenebilirliği, 2D ve 3D çıktı alma yetenekleri, nesne türleri, kullanım kolaylığı ve fiyat aralığı gibi farklı özelliklere sahiptir (Eastman et al., 2008). BIM tabanlı mimari tasarım sürecinde kullanılan yazılımlar arasında Autodesk Revit, Bentley Architecture, ArchiCAD, Digital Project, AutoCAD tabanlı uygulamalar, Tekla Structures ve DProfiler yer almaktadır . Bu tür yazılımlar yalnızca mevcut işlevsellikleriyle değil, aynı zamanda üretici firmaların düzenli olarak geliştirdiği güncellemeler ve gelecekteki gelişim planları ile birlikte değerlendirilmektedir. Dolayısıyla yazılım satın alımı, yalnızca teknik bir araç edinmekten öte, uzun vadeli bir iş birliği ve kullanıcı destek ekosistemine dahil olmayı da gerektirmektedir. Üretici desteğinin yanı sıra, kullanıcı topluluklarının sağladığı

çevrim içi forumlar, bloglar ve nesne kütüphanesi paylaşım portalları da öğrenme ve verimlilik açısından önemli katkılar sunmaktadır (Eastman et al., 2008).

BIM yazılımları arasında ArchiCAD ve Revit sektörde önemli bir yer tutmaktadır. ArchiCAD, 1982 yılında Gábor Bojár tarafından Macaristan'da geliştirilmiş olup, kişisel bilgisayarlarda kullanılabilen ilk BIM yazılımı olarak kabul edilmektedir. İlk dönemlerde teknik sınırlılıklar ve piyasa koşulları nedeniyle geniş ölçekte yaygınlaşamamış, ancak zamanla özellikle Avrupa'da konut ve küçük ölçekli ticari projelerde tercih edilir hale gelmiştir (Quirk, 2012).

Bu yazılımlar arasında Revit Architecture, günümüzde mimari tasarımda BIM kullanımında önde gelen ve en yaygın bilinen platformlardan biridir. 2002 yılında Autodesk tarafından bir girişim şirketinden satın alınarak piyasaya sunulan Revit, AutoCAD'den tamamen bağımsız bir altyapı ve dosya yapısına sahiptir. Revit ürün ailesi: Revit Architecture, Revit Structure ve Revit MEP modüllerini içermekte olup, enerji simülasyonu ve yük analizleri için gbXML tabanlı arayüzler, ROBOT ve RISA gibi yapısal analiz programlarına doğrudan bağlantılar, SketchUp ve DXF formatı üreten diğer sistemlerden model alma imkanı sunmaktadır. Ayrıca DGN, DWG, DWF, IFC, SKP, ODBC, BMP, JPG gibi çok sayıda dosya formatı ile veri alışverişi yapabilmektedir (Eastman et al., 2008).

Revit'in başlıca güçlü yönleri arasında kullanıcı dostu arayüzü, kapsamlı nesne kütüphanesi, çok kullanıcılı proje desteği, iki yönlü çizim güncellemeleri ve üçüncü taraf geliştiriciler tarafından sağlanan zengin bileşen desteği yer almaktadır. Ancak sistem, bellek tabanlı bir yapıya sahip olduğundan, yaklaşık 220 MB'tan büyük projelerde performans düşüşü yaşamakta, parametrik kuralların açı tanımlarında kısıtlamalar bulunmakta ve karmaşık eğrisel yüzeylerin modellenmesinde sınırlı imkanlar sunmaktadır (Eastman et al., 2008).

Parametrik modelleme yeteneği ve zaman boyutu ekleyerek 4D planlama imkanı sunması, onu büyük ve karmaşık projeler için öne çıkan bir platform haline getirmiştir. Ayrıca Revit, tek bir merkezi model üzerinden çok kullanıcılı eş zamanlı çalışma olanağı

sunmakta ve parametrik nesne tabanlı yapısıyla projedeki herhangi bir değişikliğin tüm çizim ve görünümlere otomatik olarak yansımasını sağlamaktadır. Bu özellikler, hata riskini azaltmakta ve proje koordinasyonunu güçlendirmektedir (Quirk, 2012).

Revit yazılımı, BIM sürecinde parametrik modelleme ve veri yönetimini "family" (aile) sistemi üzerinden yürütmektedir. "Family" kavramı, ortak bir parametre setine ve benzer grafiksel temsile sahip eleman gruplarını tanımlamaktadır. Bir aileye ait öğeler, aynı parametre adları ve anlamlarını korumakla birlikte, bu parametrelerin değerlerinde farklılık gösterebilmektedir. Bu varyasyonlar "aile tipi" olarak adlandırılmakta ve örneğin mobilya, yapısal kolon veya sprinkler sistemleri gibi farklı kategorilerde, çeşitli malzeme ve işlevlere sahip alt türler şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Projede belirli bir aile tipinden oluşturulan her öğe "örnek" (instance) olarak kabul edilir. Örneğe özgü yapılan değişiklikler yalnızca ilgili öğeyi etkilerken, aile tip parametrelerinde yapılan düzenlemeler tüm o tip öğelere uygulanmaktadır (Autodesk, 2025).

IFC (Industry Foundation Classes): yapıların tasarımından işletme ve bakım aşamalarına kadar tüm yaşam döngüsünü kapsayan, sektör tarafından geliştirilmiş bir ürün veri modelidir ve IAI (International Alliance for Interoperability) tarafından desteklenmektedir (Eastman et al., 2008).

1994 yılında, yapı ve yazılım sektöründeki önde gelen firmalar, birlikte çalışabilirlikten kaynaklanan maliyetleri azaltmak ve geleneksel yazılımların eksikliklerini gidermek amacıyla, günümüzde BuildingSMART olarak bilinen Industry Alliance for Interoperability (IAI)'yi kurmuş ve 1997'de ise Industry Foundation Classes (IFC) adlı veri standardını geliştirmiştir (Ofluoğlu, 2014).

IFC, yazılımdan bağımsız, nesne tabanlı bir veri modeli olarak geliştirilmiş olup ArchiCAD, Revit, Allplan gibi yaygın BIM platformları tarafından desteklenmektedir. Bu standardın en önemli avantajı, bir elemanın hem grafik hem de alfasayısal özelliklerini aynı anda tanımlamaya imkan veren zengin veri yapısına sahip olmasıdır. (Ofluoğlu, 2014).

Proje ekiplerinin farklı BIM yazılımları kullanması durumunda, modellerin aktarımı veya birleştirilmesi ek teknik zorluklar ve hata riskleri yaratabilmektedir. Bu sorunlar, veri alışverişinde IFC standartlarının kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılmakta, böylece farklı platformlar arasında birlikte çalışabilirlik sağlanmaktadır. Ayrıca, tüm BIM uygulamalarıyla IFC veya özel formatlar üzerinden iletişim kurabilen model sunucuları da entegrasyon için alternatif bir yöntem sunmaktadır. Günümüzde IFC, yapı sektöründe veri alışverişi ve entegrasyonu için uluslararası düzeyde kabul gören bir standart olma yolunda ilerlemektedir (Eastman et al., 2008).

2.2 BIM Tabanlı Gün Işığı ve Doğal Aydınlatma Analizleri

Doğal ışık, mimarlığın ortaya çıkışından bu yana tasarım sürecinin ayrılmaz bir unsuru olmuş, tarih boyunca mekan kurgusunu ve tasarım anlayışını şekillendiren temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Özorhon, 2002).

Her tür mekanda gerçekleştirilecek faaliyetler için ışık, vazgeçilmez bir unsurdur. Mekanın algılanabilmesi, görülmesi ve etkin biçimde kullanılabilmesi açısından temel gereklilik olan ışık, doğal kaynaklardan sağlandığında mekana farklı anlam ve nitelikler katmaktadır. Tasarım sürecinde hedeflenen atmosfer, doğal ışığın miktarı ve yönüyle doğrudan şekillenmekte (Tezel, 2007).

İç mekan tasarımında doğal ışığın kullanılması, enerji verimliliğinin artırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Gün ışığı, yalnızca aydınlatma amacıyla değil, aynı zamanda mekanın estetik ve işlevsel kurgusunu belirleyen bir tasarım bileşeni olarak ele alınmalıdır. Bu kapsamda, ışığın mekanda konumlandırılması, kullanım biçimi, tasarım anlayışındaki rolü, yarattığı atmosfer, tercih edilen aydınlatma sistemleri, mekanı tanımlayan sınır elemanlarının formu ve hedeflenen anlam gibi unsurlar bir bütün olarak değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, doğal ışığın mekan içinde bir tasarım öğesi olarak özgün nitelikler kazandırmasına ve farklı mekansal deneyimlerin oluşmasına imkan tanımaktadır (Bahar & Yalçınkaya, 2021)

Işık, mekanı tanımlayan mimari unsurları vurgulayan ve onların etkisini artıran önemli bir ifade aracıdır. Bir mekanı deneyimleyen kişinin, mimarın kurguladığı algısal yönlendirmelere nasıl tepki vereceği ve hedeflenen mekan düzeninin gözlemciye hangi biçimde iletileceği önem taşımaktadır. Mimari bir mekanda aydınlık ile gölge arasındaki geçişler, kullanıcının algısına bağlı olarak yönlendirme işlevi görebilir. (Özorhon, 2002). Doğal ışık, mekanda işlevsel olarak en büyük katkıyı, hacimlerin, nesnelerin, renklerin ve dokuların en gerçekçi ve doğal biçimde algılanmasını sağlayarak yapmaktadır. Bunun yanı sıra, bir mimari mekanın fiziksel ve estetik özelliklerini kavramak, mekan içerisindeki konumumuzu belirlemek, yönlenmemizi sağlamak ve okuma, yazma, çalışma gibi faaliyetleri en uygun koşullarda gerçekleştirmek, amaca yönelik doğru ışık kullanımına bağlıdır (Özorhon, 2002).

Işık analizi, bir yapının doğal ve yapay aydınlatma koşullarını, ayrıca kütlesel düzeninin ve çevresindeki diğer yapıların oluşturduğu gölge etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılan önemli bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte, yalnızca yapının kendi özellikleri değil, topoğrafya, bina yönelimi ve komşu yapıların konumları gibi dış çevresel parametreler de hesaba katılmakta ve analizlerde dikkate alınmaktadır (Ofluoğlu, 2012).

Doğal aydınlatmada, iklim koşulları, gökyüzü durumu, coğrafi enlem ve topoğrafya gibi dış çevre etmenlerinin yanı sıra, gün ışığının iç mekana ulaşması ve mekan içinde dağılımı, büyük ölçüde tasarımcının yönlendirebileceği parametrelerle şekillenmektedir. Bu parametreler arasında yapının yönelimi, geometrisi, kullanılan gün ışığı stratejileri, güneş kontrol elemanlarının formu ve malzemesi, saydam yüzeylerin konumu, biçimi ve ışık geçirgenliği ile hacmin fiziksel özellikleri yer almaktadır (Kutlu, 2019).

Güneş ışığının geliş açısı, saatleri ve yoğunluğu, mekanların yönlendirilmesi, odaların konumu ve cephe tasarımı üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Güneye bakan hacimler gün boyunca en fazla ışık alan, genellikle sıcak ve aydınlık bölgelerdir. Kuzeye dönük alanlar ise daha az ışık alarak serin ve gölgeli bir karakter gösterir. Doğu yönündeki mekanlar sabah güneşiyle aydınlanırken, batı yönündekiler akşam saatlerinde yoğun ışık alır. Mekanların işlevlerine uygun yönlendirilmesi, gün ışığının hareketi ve dağılımının

yanı sıra iklim koşullarının da dikkate alınmasıyla optimum aydınlatma ve konfor koşulları sağlanabilmektedir (Yapı Kataloğu, t.y.).

Bina bilgi modeli, gün ışığı analizlerinin uygulanmasında etkin bir araç olarak kullanılmakta ve bu analizler, yapının arazi üzerindeki en uygun konumunun belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Azhar, 2011).

Dünya genelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek ve enerji tüketimini azaltmak amacıyla politika ve mevzuat geliştirme yönünde giderek artan bir eğilim bulunmaktadır. Bu bağlamda, gün ışığı kullanımı, binaların iç mekanlarına ulaşan doğal ışık miktarını düzenlemenin en çevre dostu yöntemlerinden biri olarak görülmektedir. İnşaat sektöründe, iç mekanların doğal aydınlatmasını sağlamak için güneşten yararlanmanın önceliklendirilmesi, aynı zamanda aşırı ısınma riskinin önlenmesi gerekmektedir (Tabadkani et al., 2021).

Doğal ışık, yalnızca işlevsel ve ısısal yararlar sunmakla kalmayıp, aynı zamanda insanın psikolojik durumunu da etkileyen önemli bir unsurdur. Işık, biyolojik ritmimizi şekillendiren gece–gündüz döngüsünü mekana taşıyarak ruh halimizi doğrudan etkiler (Özorhon, 2002).

Mimari tasarımda gün ışığından en verimli şekilde yararlanmak, hem fiziksel hem de ruhsal sağlık açısından önemli bir unsurdur. Araştırmalar, güneş ışığının serotonin ve melatonin hormonlarının düzenlenmesine katkı sağlayarak enerji seviyesini, odaklanma yeteneğini ve ruh halini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kemik sağlığının korunmasına yardımcı olmakta ve stresin olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Bu nedenle, iç mekanların tasarımında güneş ışığının mekana maksimum düzeyde alınması, yaşam alanlarının daha ferah, sağlıklı ve pozitif bir atmosfere kavuşmasını sağlamaktadır (Yapı Kataloğu, t.y.).

Thursfield & vd Ven (2022), doğal ve yapay aydınlatmanın insan sağlığı ile psikolojik iyilik hali üzerindeki çok yönlü etkilerini vurgulamaktadır. Elektrikli aydınlatmanın ilk dönemlerinde odak, çalışma sürelerini uzatmak ve güvenli çalışma koşullarını sağlamak

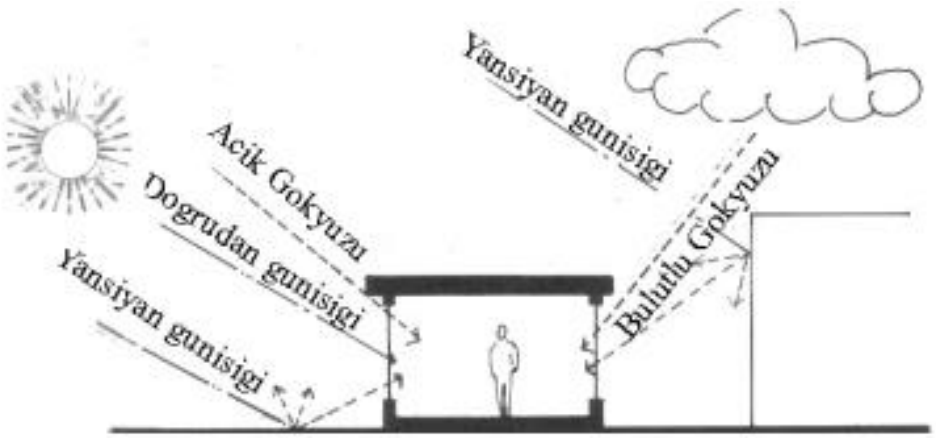
iken, zamanla estetik, mimariyi vurgulama ve dikkat çekme işlevleri de ön plana çıkmıştır. Günümüzde ise "insan merkezli aydınlatma" kavramı, özellikle biyolojik ritimlerin düzenlenmesi açısından önem kazanmıştır.

Araştırmalar, doğal gün ışığının geniş spektrumunun, görsel algı, derinlik hissi ve renk farkındalığı açısından en uygun koşulları sağladığını, ayrıca mavi dalga boyu (yaklaşık 480 nm) içeriğinin biyolojik saati düzenleyerek uyku-uyanıklık döngüsünü optimize ettiğini ortaya koymaktadır. Doğru ışık özellikleri, fiziksel rahatlığı artırmakla kalmayıp, doğal ortam deneyimlerinden esinlenen ışık senaryoları aracılığıyla ruh halini olumlu yönde etkilemektedir. Gün doğumu, gün batımı, ağaç gölgelerindeki ışık oyunları veya su yüzeyindeki yansımalar gibi dinamik doğal ışık etkilerinin, bireylerin enerji düzeylerini ve psikolojik iyilik halini güçlendirdiği vurgulanmaktadır (Thursfield & vd Ven, 2022).

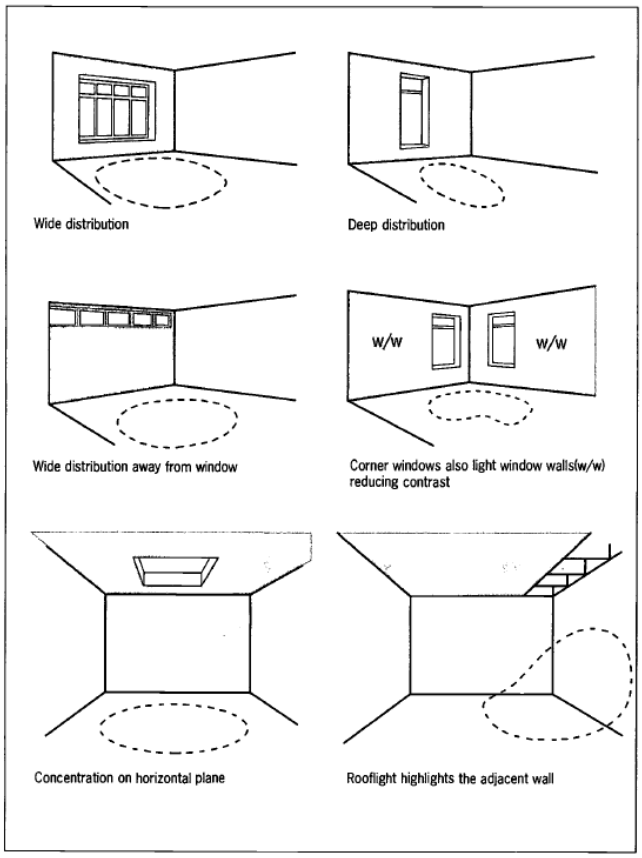
Gün ışığı, durağan olmayan bir tasarım unsuru olarak, sürekli değişen ve hareket eden yapısıyla görsel çevreye dinamik bir karakter kazandırmaktadır. İnsan, görsel ortamda çeşitlilik arar, gün ışığının renk ve tonlarındaki sürekli değişim, bu ihtiyacı karşılayan başlıca etkenlerden biridir. Gün boyunca ışığın oluşturduğu renk çeşitliliği, mekanın algısını, ona yüklenen anlamı ve karakterini belirleyerek mekana benzersiz bir görsel zenginlik kazandırmaktadır (Özorhon, 2002).

Doğada, açık gökyüzü, doğrudan güneş ışınımı, yüzeylerden yansıyan gün ışığı ve kapalı gökyüzü gibi atmosferik koşullar, farklı gün ışığı türlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 2.7).

Loe et al., (1999) çalışmasına göre, pencere biçimi ve konumu, gün ışığının iç mekana dağılımını doğrudan etkilemektedir. Geniş ve sığ pencereler ışığı daha yatay ve geniş bir alana yayarken, dar ve yüksek pencereler ışığı daha derin ancak sınırlı bir bölgeye yönlendirmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.7. Gün ışığının gökyüzü koşullarına göre farklılaşması (Lechner, 1991)



Şekil 2.8. Pencere biçimi ile konumunun, iç mekan gün ışığı dağılımına etkisi (Loe et al., 1999)

Gün ışığına yönelik stratejiler, yapıların doğal enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanabilmesi ve yapay aydınlatmaya duyulan gereksinimin asgari seviyeye indirilmesi

açısından kritik bir öneme sahiptir. Doğal ışık, yüksek nitelikli ve sürdürülebilir bir aydınlatma kaynağı olmasının yanı sıra, ekonomik açıdan da son derece avantajlıdır.

2.2.1. BIM Entegrasyonlu Gün Işığı Simülasyon Araçları

BIM tabanlı analiz araçları sayesinde mimari tasarım kararları ile ışık performansı arasındaki ilişki erken tasarım aşamalarında değerlendirilebilmekte. Dolayısıyla hem enerji tüketimini azaltma hem de görsel konforu optimize etme açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Miri ve Ashtari'ye (2019) göre, BIM tabanlı 3B modelleme yazılımlarında gün ışığı analizi yapmanın iki temel yöntemi bulunmaktadır. Birincisi ve en yaygın kullanılan yöntem, modeli GBXML, IFC, DWG, DXF veya OBJ gibi farklı formatlara dönüştürerek IES-VE, IDA ICE, Diva4Rhino, LadyBug, Ecotect, Dialux Evo veya Relux gibi harici gün ışığı ya da enerji simülasyon programlarında analiz gerçekleştirmektir. Bu yöntemde, özellikle IFC ve GBXML dışındaki formatlarda, malzeme bilgileri, mekan fonksiyonları ve coğrafi veriler gibi model içinde yer alan birçok önemli bilgi kaybolabilmektedir. IFC ve GBXML kullanıldığında bilgi kaybı azalsa da, bu formatları işleyebilen yazılımlar genellikle enerji ve HVAC analizlerine odaklanmakta, dolayısıyla duvar, döşeme, tavan ve çatı gibi elemanların yalnızca tek katmanlı yüzeyler şeklinde basitleştirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, çoğu zaman kullanıcıların modeli yeniden düzenlemesi veya sadeleştirmesi gerekebilmektedir.

BIM tabanlı yazılımlarda gün ışığı analizinin ikinci yöntemi, çalışmanın doğrudan model üzerinde gerçekleştirilmesidir. Autodesk Revit özelinde, Sefaira, Elumtools ve Autodesk Insight 360 gibi eklentiler, modeldeki veriler ile gün ışığı simülasyon altyapısı arasında doğrudan bağlantı kurarak süreci kolaylaştırmaktadır (Çizelge 2.1).

Radiance tabanlı olan Sefaira, tasarımın erken aşamalarında daha esnek ve özelleştirilebilir bir kullanım sunarken, Elumtools ve Insight 360 kendi kapalı algoritmalarını kullanmaktadır (Miri ve Ashtari, 2019).

Çizelge 2.1. Revit eklentisine sahip farklı gün ışığı analiz yazılımlarının karşılaştırılması (Miri & Ashtari, 2022)

Yazılım	Tasarım Sürecinde Kullanım Zamanı	Sonuç Görselleştirme Yazılımı	Simülasyon Motoru	Metrikler	Radiance Dosyalarına Erişim	Malzemeler
Climate Studio	Başından Sonuna	Rhinoceros	Radiance	DF, Lux, Cd/m2, UDI, sDA, ASE, aDGP, ...	Evet*	Revit Kategorisine göre
Sefaira	Başlangıç	Sefaira	Bulut Tabanlı Radiance	DF, Lux, sDA, ASE, SunHours	Hayır	Sefaira Kategorisine göre
Lightstanza	Başlangıç	Lightstanza	Bulut Tabanlı Radiance	DF, Lux, DGP, aDGP, UDI, sDA, ASE, cDA	Hayır	Lightstanza Kategorisine göre
Naviate Daylight	Başından Sonuna	Naviate / Revit	Radiance	Sadece DF	Hayır	Revit Kategorisine göre
Elumtools + Licaso®	Başından Sonuna	Elumtools / Revit	Kendi Motoru	DF, Lux, Cd/m2, UDI, sDA, ASE, aDGP, ...	...	Revit Malzemelerine göre
Autodesk Insight 360	Başından Sonuna	Revit	Kendi Bulut Tabanlı Motoru	DF, Lux, DA, sDA, ASE	...	Revit Malzemelerine göre
AftabRad	Başından Sonuna	Revit	Radiance	DF, Lux, Cd/m2, UDI, sDA, ASE, aDGP, ...	Evet	Revit Malzemelerine göre

*Climate Studio'da tüm Radiance dosyaları AppData'nın Temp klasörüne kaydedili

BIM tabanlı gün ışığı analizlerinde kullanılan simülasyon araçları, analiz türleri, veri entegrasyon yöntemleri ve kullanıcı arayüzleri bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Bu bölümde, söz konusu araçların temel işlevleri öne çıkan yönleri ile farklılıkları değerlendirilmiştir .

A: Autodesk Revit + Insight 360: Autodesk Revit, BIM tabanlı bir modelleme aracı olup, Insight eklentisiyle entegre şekilde çalışarak erken tasarım aşamasında enerji ve gün ışığı performans analizleri gerçekleştirmektedir. Insight, özellikle LEED uyumlu doğal aydınlatma değerlendirmeleri için kullanılmakta ve illuminance (aydınlatma düzeyi), daylight factor (DF) gibi metrikleri hesaplamaktadır. Doğrudan Revit içerisine entegre olması, tasarım sürecinin kesintisiz şekilde analizle desteklenmesini mümkün kılmaktadır (Autodesk, 2024).

B: DesignBuilder: DesignBuilder, EnergyPlus simülasyon motorunu kullanan kapsamlı bir bina enerji modelleme aracıdır. BIM modelleriyle IFC üzerinden entegrasyon sağlayabilmektedir. Gün ışığı analizleri, enerji performansı simülasyonları ve HVAC sistem modellemeleri gerçekleştirebilmektedir. Doğal aydınlatma optimizasyonu, enerji tüketimi analizleriyle bütünleşik olarak gerçekleştirilmekte, bu sayede enerji verimliliği ve iç mekan konforu eş zamanlı olarak değerlendirilmekte ve optimize edilmektedir (DesignBuilder Software Ltd., 2025).

C: DIALux evo: DIALux evo, hem yapay hem de doğal aydınlatma tasarımı ve analizleri için geliştirilmiş bir yazılımdır. BIM modelleriyle IFC formatında uyum sağlayabilmektedir. Bina içerisindeki aydınlatma düzeylerini hızlı ve doğru bir şekilde analiz etme kapasitesine sahiptir. Kullanıcı dostu arayüzü ve özelleştirilebilir raporlama araçları ile ön plana çıkmaktadır (DIAL GmbH, t.y.).

D: Rhino + Ladybug Tools: Ladybug Tools, Rhino ve Grasshopper için geliştirilmiş açık kaynaklı bir eklenti setidir. Doğrudan BIM entegrasyonu bulunmamakla birlikte IFC yoluyla parametrik modellerle entegre olabilmektedir. Gün ışığı analizleri, gölge modelleme ve enerji simülasyonları gibi çok yönlü fonksiyonlara sahiptir. Parametrik tasarım olanakları sunması, tasarımcılara yaratıcı ve yenilikçi çözümler sağlar. Ladybug Tools'un akademik çalışmalarda ve özellikle doğruluk gerektiren analizlerde öne çıktığı belirtilmiştir (Roudsari ve Pak, 2013).

E: Radiance: Radiance, ışık simülasyonu alanında sektör standardı olarak kabul edilmektedir. Gün ışığı faktörü, glare (parlama) analizi ve yansıma etkilerini yüksek doğrulukla analiz edebilmektedir. Kullanıcı arayüzüne doğrudan sahip olmamakla birlikte, Ladybug, Honeybee ve diğer açık kaynaklı platformlar aracılığıyla BIM modelleriyle entegre şekilde çalışabilmektedir. (Ward, 1994).

F: IES VE (Integrated Environmental Solutions Virtual Environment): IES VE, LEED ve BREEAM gibi sürdürülebilirlik sertifikalarıyla uyumlu, kapsamlı bir bina performans simülasyon platformudur. Revit ve IFC modelleriyle entegre çalışarak daylight factor, parlama (glare) ve iklime bağlı gün ışığı modelleme (CBDM) analizlerini gerçekleştirmektedir (Integrated Environmental Solutions, t.y.).

G: Velux Daylight Visualizer: Velux Daylight Visualizer, gün ışığın bina içerisindeki etkisini analiz etmek ve görselleştirmek için geliştirilmiştir. Sınırlı BIM entegrasyonu olmasına rağmen DF ve statik illuminance hesaplamalarıyla hızlı değerlendirmeler yapabilmektedir. Kullanımının kolaylığı, analiz süreçleri hızlı ve verimli bir şekilde tamamlanabilmektedir (VELUX Group, t.y.).

H: ClimateStudio: ClimateStudio, Rhino ve Grasshopper ortamında çalışan gelişmiş bir gün ışığı ve enerji simülasyon aracıdır. Dolaylı BIM entegrasyonu sunarak yıllık gün ışığı analizleri, sDA (Spatial Daylight Autonomy), ASE (Annual Sunlight Exposure) ve glare (parlama) gibi metrikleri yüksek doğrulukla hesaplayabilmektedir. Ayrıca, iklim verisine dayalı zamanlı analizler gerçekleştirebilmektedir (Solemma LLC, t.y.)

I: OpenStudio + EnergyPlus: OpenStudio, EnergyPlus simülasyon motoru ile çalışan açık kaynaklı bir platformdur. Zaman bazlı enerji simülasyonları, termal konfor değerlendirmeleri ve doğal aydınlatma analizleri gibi çok yönlü bina performans analizlerini gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca, BIM tabanlı modellerle entegre biçimde çalışabilmektedir (OpenStudio, t.y.).

2.2.2. Insight Simülasyonu ile Günışığı Performans Kriterlerinin Analizi

Autodesk Insight Lighting Analysis, Revit 2017 ve üzeri sürümlerle uyumlu bir eklenti olup, bulut tabanlı A360 Rendering servisini kullanarak iç mekanlarda gün ışığı düzeylerinin detaylı simülasyonunu sağlar (Autodesk, 2017). Bu analizler, Useful Daylight Illuminance (UDI) ve Daylight Factor (DF) kriteri içerir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Insight Yazılımının Analiz Türleri (Autodesk, 2017).

Analiz Türü	**Açıklama**
Aydınlatma Analizi	Tarih, saat, eşik ve analiz düzlemi yüksekliği üzerinde tam özel kontrol
Günışığı Özerkliği (sDA önizleme)	LEED v4 EQc7 opt1 (sDA & ASE) için örnek hesaplama Maliyet ve hesaplama süresini azaltır
LEED 2009 IEQc8 opt1	LEED 2009 IEQc8 opt1 ayarları için otomatik ayarlar
LEED v4 EQc7 opt1	LEED v4 EQc7 opt1 (sDA & ASE) ayarları için otomatik ayarlar
LEED v4 EQc7 opt2	LEED v4 EQc7 opt2 ayarları için otomatik ayarlar
Güneş Erişimi	Özelleştirilebilir güneş çalışma saatleri

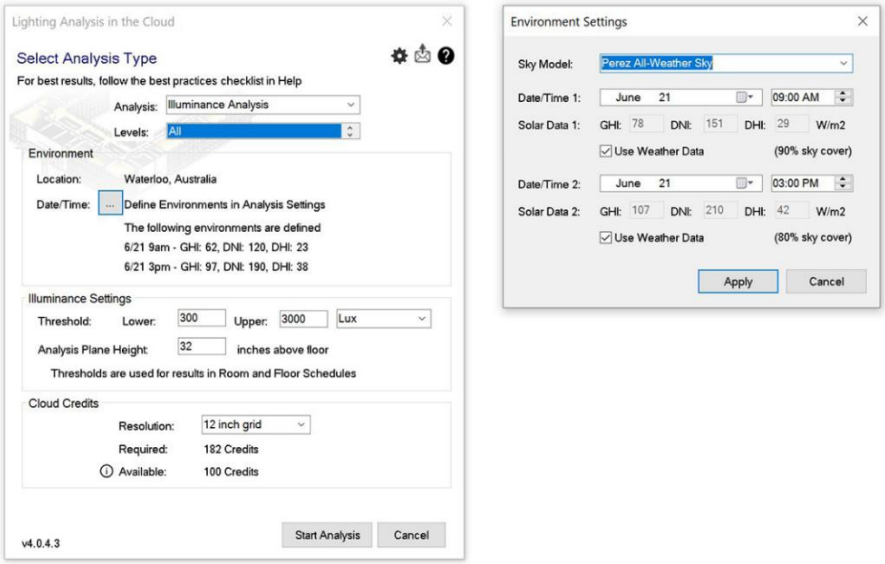
A: Useful Daylight Illuminance (UDI): Mekanda yararlı gün ışığı düzeylerinin belirlenmesi.

Enerji verimli ve kullanıcı odaklı bina tasarımı süreçlerinde, gün ışığı performans analizleri kritik bir öneme sahiptir. BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) tabanlı araçlardan biri olan Autodesk Insight, erken tasarım aşamalarında doğal aydınlatma koşullarını değerlendirmek ve iyileştirmek amacıyla kapsamlı simülasyonlar sunmaktadır. Bu yazılım, özellikle Useful Daylight Illuminance (UDI) gibi ölçütler aracılığıyla iç mekanlardaki doğal aydınlatma düzeylerini nicel olarak analiz ederek, kullanıcıların mekanın aydınlatma performansını objektif verilerle değerlendirmesine imkan sağlar (Wintour, 2020). Böylece, tasarım sürecinde enerji verimliliğini artırmak ve kullanıcı konforunu optimize etmek için etkili kararlar alınabilmektedir.

Autodesk Insight'ta gerçekleştirilen Illuminance Analysis, belirli bir tarih ve saatte iç mekana düşen doğal ışık miktarını lux (lx) cinsinden ölçmeyi hedefleyen zamana bağlı bir aydınlık düzeyi analizidir (Autodesk, 2017). Yazılım, kullanıcılara tarih, saat, analiz düzlemi yüksekliği, ışık eşiği (threshold) ve gökyüzü modeli gibi parametreleri özelleştirme imkanı tanır. Bu analizler, tek bir zaman anında ya da iki farklı zaman dilimi

karşılaştırılarak yapılabilmekte, böylece farklı gün ışığı senaryoları değerlendirilebilmektedir. Bu sayede tasarımcılar, iç mekanların doğal aydınlatma performansını hassas ve dinamik bir şekilde analiz ederek, enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından en uygun çözümleri geliştirebilmektedir.

Analiz sırasında kullanıcıya çeşitli gökyüzü modeli seçenekleri sunulmaktadır. En yaygın kullanılan model Perez Sky Modeli olup, hem açık hem de bulutlu hava koşullarında yüksek doğrulukta sonuçlar üretmektedir ve FD gibi uluslararası sürdürülebilirlik sertifikasyonlarında önerilmektedir (Şekil 2.9). Alternatif olarak CIE Sky modelleri (Clear, Overcast, Intermediate) ile de analiz gerçekleştirilebilmektedir ya da kullanıcı tarafından manuel olarak girilebilmektedir (IDL Boise, t.y.).



Şekil 2.9. Insight Aydınlatma Analizi - Analiz ve Çevre Ayarları (Autodesk, 2017)

Revit ortamında mimari modelleme sürecinde, pencere boyutları, konumları ve yönelimlerinin doğru ve hassas bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Autodesk Insight yazılımında gerçekleştirilen Useful Daylight Illuminance (UDI) analizlerinin doğruluğunu belirleyen temel parametreler arasında pencere boyutu ve yönelimi, gölgeleme elemanları, bina konumu ile iklim verileri ve mevsimsellik yer almaktadır. Bu parametrelerin titizlikle modellenmesi, gün ışığı analizlerinin geçerliliğini artırmakta ve enerji verimli, kullanıcı odaklı bina tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Useful Daylight Illuminance (UDI) verileri, iç mekanlardaki gün ışığı düzeylerinin görsel konfor üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla üç temel aralıkta sınıflandırılmaktadır. Düşük UDI, 100 lx altındaki aydınlatma düzeylerini ifade etmekte olup, bu seviyeler kullanıcıların görsel konforunu sağlamada yetersiz kabul edilmektedir. Bu durum, iç mekanda etkinliklerin gerçekleştirilmesi için yapay aydınlatma ihtiyacını artırmakta ve enerji tüketimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Optimum UDI, 100 ile 2.000 lx aralığında kalan ışık düzeylerini kapsamaktadır. Bu aralık, kullanıcıların çalışma, okuma, dinlenme gibi gündelik faaliyetlerini doğal ışıkla yeterli düzeyde gerçekleştirebildiği, görsel konforun sağlandığı ideal koşulları temsil etmektedir. Aşırı UDI ise 2.000 lx üzerindeki ışık düzeylerini tanımlamakta olup, bu koşullarda iç mekanlarda parlama (glare), göz kamaşması ve göz yorgunluğu gibi görsel rahatsızlıkların meydana gelme riski artmaktadır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Insight Yazılımının Analiz Türleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

UDI Bölgesi	**Aydınlık Düzeyi (lux)**	**Günlük Saat Oranı Hedefi**	**Değerlendirme**
UDI_alt eşik	<100	<=20 %	Yetersiz
UDI_faydalı	100–2000	≥50 % (ideal ≥70 %)	Optimum
UDI_üst eşik	>2000	<=10 %	Aşırı

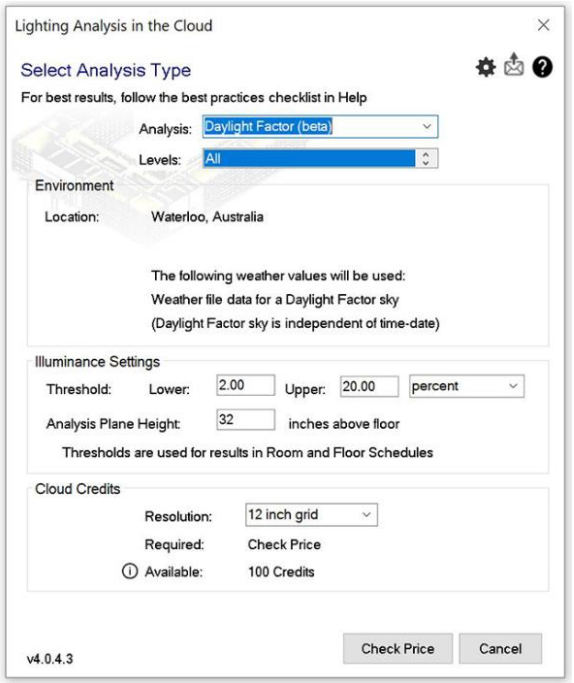
UDI analizi, iç mekanlarda doğal ışığın işlevselliğini ölçmekte ve aydınlatma tasarımının etkinliğini değerlendirmektedir. Bu nedenle, pencere boyutu, yönelimi ve gölgeleme sistemleriyle ışık dağılımının optimize edilmesi gerekmektedir. İç mekan yüzeylerinin yansıtıcı özellikleri, doğal ışığın homojen yayılımını artırmaktadır. Autodesk Insight yazılımı, bu parametreleri dikkate alarak UDI analizini gerçekleştirmekte ve tasarım sürecinde görsel konfor ile enerji verimliliğinin dengelenmesini sağlamaktadır

B: Daylight Factor (DF): Gün ışığı faktörünün iç mekan aydınlatma yeterliliği açısından değerlendirilmesi.

Günışığı Faktörü (Daylight Factor, DF), günümüzde bina içi doğal aydınlatma performansını değerlendirmede en yaygın kullanılan metriklerden biri olmaktadır. Bu metriğin yaygınlığı, hem hesaplama basitliğinden hem de çeşitli bina sertifikasyon

sistemleri tarafından kabul gören bir değerlendirme yöntemi olmasından kaynaklanmaktadır (Green Quarter, 2020). Bu faktör, belirli bir yüzeye düşen doğal ışığın, aynı gökyüzü koşulları altında tamamen engelsiz bir yatay yüzeye düşen ışık miktarına oranı olarak yüzde (%) cinsinden ifade edilmektedir (Wintour, 2020). Daylight Factor hesaplamalarında, Daylight Factor Sky kullanıldığında, ölçüm yapılan konum ve günün saati gibi değişkenlerin etkisi dikkate alınmamaktadır (Autodesk, 2017). Bu nedenle, Daylight Factor, iç mekanlarda günışığına bağlı görsel konfor koşullarının değerlendirilmesi ve enerji verimliliği potansiyelinin belirlenmesi açısından temel bir ölçüt olup, farklı mekanların doğal aydınlatma performansını karşılaştırmada standart ve güvenilir bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

DF analizi genellikle iç mekandaki ölçüm düzleminin yüksekliği ve çözünürlüğü ayarlanarak gerçekleştirilir. Analiz düzleminin yüksekliği varsayılan olarak 32 inç (81 cm) olarak belirlenmiş olup, bu yükseklik 1 ile 99 inç arasında ayarlanabilmektedir (Şekil 2.10). Ölçüm çözünürlüğü ise minimum 12 inç (30 cm) karelik ızgara birimiyle sınırlandırılmıştır (Wintour, 2020).



Şekil 2.10. Daylight Factor Analizin Bulut Tabanlı Aydınlatma Ayarları (Autodesk, 2017)

Daylight Factor (Günışığı Faktörü) değeri, mimari tasarım kararlarının ve dış ortam koşullarının etkileşimi sonucunda şekillenmekte. Özellikle ışığın girişini ve dağılımını belirleyen yapısal ve bağlamsal unsurlar analizin temelini oluşturmaktadır. Bu faktör, dış mekanda tamamen açık ve yatay bir yüzeye gelen doğal ışık miktarına kıyasla, iç mekana ulaşan doğal ışık miktarının yüzdesel oranı olarak tanımlanmaktadır. Hesaplama sürecinde, iç mekandaki her bir noktanın aydınlatma düzeyi, dış mekandaki standart aydınlatma değeriyle karşılaştırılmakta ve bu oran üzerinden Daylight Factor değeri elde edilmektedir (Green Quarter, 2018).

$$DF = (E\ iç / E\ dış) \times 100\% \quad (2.1)$$

DF = Günışığı Faktörü (%).
E*iç* = İç mekandaki referans noktasının yatay aydınlatma şiddeti (lüks, lx).
E*dış* = Açık alandaki engelsiz noktanın yatay aydınlatma şiddeti (lüks, lx).
Burada, E*iç* belirli bir iç noktadaki aydınlatma seviyesi (lux cinsinden), E*dış* ise tamamen engellenmemiş yatay bir yüzeyde aynı koşullardaki dış aydınlatma seviyesidir.

Daylight Factor metriği, GBI (Green Building Index), GreenMark gibi birçok yeşil bina derecelendirme sisteminde temel bir kriter olarak kabul edilmekte ve bina performansının değerlendirilmesinde standartlaştırılmış bir yöntem olarak benimsenmektedir (Green Quarter, 2018). Bu sistemler, DF değerinin mekansal dağılımını değerlendirerek, kullanıcı konforunu ve enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir.

Daylight Factor (DF), bir mekanın doğal ışıkla ne ölçüde aydınlatıldığını belirlemenin yanı sıra, söz konusu alanın yapay aydınlatmaya olan gereksinimini de ortaya koymaktadır. DF değerinin düşük olması durumunda, iç mekanda yeterli doğal aydınlatma sağlanamamakta ve yapay aydınlatmaya olan bağımlılık artmaktadır. Buna karşılık, DF değerinin yüksek olması, hem enerji tasarrufu sağlamakta hem de kullanıcılar açısından görsel konforu artırmaktadır. Bu bağlamda, Daylight Factor, sürdürülebilir bina tasarımında önemli bir performans ölçütü olarak değerlendirilmektedir (Çizelge 2.4).

Mimari tasarım sürecinde gün ışığı faktörünün (Daylight Factor - DF) değerlendirilmesi, iç mekan aydınlatma yeterliliğinin analiz edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde yaygın olarak kabul edilen sınıflandırmalara göre, DF değer aralıkları belirli eşiklere göre yorumlanmaktadır. Bu eşikler, hem görsel konfor düzeyini hem de yapay aydınlatma ihtiyacını doğrudan etkilemektedir.

Çizelge 2.4. Daylight Factor Analizinin Optimum Değerler (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

DF Aralığı	**Açıklama**
%0 – %2	Yetersiz doğal aydınlatma, yapay aydınlatma ihtiyacı yüksektir.
%2 – %5	Yeterli düzeyde doğal aydınlatma sağlar, görsel konfor uygundur.
%5 ve üzeri	Yüksek doğal aydınlatma, yapay aydınlatma ihtiyacı düşüktür.

A: %2 ve altındaki DF değerleri: doğal ışık düzeyinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu tür mekanlarda, kullanıcılar görsel konfor açısından olumsuz etkilenmekte ve yapay aydınlatmaya olan bağımlılık önemli ölçüde artmaktadır. Enerji verimliliği açısından bakıldığında, bu değer aralığı düşük performans sergilemektedir (Çizelge 2.3).

B: %2 ile %5 arasındaki DF değerleri: iç mekanda genel olarak yeterli düzeyde doğal aydınlatma sağlandığını göstermektedir. Bu değer aralığı, özellikle konutlar, oturma alanları ve dinlenme amaçlı kullanılan mekanlar için uygun görülmektedir. Görsel konfor düzeyinin kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak ölçüde olduğu kabul edilmektedir (Çizelge 2.3).

C: %5'in üzerindeki DF değerleri: iç mekana yüksek düzeyde doğal ışık girişinin sağlandığını ve bu sayede yapay aydınlatma ihtiyacının minimum seviyelere indirilebileceğini göstermektedir. Bu durum, ofisler, eğitim alanları ve sosyal etkileşim mekanları gibi yoğun kullanım gerektiren alanlar için ideal koşullar sunmakta ve enerji verimliliğine önemli katkı sağlamaktadır (Çizelge 2.3). Ancak, %5'in üzerindeki DF değerlerinin aynı zamanda parlama (glare) problemleri ve aşırı kontrast farkları gibi görsel rahatsızlıklara yol açabileceği de bilinmektedir. Bu tür etkiler, kullanıcıların görsel konforunu olumsuz yönde etkileyebilmekte. Bu nedenle, aydınlatma tasarımında yalnızca

yüksek DF değerleri hedeflenmemeli, doğal ışığın iç mekanda dengeli bir şekilde dağıtılması da sağlanmalıdır (IDL Boise, t.y.).

Daylight Factor (DF) analizi, iç mekanlarda doğal ışık düzeyinin dış mekan referans değerine oranla ne ölçüde yeterli olduğunu belirlemekte ve mimari aydınlatma tasarımının etkinliğini değerlendirmektedir. Bu kapsamda, pencere boyutu, yerleşimi ve çevresel engellerin konumlandırılması, içeri giren doğal ışığın miktarını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, iç mekan yüzeylerinin yansıtıcı özellikleri, gün ışığının mekan içerisinde daha homojen bir şekilde yayılmasına katkı sağlamaktadır. Autodesk Insight yazılımı, bu parametreleri dikkate alarak DF analizini gerçekleştirmekte, böylece iç mekanlarda görsel konforun artırılması ile yapay aydınlatma ihtiyacının azaltılması arasında enerji verimliliği açısından dengeli bir tasarım sürecine olanak sunmaktadır.

2.2.3. Mekan Tasarımında Doğal ve Yapay Aydınlatmanın Entegrasyonu ve Standartlarının İncelenmesi

Moon (2025) mimari aydınlatmada doğal ve yapay ışığın birlikte kullanılmasının, mekanın işlevselliği ve atmosferi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır. Doğal ışık, iç mekan kalitesini ve kullanıcı deneyimini artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte, her zaman yeterli düzeyde sağlanamamaktadır. Özellikle görev aydınlatmasının gerekli olduğu alanlarda (örneğin çalışma masaları gibi), yapay aydınlatma ile desteklenmesi zorunlu olmaktadır. Geniş pencereler aracılığıyla gün ışığı iç mekana alınsa dahi, ışığın miktarı ve dağılımı yeterli düzeye ulaşamayabilmektedir. Bu durumda, doğru konumlandırılmış yapay aydınlatma elemanları, ortamın ferahlığını artırmakta ve görsel konforu iyileştirmektedir. Her iki aydınlatma türünün dengeli şekilde entegrasyonu, mekanların hem estetik hem de işlevsel açıdan verimliliğini yükseltmektedir.

Hauer et al., (2024), Bina Bilgi Modellemesi (BIM) ile Dijital İkiz (Digital Twin – DT) teknolojilerinin entegrasyonunu, özellikle gün ışığı ve yapay aydınlatma sistemlerinin birlikte kontrolü bağlamında incelemiştir. Çalışmada, doğal ve yapay ışığın eşgüdümlü yönetiminin, kullanıcı konforunu artırmanın yanı sıra enerji tüketimini ve çevresel etkileri

azaltmada önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Bu yaklaşımın, Avrupa Enerji Performansı Direktifi'nde belirtilen enerji verimliliği ve CO_2 emisyonlarının azaltılması hedefleriyle doğrudan ilişkili olduğu ifade edilmektedir.

Araştırmada, önceki çalışmaların büyük ölçüde gün ışığı hasadı veya gelişmiş yapay aydınlatma kontrolü gibi tekil sistemlere odaklandığı ancak bu iki sistemin BIM tabanlı planlama süreci içerisinde bütüncül biçimde ele alınmasının henüz sınırlı düzeyde olduğu belirtilmektedir. Yazarlar, simülasyon tabanlı kontrol yöntemlerinin tasarım aşamasında BIM modeline entegre edilmesi ve bu stratejilerin inşaat sonrası Dijital İkiz ortamına aktarılması gerektiğini vurgulamaktadır. Böylelikle, aydınlatma kontrol senaryoları gerçek zamanlı verilerle sürekli olarak optimize edilebilmekte ve planlama–uygulama–işletme aşamaları arasında kesintisiz bir veri akışı sağlanabilmektedir.

Plörer et al., (2021), ofis binalarında gün ışığı ve yapay aydınlatma sistemlerinin birlikte kontrolüne yönelik mevcut yaklaşımları analiz etmiş ve enerji verimliliği ile kullanıcı konforunun aynı anda optimize edilmesinin önemini vurgulamıştır. Çalışmada, çok hedefli kontrol sistemlerinin tek hedefli sistemlere kıyasla daha dengeli sonuçlar sunduğu ancak kullanıcı kabulünün ve etkileşim kolaylığının sistem performansında belirleyici olduğu belirtilmektedir.

Thomson et al., (2021), gün ışığı ve yapay aydınlatma sistemlerinin bütünleşik tasarım ve kontrolünün, enerji verimliliğinin artırılması, kullanıcı konforu ve sağlığının desteklenmesi açısından stratejik bir öneme sahip olduğunu belirtmektedir. Mevcut bina uygulamalarında, bu iki sistem çoğunlukla birbirinden bağımsız çalışmakta ve diğer mekanik, elektrik, otomasyon veya güvenlik altyapılarıyla entegre edilmemektedir. Bu ayrışma, mekanın kullanım yoğunluğu, çevresel koşullar ve iç-dış aydınlık düzeyleri gibi verilerin ışık yönetimine yansıtılmasını engelleyerek, potansiyel faydaların önemli ölçüde kaybolmasına yol açmaktadır.

Araştırmada, bütünleşik aydınlatma yaklaşımlarının yalnızca önemli düzeyde enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kullanıcıların görsel konforunu, biyolojik ritimlerini ve genel memnuniyet düzeyini artırabileceği vurgulanmaktadır. Bununla

birlikte, sensörlerden elde edilen verilerin disiplinler arası paylaşımı, bu bütünleşik yaklaşımların verimliliğini yükseltebilmektedir.

Doğal ışık ve yapay aydınlatma sistemlerinin entegrasyonu konusunda önemli bir potansiyel olmasına rağmen, literatürde bu alandaki boşluk henüz yeterince doldurulmamıştır. Thomson et al., (2021) bu eksikliğin hem enerji tasarrufu hem de kullanıcı memnuniyeti açısından kritik olduğunu vurgulamaktadır.

A: TS EN 17037+A1 Standardı, binalarda gün ışığına ilişkin tasarım kriterlerini tanımlayarak, iç mekanlarda yeterli aydınlık düzeyi, görsel konfor ve kullanıcı sağlığının sağlanmasına yönelik ölçütleri belirlemektedir. British Standards Institution, (2021b) standardına göre, iç mekanlarda gün ışığı kalitesi dört temel başlık altında değerlendirilmektedir: gün ışığı sağlanması, dış manzara erişimi, güneş ışığına maruziyet ve parlama kontrolü.

Gün ışığı sağlanması: Açıklık alanlarının yıl boyunca yeterli doğal aydınlatma sağlaması gerekir. Bu değerlendirme, hedef aydınlık düzeyinin referans düzlemin belirli bir yüzdesinde gün ışığı saatlerinin en az yarısında sağlanması esasına dayanır.
Dış manzara erişimi: Kullanıcıların net, bozulmamış ve doğal renkte bir manzaraya erişebilmesi. Gökyüzü, peyzaj ve zemin olmak üzere en az üç katman içermesi önerilir.
Güneş ışığına maruziyet: Belirli mekanların (ör. hastane odaları, oyun alanları, konutlarda en az bir yaşam alanı) yılda en az tanımlı saat sayısınca doğrudan güneş ışığı alması gerekir.

Parlama kontrolü: Doğrudan güneş ışığı veya yüksek parlaklık farkları rahatsızlık yaratabileceğinden, gölgeleme elemanlarıyla kontrol sağlanmalı ve Daylight Glare Probability (DGP) sınır değerleri aşılmamalıdır (British Standards Institution, 2021b).
BSI (2022) standardında, iç mekanlarda gün ışığı değerlendirmesi için asgari, orta ve yüksek olmak üzere üç öneri seviyesi tanımlanmaktadır ve en azından asgari seviyenin sağlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Gün ışığı sağlanmasına ilişkin olarak, hedef aydınlık düzeyi (ET) ve hedef minimum aydınlık düzeyi (ETM) değerleri, referans düzlemin belirli bir yüzdesinde sağlanmalıdır. Dikey veya eğimli açıklıklara sahip

mekanlarda ETM değeri, referans düzlemin en az %95'inde karşılanmalıdır. Yatay açıklıklarda ise hedef aydınlık düzeyi, referans düzlemin tamamına yakınında elde edilebilmektedir. Referans düzlem, aksi belirtilmedikçe zeminden 0,85 m yükseklikte konumlandırılmaktadır (British Standards Institution, 2021b).

BS EN 17037:2018+A1:2021 standardı, iç mekanlarda gün ışığı yeterliliğinin değerlendirilmesi için iki temel hesaplama yaklaşımı sunmaktadır. İlk yöntem, gün ışığı faktörü (DF) yöntemi olup, iç mekanda ölçülen aydınlık düzeyinin dış yatay aydınlık düzeyine oranına dayanmaktadır. Bu yöntemde, hedef (DT) ve minimum hedef (DTM) değerlerinin referans düzlemin belirli bir yüzdesinde ve yılın en az yarısında sağlanması gerekmektedir.

İkinci yöntem ise aydınlık düzeyi yöntemi olup (illuminance level), değerlendirme yapılacak konuma ait iklim verileri kullanılarak, saatlik veya alt saatlik gökyüzü ve güneş koşullarına bağlı olarak iç mekanda oluşacak aydınlık düzeyleri doğrudan hesaplanmaktadır. Bu yöntemde de hedef (ET) ve minimum hedef (ETM) aydınlık değerlerinin, belirlenmiş alan yüzdelerinde ve sürelerde karşılanması esastır.
Her iki yöntemde de hesaplamalar, zeminden 0,85 m yükseklikte tanımlanan referans düzlem üzerinde oluşturulan hesaplama ızgarası üzerinden yapılmakta. Dış engeller, açıklık boyut ve konumları, cam geçirgenliği ile iç yüzeylerin yansıtma katsayıları dikkate alınmaktadır (British Standards Institution, 2021b).
B: TS EN 12464-1 Standardı, yapay aydınlatmaya ilişkin temel gereklilikler, iş yerlerinde görsel konforun ve güvenliğin sağlanabilmesi için Avrupa standardı BS EN 12464-1:2021'de ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Bu standart, iç mekan çalışma alanlarında aydınlatma tasarımında dikkate alınması gereken asgari ölçütleri belirleyerek yapay aydınlatmanın işlevsel ve ergonomik koşulları desteklemesini öngörmektedir (British Standards Institution, 2021a).

İç mekan iş yerleri için yapay aydınlatmaya ilişkin standartlar, Avrupa Standardı EN 12464-1:2021 ile güncellenmiştir. Bu düzenleme yalnızca tasarım rehberi olarak değil, kullanıcı ihtiyaçlarına uyumlu biçimde temel gereklilikleri tanımlayan bir çerçeve sunmaktadır. Yeni sürümde LED teknolojisinin yaygın kullanımı dikkate alınarak, parıltı

kontrolü, titreşim ve stroboskopik etkiler gibi görsel konfor unsurları daha açık biçimde düzenlenmiştir. Ayrıca, ışığın görsel olmayan etkileriyle kullanıcıların performans ve iyi oluşu arasındaki ilişkilere de yer verilmiştir (British Standards Institution, 2021a).

İç mekan iş yerlerinde aydınlatma tasarımının temel amacı yalnızca gerekli aydınlık düzeylerini sağlamak değil, aynı zamanda çalışanların görsel konforunu, görev performansını ve güvenliğini destekleyen bütünsel bir ışık ortamı yaratmaktır. Bu kapsamda, parlaklık dağılımı, aydınlık düzeyi, kamaşma kontrolü, ışığın yönlülüğü, renk görünümü ve renk geriverimi gibi kriterler belirleyici parametrelerdir. Standart ayrıca yüzeylerin yansıtma özelliklerini tanımlayarak, tavan ve duvarlarda yüksek yansıtıcılı yüzeylerin tercih edilmesini önermekte, böylece hem mekansal parlaklık algısı hem de enerji verimliliği artırılmaktadır. Aydınlatma tasarımında düzgün aydınlık dağılımı ve üniformite, gözün sürekli adaptasyon ihtiyacını azaltarak görsel yorgunluğu önlemektedir. Bunun yanında, yapay ışığın titreşim (flicker) ve stroboskopik etkilerinin kontrol edilmesi, uzun süreli konfor ve sağlık açısından kritik görülmektedir. Ekranlı çalışma ortamları için ise yansıma ve kamaşmanın sınırlandırılması, iş verimliliği ve ergonomi bakımından standartta özel olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede, BS EN 12464-1:2021, hem teknik gereklilikleri hem de kullanıcı odaklı yaklaşımları bir araya getirerek iç mekanlarda yapay aydınlatma için kapsamlı bir referans oluşturmaktadır (British Standards Institution, 2021a).

Standart, iç mekan iş yerlerinde aydınlatma tasarımını yalnızca genel ilkelerle değil, farklı fonksiyonlara özgü ayrıntılı gerekliliklerle de ele almaktadır. Buna göre, okullar, ofisler, sağlık mekanları, endüstriyel tesisler, ticari alanlar veya dolaşım alanları gibi her bir kullanım tipi için gerekli aydınlık düzeyi (Ēm), üniformite (Uo), kamaşma sınırları (UGRL) ve renk geriverim indeksleri (Ra) tablolar halinde tanımlanmaktadır (Çizelge 2.5). Ayrıca mekan parlaklığı için duvar, tavan ve silindirik aydınlık değerleri verilerek, yalnızca görev alanının değil, tüm mekanın dengeli ve konforlu bir biçimde aydınlatılması hedeflenmektedir. Bu kapsamıyla standart, her fonksiyon için görsel konfor, güvenlik, verimlilik ve enerji etkinliğini destekleyen ayrıntılı referans değerler sunmaktadır (British Standards Institution, 2021a).

Çizelge 2.5. BS EN 12464-1:2021a'e göre Kamuya Açık Mekanlar – Kütüphaneler

Ref. No.	**Görev/ Etkinlik Alanı**	$\bar{E}_m$ lx		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,duvar}$ lx	$\bar{E}_{m,tavan}$ lx	**Özel Gereksinimler**
		Gerekli	Değiştirilmiş				$U_o \geq 0,10$			
41.1	Kitap Rafları	200	300	0,40	80	19	-	-	-	Raflarda dikey aydınlatma. Kitap rafları için özel aydınlatma kullanıldığında RUGL değeri uygulanmaz.
41.2	Okuma Alanı	500	750	0,60	80	19	100	100	50	Hoş bir atmosfer sağlanmalıdır.
41.3	Tezgahlar	500	750	0,60	80	19	150	150	50	
41.4	Genel Aydınlatma	300	500	0,40	80	22	75	75	75	
a gerekli: minimum değer b değiştirilmiş: 5.3.3'teki ortak bağlam değiştiricilerini dikkate alır										

2.2.4. BIM Tabanlı Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirlik

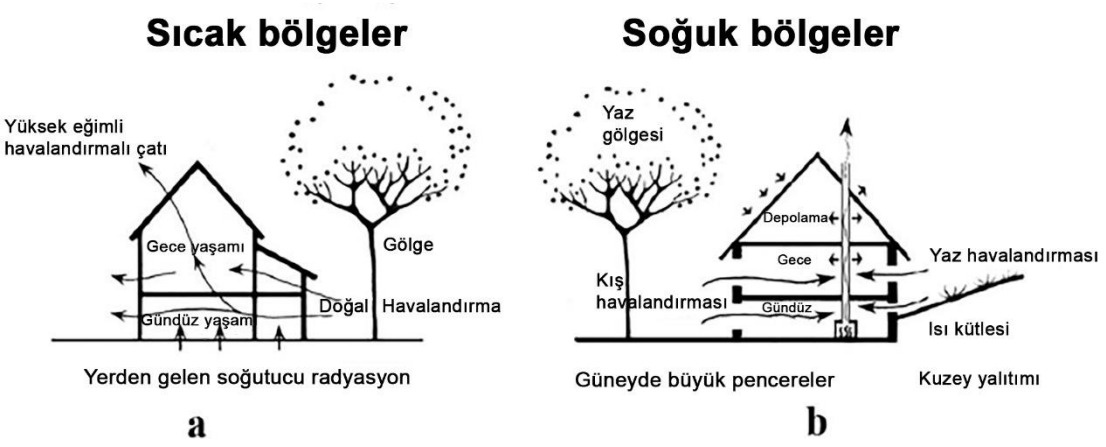
Günümüzde sürdürülebilir bina tasarımı süreçlerinde gün ışığı kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması ve kullanıcı konforunun sağlanması açısından önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, bina bilgi modelleme (BIM) teknolojisinin sağladığı çok disiplinli entegrasyon olanakları, gün ışığı analizlerinin daha bütüncül ve veri odaklı bir şekilde yürütülmesine imkan tanımaktadır.

Afsari (2012) tarafından vurgulanan önemli bir konu, BIM'in erken tasarım aşamasında enerji verimliliği, malzeme optimizasyonu ve bina performans analizi gibi kritik unsurların tasarım sürecine entegre edilmesidir. Geleneksel tasarım yöntemlerinde, bu tür analizler genellikle tasarım sürecinin daha sonraki aşamalarına bırakılmakta ve bu da projede değişiklik yapılması gerektiğinde zaman kayıplarına ve bütçe aşımına yol açmaktadır. BIM, tüm bu verileri dijital bir modelde entegre ederek, tasarımın her

aşamasında bu verilere kolay erişimi sağlar ve tasarım sürecini hızlandırır (Eastman et al., 2011).

BIM teknolojisinin çok boyutlu yapısı sayesinde, tasarım sürecinin herhangi bir aşamasında mevcut verilerle enerji performansı analizleri ve simülasyonları yapılabilmektedir. Bu bağlamda, literatürde güneş radyasyonu, enerji tüketimi, gün ışığı, havalandırma ve ısıl konfor gibi pek çok alanda bina performansını iyileştirmeye yönelik kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Fahad, 2022).

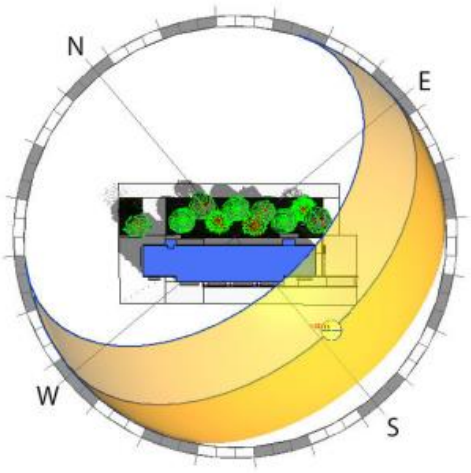
Pasif ısıtma ve soğutma yöntemleri, binaların enerji performansını artırmada önemli bir yere sahiptir. Bu stratejiler esasen doğal havalandırma ve güneş ışınımı prensiplerine dayanmaktadır. Sıcak iklimlerde, yerel koşullara uyum için doğal havalandırma, su kullanımı, güneş kırıcılar, çıkmalar ve cephe gölgeleme elemanları öne çıkarken, ısıl kütle ve yalıtım sistemleri gündüz aşırı ısınmayı engelleyip gece boyunca depolanan ısının serbest bırakılmasını sağlar. Soğuk iklimlerde ise ısıtma ihtiyacı belirleyici olup, uygun yalıtım ve ısıl kütle geleneksel pasif stratejiler olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.11). Günümüzde bu yöntemler, sürdürülebilir tasarım anlayışında enerji etkin ve yüksek performanslı binaların geliştirilmesinde temel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Gallo, 1994).



Şekil 2.11. (a) Sıcak İklim Koşullarında Pasif Soğutma Stratejileri (b) Soğuk İklim Koşullarında Isıl Kütleye Dayalı Pasif Stratejiler (Gallo, 1994).

Bina kütlesinin ve geometrisinin biçimlenişi, yapı kabuğunda meydana gelen ısı kazanç ve kayıplarını önemli ölçüde yönlendirmekte olup, bu durum iç mekanların ısıl performansını belirleyen kritik unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir (Brzezicki, 2012).

Bina yönelimi, yapının güneşin yıllık hareketine ve hakim rüzgar koşullarına göre konumlandırılması olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.12).



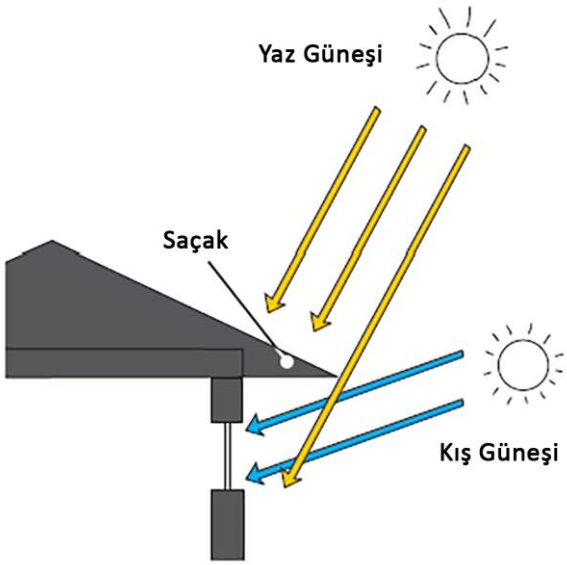
Şekil 2.12. Bina Yönelimi ve Güneşin Hareketine Dayalı Konumlandırma Örneği (Mytafides et al., 2017)

Uygun bir yönelim elde etmek için dikkate alınması gereken başlıca unsurlar, bölgesel iklim koşulları, arazinin güneş açıları ve hakim rüzgar yönleri ile iklim değişikliğinin gelecekte yaratacağı etkiler olmaktadır (YourHome, 2020).

Doğru bina yönelimi, gün ışığının iç mekanlara etkin bir biçimde girmesine olanak tanımaktadır. Bu durum yapay aydınlatma gereksinimini azaltarak enerji tüketiminin düşmesine katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda iç mekanlarda doğal aydınlatmanın artması kullanıcı konforunu yükseltmekte ve enerji verimliliğini desteklemektedir.

Dış mekan gölgeleme elemanları, binalarda güneşten kaynaklanan aşırı ısı kazanımlarını kontrol etmek için kritik bir rol oynamaktadır. Pencere sistemlerinin tasarımı, yaz aylarında iç mekanların aşırı ısınmasını önlerken kış aylarında gerekli güneş ısısını alacak şekilde planlanmaktadır. Özellikle kuzey cepheler için yatay çıkmalar, yazın yüksek açılı

güneş ışınlarını engellerken kışın iç mekana ısı girmesine imkan tanımaktadır (Şekil 2.13). Öte yandan, doğu ve batı cephelerinde düşük açılı sabah ve akşam güneşine karşı dikey paneller, jaluziler veya stor perdeler gibi hareketli gölgeleme çözümleri uygulanmaktadır. Ayrıca, gölgeleme elemanlarının açık renkli olması, altında veya arkasında ısı birikmesini önlemekte ve enerji verimliliğini artırmaktadır (Donn et al., 2010).



Şekil 2.13. Güneş Kontrolünde Yatay Saçakların Rolü (Donn et al., 2010).

Trzęski & Rucińska'nın (2025) çalışması, simülasyonların gün ışığı düzeylerini güvenilir biçimde temsil edebildiğini ve bu sayede enerji verimliliğini artırmaya yönelik tasarım stratejilerinin değerlendirilmesinde etkili bir araç sunduğunu göstermektedir. Bulgular, gün ışığının etkin kullanımı ile aydınlatma, soğutma ve ısıtma yüklerinde önemli iyileşmeler sağlanabileceğini, hatta toplam enerji talebinin %53'e kadar azaltılabileceğini göstermiştir. Özellikle otomatik aydınlatma kontrolü, yalnızca yapay aydınlatma tüketimini değil aynı zamanda soğutma ihtiyacını da düşürerek dış gölgeleme çözümlerine kıyasla daha yüksek tasarruf potansiyeli sunmaktadır. Ayrıca, iç yüzey renkleri gibi çoğu zaman göz ardı edilen faktörlerin de toplam enerji performansı üzerinde anlamlı etkiler yarattığı vurgulanmaktadır. Çalışma genel olarak, farklı stratejilerin bütünleşik şekilde ele alınmasının tasarım aşamasında enerji verimliliğini optimize etmek için kritik olduğunu göstermektedir (Trzęski & Rucińska, 2025).

Bakmohammadi & Noorzai'nin (2020) çalışması, sınıf tasarımlarında enerji verimliliği ile termal ve görsel konforu birlikte optimize etmeyi amaçlayan parametrik bir çerçeve sunmaktadır. Araştırma, farklı tasarım değişkenlerinin (örneğin WWR, bina yönlenmesi, pencere tipi ve duvar eğimi) enerji tüketimi ve gün ışığı performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bulgular, uygun zonlama stratejileriyle aydınlatma enerjisinde %48'e kadar tasarruf sağlanabileceğini, üçlü cam kullanımıyla ise enerji tüketiminin azalıp termal konforun iyileştiğini göstermektedir. Çalışma, tek ve kesin bir tasarım çözümü sunmak yerine, farklı senaryolar arasından optimum tercihler yapabilmek için mimarlara yol gösterici bir yöntem önererek sürdürülebilir okul yapılarının erken tasarım aşamalarında önemli katkılar sağlamaktadır.

Shahbazi et al., (2019), gün ışığı kullanımı ve enerji performansını geliştirmek amacıyla bina cephelerinde pencere-duvar oranı, pencere sayısı ile pencere yüksekliği ve parapet seviyesinin en uygun değerlerini belirlemek için çok amaçlı bir optimizasyon yöntemi uygulamışlardır.

Erken tasarım aşamalarında parametrik optimizasyon ve simülasyon teknolojilerinin kullanılmasının, enerji verimliliği ve gün ışığı performansını artırmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Qingsong & Fukuda, 2016).

Sürdürülebilir kalkınma, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kapasitesini tehlikeye atmayan bir gelişim yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (WCED, 1987).

Sürdürülebilir projelerde, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) etkin biçimde kullanıldığında, yeşil bina standartlarının karşılanması YBM kullanımı olmayan şirketlere kıyasla daha kolay ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmektedir (Akkaya, 2012).

Gün ışığının etkin kullanımı, sürdürülebilir mimarlıkta temel bir strateji olarak enerji tüketimini azaltmakta ve enerji verimliliğini artırmaktadır. Bu yaklaşım aynı zamanda karbon salınımlarını ve zararlı gaz oluşumlarını sınırlayarak, küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunmaktadır (Guzowski, 2000).

Sürdürülebilir yapılar, enerji verimliliği sağlamakta, doğal kaynakların tasarruflu kullanımını desteklemekte ve sağlıklı iç mekan koşulları yaratmaktadır. Ayrıca, çevreye uygun malzemelerin kullanımıyla mekan kalitesi ve estetiği artırılmakta, yapıların fonksiyonel ve kullanıcı dostu tasarım hedeflerine katkı sağlamaktadır (Dilsizoğlu, 2016). Bina enerji performansı üzerinde hava koşulları, yapının fiziksel özellikleri ve strüktürel nitelikleri (örneğin form, yönelim, kabuk elemanları, kullanıcı yoğunluğu vb.) gibi birçok faktör etkili olmaktadır. Bu nedenle, enerji kullanımını öngörmek, enerji performansını değerlendirmek, enerji tasarrufu sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak açısından önem taşımaktadır ve sürdürülebilir mimarlık hedefleri ile uyumludur (Fahad, 2022).

Gün ışığı tasarımının hedefleri farklı boyutlarda değerlendirilebilmektedir. Enerji tüketiminin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi ekolojik boyutu oluşturmaktadır. Nitel ve nicel aydınlatma koşullarının sağlanması işlevsel gereklilikleri temsil etmektedir. Aydınlatma, ısıtma ve soğutma yüklerinin dengelenmesi sistem entegrasyonu açısından önem taşımaktadır. Ayrıca görsel konfor, sağlık ve çevre ile etkileşim gibi unsurlar kullanıcı deneyimini şekillendirmektedir. Mekanın form, strüktür ve malzeme ile bütünleştirilmesi ise estetik boyutu ortaya koymaktadır. Bu unsurların bütüncül biçimde ele alınması, sürdürülebilir mimarlık için temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Guzowski, 2000).

Bakmohammadi & Noorzai'nin (2020) çalışması, bina kullanıcılarına yüksek düzeyde termal konfor sağlarken enerji tüketimini azaltmakta ve enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir mimarlık hedeflerinin hayata geçirilmesine önemli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sürdürülebilir bina tasarımında gün ışığının mimari tasarıma entegre edilmesi göz ardı edilemez, çünkü doğal aydınlatma hem çevresel açıdan en sürdürülebilir hem de kullanıcı sağlığı açısından en yararlı çözümlerden biridir. Özellikle pasif gün ışığı sistemleri, yalnızca mekanın aydınlatılmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda doğal havalandırmaya da katkıda bulunarak düşük enerji tüketimli ve çevre dostu yapıların geliştirilmesine olanak tanır (Onubogu et al., 2021).

Sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda inşaat sektöründe, binaların yapım ve işletim süreçlerinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik küresel ölçekte önemli girişimler bulunmaktadır. Bu doğrultuda, çevresel etkilerin değerlendirilmesi için ulusal ve uluslararası düzeyde gönüllü sertifikasyon sistemleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılan sistemler arasında, ABD'de U.S. Green Building Council tarafından oluşturulan ve yeşil bina uygulamalarında temel bir ölçüt haline gelen LEED, İngiltere merkezli BREEAM ve Avustralya kökenli Green Star yer almaktadır (Roderick et al., 2010).

Sürdürülebilir mimarlık, yalnızca çevresel verimlilikle sınırlı olmayıp sosyal, kültürel ve ekolojik boyutlarıyla da disiplinlerarası bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu nedenle, geliştirilen stratejilerin birbirinden bağımsız değil, bütüncül bir çerçevede değerlendirilmesi sürdürülebilir tasarımın temel koşuludur. Bu bağlamda gün ışığının yapısal tasarıma entegrasyonu, hem farklı sürdürülebilirlik ölçütleriyle kurduğu çok yönlü etkileşim hem de kullanıcı sağlığı ve mekansal kalite üzerindeki etkileri nedeniyle kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Tatar, 2013).

Araştırma bulguları, gün ışığının doğru şekilde kullanımının enerji tüketimini düşürdüğünü, ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini dengeleyerek enerji verimliliğini artırdığını ve bu sayede sürdürülebilir mimarlık hedeflerinin desteklendiğini ortaya koymaktadır (Trzęski & Rucińska, 2025; Bakmohammadi & Noorzai, 2020; Shahbazi et al., 2019; Qingsong & Fukuda, 2016).

Sürdürülebilirlik yalnızca enerji verimliliği ve tüketimin azaltılması ile sınırlı olmayıp kullanıcıların fiziksel, fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarını da kapsayan bir yaklaşımdır. Bu çerçevede gün ışığı tasarımı, çevresel, estetik, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla sürdürülebilir mimarinin temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Abdelatia et al., 2010).

2.2.5. Eğitim Binalarında Aydınlatma Tasarım Kriterleri

Eğitim binaları, öğrencilerin aile dışındaki sosyal yaşamlarını sürdürdükleri temel ortamlardır (Gürel Ulusan, 2012).

Okullarda gün ışığının etkin kullanımı, çeşitli açıdan önemli faydalar sağlamaktadır. Araştırmalar, doğal ışığın akademik performansı artırdığını, enerji tasarrufuna katkıda bulunduğunu ve yeterli aydınlatma sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, gün ışığı kullanımı öğrenciler ile doğa arasındaki bağı güçlendirmekte, sağlıklı bir iç mekan ortamı oluşturmakta ve ideal öğrenme koşullarının oluşmasına olanak tanımaktadır (Yener, 2007).

Çalışma alanları, çocuklar ve yetişkinler için günlük yaşamın büyük bir kısmını kapsamakta ve bu nedenle ofisler, kütüphaneler ve eğitim yapıları gibi mekanların yeterli gün ışığı alması, kullanıcıların psikolojik iyi oluşunu ve sağlık durumunu destekleyerek çalışma performansını artırmaktadır (Tatar, 2013).

Doğal ışığın kullanımı yalnızca işlevsel yararlar sağlamakla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda iç mekanın estetik değerini yükseltmekte ve kullanıcıların mekana yönelik aidiyet duygusunu güçlendirmektedir (Yıldırım & Yüksek, 2024).

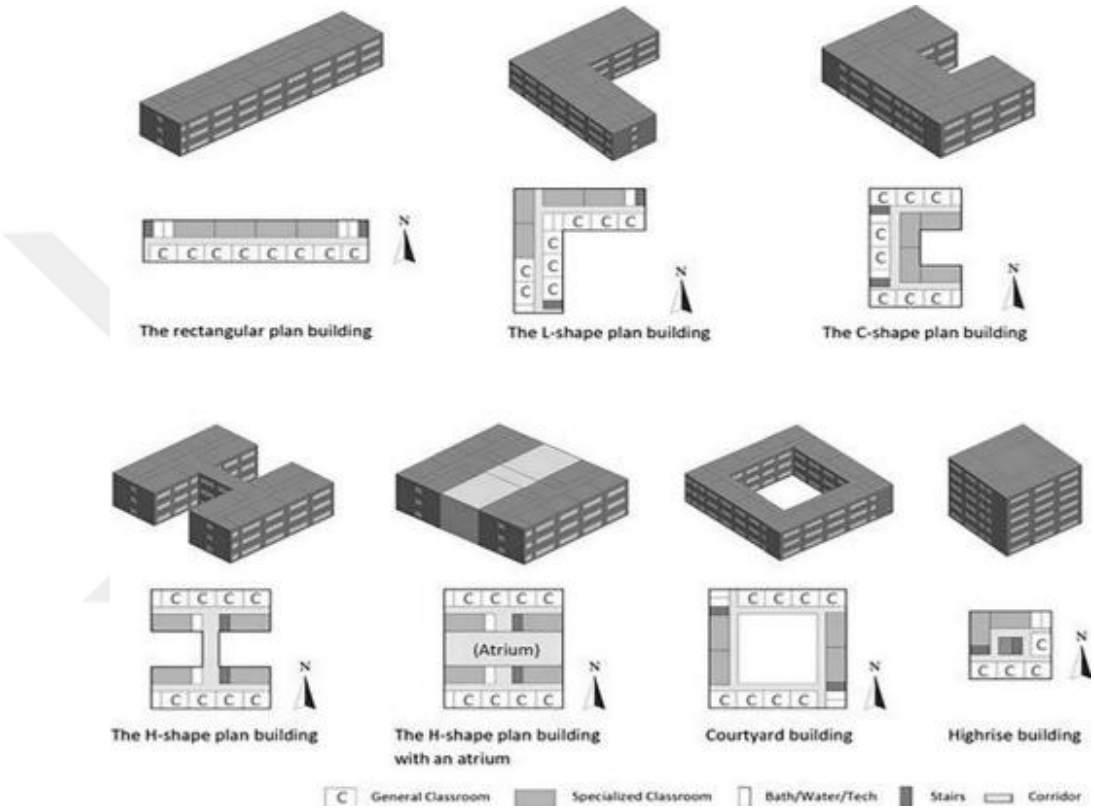
Özellikle okuma ve yazma gibi görsel etkinlikler sırasında, öğrencilerin göz sağlığını korumak ve öğrenme performansını artırmak için görsel konfor şartlarının sağlanması kritik öneme sahiptir. Bu nedenle eğitim binalarında sınıflar, aydınlatma tasarımına özel dikkat gösterilmesi gereken alanlardır (Gürel Ulusan, 2012).

Doğal ışık kullanımına yönelik stratejiler, iç mekanda görsel rahatsızlıkları önlemek amacıyla gün ışığını en verimli şekilde yakalamayı ve dağıtmayı hedeflemektedir. Gün ışığının etkin bir biçimde tasarımı, yeterli aydınlatmayı sağlarken aynı zamanda yapay aydınlatmaya harcanan enerji tüketimini azaltmaya katkı sunmaktadır (Abdelatia et al., 2010).

Yapının geometrik formu, iç mekanda gerçekleşen ısıl süreçler üzerinde doğrudan etkili olup, ısı kazançları ve kayıplarını belirlemektedir (Brzezicki, 2012). Bu nedenle, okul

yapıları gibi eğitim mekanlarında uygun form seçimi, enerji performansını optimize etmek ve termal konforu sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Okul binalarında en sık tercih edilen çeşitli yapı form örnekleri Şekil 2.14'de sunulmuştur.



Şekil 2.14. Eğitim Yapılarında Uygulanan Farklı Tasarım Formları (Zhang et al., 2017)

Sınıfların yalnızca doğal aydınlatma ile tüm yıl boyunca yeterli ışık düzeyine ulaşması mümkün değildir. Bu nedenle, özellikle gün ışığının yetersiz olduğu zaman dilimlerinde ve akşam saatlerinde, yapay aydınlatmanın devreye girmesi gerekmektedir. Doğal ve yapay ışık kaynaklarının birbirinden bağımsız olarak değil, tamamlayıcı bir bütünün parçaları şeklinde ele alınması önem taşımaktadır. Böyle bir yaklaşım, iç mekanda görsel konforun artırılmasının yanı sıra elektrik enerjisinde kayda değer ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Bu bağlamda, gün ışığının gün içerisindeki ve mevsimsel değişimlerinin iyi analiz edilmesi ve buna bağlı olarak yapay aydınlatma gereksiniminin doğru belirlenmesi kritik bir husus olarak vurgulanmaktadır (Abdelatia et al., 2010).

Türkiye'de eğitim yapılarında aydınlatma koşullarını düzenleyen en kapsamlı standart TS EN 12464-1'dir. Bu standart, kapalı mekanlarda çalışan veya öğrenim gören kişilerin görsel konforunu ve etkin performansını sağlayacak aydınlatma kriterlerini belirlemektedir (Bayram et al., 2020).

Özen & Sümengen'in (2022) çalışmasında, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan tek tip eğitim yapılarının gün ışığı performansı TS EN 17037 standardı çerçevesinde değerlendirilmiş ve iklimsel verilerin tasarım sürecine dahil edilmesinin enerji verimliliği açısından kritik bir parametre olduğu ortaya konmuştur (Çizelge 2.6). Araştırma, cephe yönelimi, pencere boyutu, cam türü ve güneş kırıcı kullanımı gibi değişkenlerin gün ışığı performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir (Özen & Sümengen, 2022).

Çizelge 2.6. TS EN 12464-1'e göre çalışma alanları aydınlatma standartları (Özen & Sümengen, 2022)

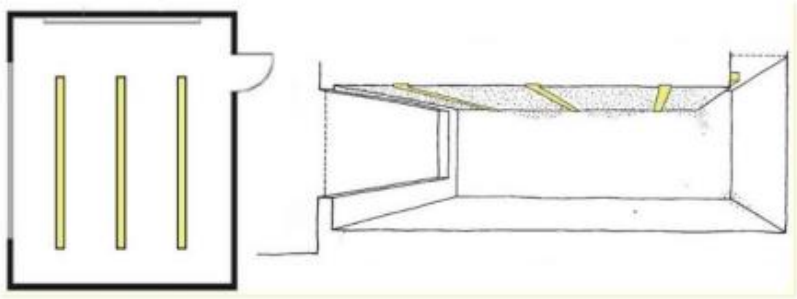
AYDINLATILACAK YER	**MİNİMUM AYDINLIK DÜZEYİ (lx)**
Sınıflar, özel ders odaları	300
Akşam dersleri ve yetişkin eğitimi için sınıflar	500
Konferans salonu	500
Sanat odaları	500
Teknik çizim odaları	750
Uygulama odaları ve laboratuvarlar	500
Bilgisayar uygulama odaları	300
Holler	200
Dolaşım alanları, koridorlar	100
Merdivenler	150
Öğrencilerin ortak kullandığı alanlar	200

Eğitim yapıları, öğrencilerin aile dışında sosyalleştikleri ve zamanlarının büyük kısmını geçirdikleri mekanlar olarak, fiziksel ve psikolojik açıdan sağlıklı koşulları sağlayacak

biçimde tasarlanmalıdır (Yener et al., 2009). Bu yapılarda, öğrenme sürecinin temel faaliyetleri olan okuma ve yazma için uygun görsel konfor koşullarının oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Özellikle gelişim çağındaki öğrencilerin yoğun olarak kullandığı sınıf mekanlarında, göz sağlığının korunması, görsel performansın desteklenmesi, öğrenme verimliliğinin artırılması ve psikolojik açıdan olumlu bir çevrenin sunulması gereklidir. Bu nedenle sınıflar, eğitim yapılarında aydınlatma tasarımına en fazla önem verilmesi gereken alanlar arasında yer almaktadır (Yener et al., 2009).

Sınıflar: Sınıflarda doğal ışığın etkin kullanımı, öğrencilerin görsel konforu ve öğrenme verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Cephe yönü, pencere boyutu ve sayısı sınıfın büyüklüğüne göre planlanmaktadır. Fazla gölgelenmeyi önlemek için pencere yerleşimleri dikkatle tasarlanmaktadır ve ışık kontrolü için panjur, perde veya güneş kırıcı sistemler kullanılmaktadır. Yapay aydınlatma da enerji tasarrufu ve göz sağlığı göz önünde bulundurularak destekleyici şekilde düzenlenmektedir (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Şekil 2.15'te, sınıf aydınlatma tasarım kriterleri doğrultusunda optimum aydınlatma düzenlemesi örneği sunulmaktadır (Ulusan & Fitöz, 2017; Loe ve ark., 1999).



Şekil 2.15. Sınıflarda Optimum Aydınlatma Tasarımı (Ulusan & Fitöz, 2017; Loe ve ark., 1999)

TS EN 12464-1:2021 standardına göre, normal dersliklerde ortalama yatay aydınlık seviyesi 300 lx, uniformite en az 0,60 ve renk geriverimi (CRI) 80 veya üzerinde

olmalıdır. Böylece öğrencilerin görsel konforu korunmakta ve öğrenme etkinliği artırılmaktadır (TS EN 12464-1, 2021).

Çok Amaçlı Salonlar: Toplantı, konferans ve gösterim gibi farklı aktivitelerin aynı mekanda gerçekleştiği alanlardır. Bu nedenle hem doğal hem yapay aydınlatmanın ayarlanabilir olması gerekmektedir. Dimmer sistemleri ve açılabilir çatı ışıklıkları, ışık seviyelerinin etkinlik türüne göre optimize edilmesini sağlamaktadır. Doğru aydınlatma ile birlikte havalandırma sistemlerinin enerji verimli çalışması sağlanmaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

TS EN 12464-1:2021 standardına göre çok amaçlı salonlarda, öğrenci etkinlikleri ve toplanma işlevlerinin görsel konfor içinde gerçekleşmesi için ortalama aydınlık seviyesi 200 lx olarak belirlenmektedir. Aydınlık uniformitesi en az 0,40 olmalı ve renk geriverimi (CRI) değeri 80 veya üzerinde olmalıdır (TS EN 12464-1, 2021).

Kütüphane Alanları: Kütüphanelerde okuma ve araştırma faaliyetlerinin yoğunluğu, doğal ışığın dağılımını önemli kılmaktadır. Büyük tek pencereler yerine dağıtılmış küçük pencereler veya tepe ışıklıkları tercih edilerek her alanın yeterli ışık alması sağlanmaktadır. Gölgelenme ve doğrudan güneş ışığının yaratabileceği parlama önlenmekte, perdeler ve panjurlar ile ışık ve ısı yükü kontrol edilmektedir. Açık renkli ve yansıtıcı yüzeyler, doğal ışığın iç mekanda homojen dağılmasına katkı sağlamaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Kütüphanelerde farklı kullanım alanlarına göre aydınlatma değerleri değişmektedir. Kitap rafları için ortalama 200 lx, uniformite 0,60 ve CRI ≥ 80 önerilmektedir. Okuma ve çalışma alanlarında ise görsel görevlerin niteliği gereği aydınlık seviyesi 500 lx'e çıkarılmakta, uniformite 0,60 ve CRI ≥ 80 olarak tanımlanmaktadır (TS EN 12464-1, 2021).

Koridor ve Merdivenler: Koridor ve merdivenler genellikle yapının merkezinde konumlanmaktadır ve doğal ışık sınırlı olmaktadır. Bu alanlarda güvenliği ve konforu artırmak için pencere açıklıkları, cam kapılar, tepe ışıklıkları veya ışık tüpleri

kullanılmaktadır. Doğal ışığın bu alanlara iletilmesi, hem görsel rahatlık hem de kullanıcı güvenliği açısından önem taşımaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Eğitim yapılarında dolaşım alanları olan koridorlarda ortalama aydınlık seviyesi 100 lx, merdivenlerde ise 150 lx olarak öngörülmektedir. Bu alanlarda uniformite en az 0,40 ve CRI ≥ 80 olmalıdır. Böylece güvenli hareket sağlanmakta ve kullanıcı konforu desteklenmektedir (TS EN 12464-1, 2021).

Laboratuvarlar: Laboratuvarlarda hassas deneyler ve gözlemler yapıldığından doğal ışık kullanımı sınırlı olmaktadır. Doğrudan güneş ışığı, sıcaklık ve nem gibi kontrol edilmesi gereken faktörleri etkilemektedir. Bu nedenle laboratuvarlarda çoğunlukla yapay aydınlatma tercih edilmektedir, ek olarak uygun koşullarda tepe ışıklıkları veya ışık tüpleri ile doğal ışık desteklenmektedir. Tasarımda güvenlik ve ölçüm hassasiyeti her zaman öncelikli tutulmaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Laboratuvarlarda yapılan deneysel ve pratik çalışmaların gerektirdiği görsel doğruluk için ortalama aydınlık seviyesi 500 lx olarak tanımlanmaktadır. Aydınlığın uniformitesi en az 0,60 ve CRI değeri 80 veya üzerinde olmalıdır (TS EN 12464-1, 2021).

Atölyeler: Atölyeler, sanat ve tasarım üretiminin gerçekleştirildiği mekanlardır. Görsel algının doğru olması için doğal ışık kullanımı esastır ve özellikle renk ile detay algısının önemi yüksektir. Bu sayede öğrenciler, eserleri gerçek renk ve biçimde görebilmektedir, yaratıcılık ve üretkenlik desteklenmektedir. Ayrıca, doğal ışık öğrencilerin görsel konforunu artırarak iş verimliliğine katkı sağlamaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).
Eğitim amaçlı kullanılan atölyelerde, işlevsel ve güvenli çalışma için ortalama aydınlık seviyesi 500 lx olarak önerilmektedir. Uniformite değeri en az 0,60, CRI ise 80 ve üzerinde olmalıdır (TS EN 12464-1, 2021).

Spor Salonları: Spor salonlarında doğal ışığın iç mekana alınması, kullanıcı motivasyonu ve güvenliği açısından önem taşımaktadır. Büyük pencere ve çatı ışıklıkları ile ışık seviyesi artırılmaktadır ve gün boyu değişen ışık koşullarına göre otomatik kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Doğru yönlendirilmiş ışık, kamaşma ve parlama etkilerini

önleyerek spor etkinliklerinin verimli ve güvenli yapılmasına olanak sağlamaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Spor salonlarında ortalama aydınlık seviyesi 300 lx, uniformite 0,60 ve CRI ≥ 80 olarak belirlenmektedir. Ayrıca, spor alanlarına ilişkin detaylı aydınlatma kriterleri EN 12193 standardında tanımlanmaktadır (TS EN 12464-1, 2021).

Kantin ve Kafeterya: Kantin ve kafeteryalar, öğrencilerin sosyalleştiği ve dinlendiği alanlar olduğundan, doğal ışık hem pozitif bir atmosfer yaratmaktadır hem de kullanıcıların dikkat ve ruh halini olumlu etkilemektedir. Doğal ışık, enerji verimliliği sağlamakta ve öğrencilerin fiziksel ile zihinsel enerji seviyesini artırarak verimli bir dinlenme ortamı oluşturmaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Öğrencilerin sosyalleşme ve yemek yeme ihtiyaçlarını karşılayan kantin ve kafeterya alanlarında aydınlık seviyesi 200 lx, uniformite 0,40 ve CRI ≥ 80 olmalıdır. Bu değerler, görsel konforu ve mekanın işlevselliğini desteklemektedir (TS EN 12464-1, 2021).

İdari Mekanlar: İdari alanlarda doğal ışık, çalışanların performansı, memnuniyeti ve sağlık durumu için kritik bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Pencere konumları, cam yüzeyler ve gölgelendirme sistemleri doğru planlandığında, sirkadiyen ritim dengesi korunmakta ve enerji verimliliği sağlanmaktadır. Böylece hem çalışma ortamı konforlu hale gelmekte hem de enerji tüketimi azalmaktadır (Yıldırım & Yüksek, 2024).

Öğretmen odaları ve diğer idari mekanlarda görsel görevlerin yerine getirilebilmesi için ortalama aydınlık seviyesi 300 lx olarak önerilmektedir. Uniformite en az 0,60 ve CRI ≥ 80 olmalıdır (TS EN 12464-1, 2021).

Araştırma bulguları, tek tip eğitim yapılarının farklı iklim bölgelerinde minimum aydınlık gereksinimlerini karşılamada yetersiz kaldığını ve bu nedenle doğal aydınlatma tasarımının iklim koşullarına özgün olarak planlanmasının sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği açısından zorunlu olduğunu göstermektedir (Özen & Sümengen, 2022).

Eğitim binalarında doğal ışık kullanımı, hem öğrencilerin hem de öğretmenlerin daha sağlıklı ve verimli bir öğrenme ortamına erişmesini sağlamada kritik bir rol oynamaktadır. Doğal aydınlatma, göz yorgunluğunu azaltarak ve enerji seviyelerini yükselterek fiziksel ve zihinsel sağlık üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Ayrıca öğrencilerin dikkat ve odaklanma sürelerini artırırken, renklerin doğru algılanmasına ve görsel materyallerin daha etkili bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olur. Bunun yanı sıra, yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlar ve yapının sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur. Bu nedenle, eğitim yapılarının tasarım sürecinde doğal ışığın etkin kullanımı, öğrenme deneyiminin kalitesini yükselten temel bir unsurdur (Yıldırım & Yüksek, 2024).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, gün ışığı performans analizleri kapsamında, Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Binası çalışma alanı olarak ele alınacaktır. İlk aşamada, mevcut binaya ait mimari veriler doğrultusunda yapı modeli, Autodesk Revit yazılımı kullanılarak BIM tabanlı olarak dijital ortamda oluşturulacaktır. Modelleme sürecinde yapının geometrisi, açıklıkları, malzeme özellikleri ve mekansal bileşenleri detaylı biçimde tanımlanacaktır. Revit ortamında oluşturulan bu model üzerinden, Insight simülasyon aracı kullanılarak iki farklı analiz gerçekleştirilecektir. Analiz süreci boyunca, doğal aydınlatma koşullarını iyileştirmeye yönelik olarak açıklık boyutları ve konumlarında senaryolar geliştirilecek, böylece yapının gün ışığından en verimli şekilde yararlanmasını sağlayacak optimize edilmiş bir model oluşturulacaktır. Elde edilecek bulgular, yapının doğal aydınlatma performansının görsel konfor ve enerji verimliliği açısından bütüncül olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlayacaktır.

3.1 Çalışma Alanının Tanımlanması

Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Türkiye'nin Bursa ilinde, Görükle Kampüsü içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Mimarlık Fakültesi binası, 1997 yılında tamamlanmış olup, kurucu öğretim üyeleri Prof. Cengiz Bayülgen ve Prof. Erhan Balkan tarafından tasarlanmıştır (Şekil 3.2).



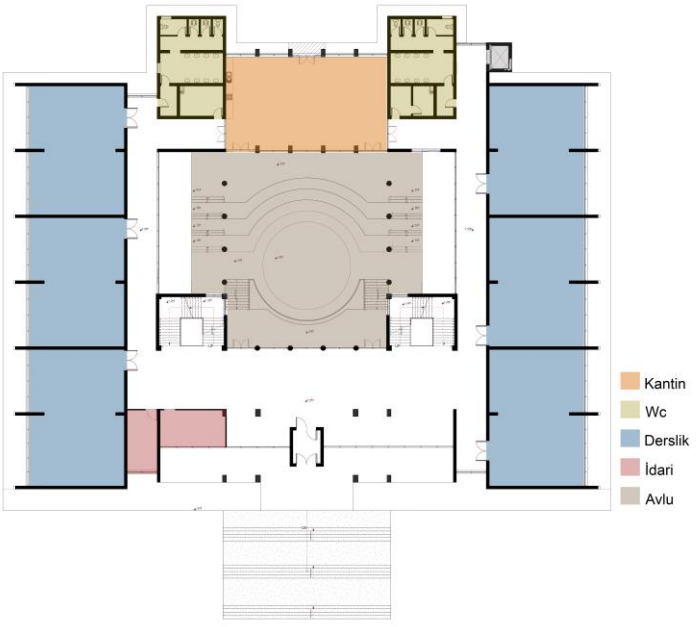
Şekil 3.1. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin Google Earth'ten üst ölçekli görünümü.



Şekil 3.2. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin dış cephe görünümü.

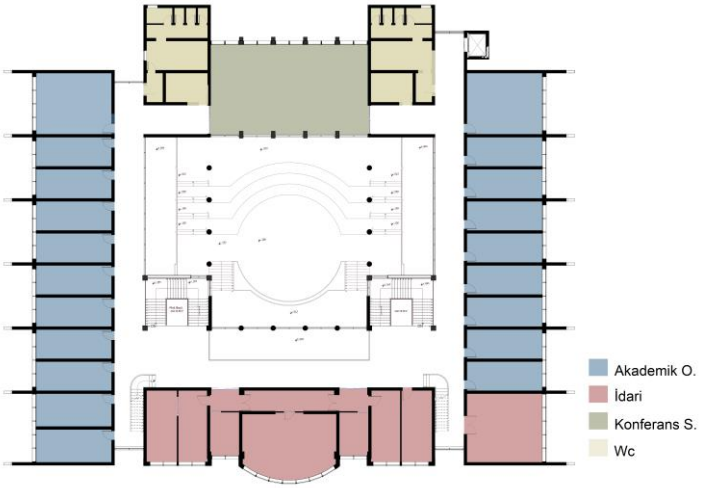
Üç katlı olarak inşa edilen bina, toplamda 3.568 m² kapalı alana (giriş katı: 1.428 m², birinci kat: 1.200 m², çatı katı: 940 m²) ve 359 m² büyüklüğünde açık iç avluya sahiptir. Binanın mimari tasarımı, işlevselliği ve estetik değerleri göz önünde bulundurularak, mimarlık eğitimine uygun bir ortam sağlamayı hedeflemiştir.

Binanın giriş katında 5 derslik, 1 seminer salonu, 1 bilgisayar laboratuvarı, 1 öğrenci kantini, 1 hizmetli odası, 1 teknik hacim ve sergi alanları yer almaktadır (Şekil 3.3).



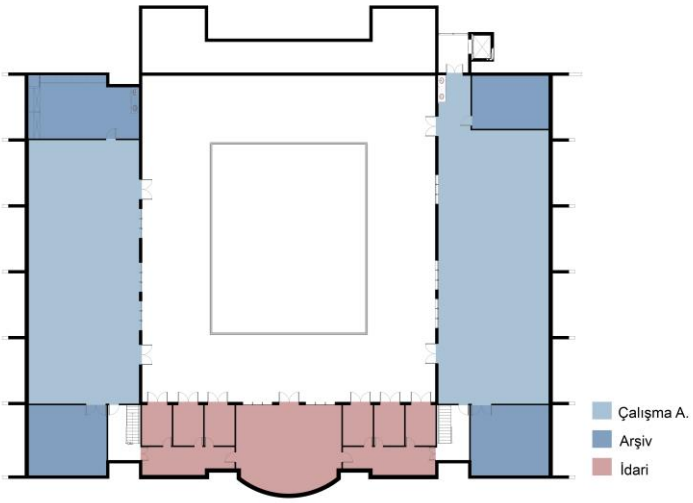
Şekil 3.3. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi zemin kat planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)

Birinci katta akademik ve idari personel odaları ile çok amaçlı salon (sosyal alanı da içermektedir) bulunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi birinci kat planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)

Çatı katı ise seminer, çalıştay, sergi aktiviteleri ve stüdyo çalışmaları için kullanılan serbest alan ile malzeme teşhir ve arşiv alanlarını içermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi çatı katı planı (Yazar tarafından çizilmiştir.)

Mimarlık Fakültesi binası, öğrencilerin eğitim ve araştırma faaliyetlerini desteklemek amacıyla çeşitli olanaklar sunmaktadır. Bu olanaklar arasında stüdyo birimleri, seminer salonları, laboratuvarlar ve sosyal alanlar bulunmaktadır (Uludağ Üniversitesi, 2023).

Mimarlık Fakültesi'nin güneybatı cephesi, modernist bir anlayışla tasarlanmış olup simetrik bir kompozisyona sahiptir. Beyaz renkli beton panellerle kaplanmış dış duvarları, sade ve monolitik bir karakter sunarken, koyu renkli alüminyum doğramalı geniş cam yüzeyler doğal ışık kullanımını artırmaktadır. Orta bölümde belirgin bir silindirik çıkma ve yatayda uzanan cam yüzeyler ile dengeli bir form oluşturulmuş, yatay cam bantlar ve düşey taşıyıcılar arasında kurulan denge sayesinde bina daha geniş algılanmıştır. Ana girişte rüzgarlık, iç mekanı dış ortam koşullarından koruyan bir geçiş alanı ve kolonlarla vurgulanarak korunaklı bir saçak ile tamamlanmış, böylece girişin belirginliği artırılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin güneybatı cephesi.
A) Cephenin genel görünümü (fotoğraf) B) Güneybatı cephesinin yakın plandan görünümü C) Revit modelinde güneybatı cephesinin görünümü

Mimarlık Fakültesi'nin yan cepheleri, beyaz beton paneller ve eğimli beton destek elemanlarıyla oluşturulmuştur. Cephe boyunca kullanılan dikey beton paneller, taşıyıcı sistemle bütünleşik olarak tasarlanmıştır. Alt katta geniş, koyu renkli çerçevelere sahip

cam yüzeyler bulunurken, üst katta daha küçük ve yatay sıralanmış pencereler yer almaktadır. Zemin kat, kırmızı tonlarda tuğla kaplama ile farklı bir malzeme dokusu sunmaktadır. Cepheye monte edilen klima üniteleri, mekanik sistemlerin dış yüzeye entegre edildiğini göstermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin kuzeybatı ve güneydoğu cephesi.
A) Güneydoğu cephesinin fotoğrafı B) Kuzeybatı cephesinin fotoğrafı C) Güneydoğu cephesinin Revit modelinden görünümü D) Kuzeybatı cephesinin Revit modelinden görünümü

Kuzeydoğu cephesi, beyaz beton paneller ve alüminyum çerçeveli geniş cam açıklıklarla tasarlanmıştır. Merkezde, bina boyunca uzanan dört kolon, cam panellerle bölünerek iç mekana maksimum düzeyde doğal ışık girişi sağlanacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3.8).

Avlu, kullanıcı etkileşimini teşvik eden yarı açık bir sosyal alan olarak tasarlanmıştır. Betonarme dairesel kolonlar, avluyu çevreleyerek hem taşıyıcı hem de mimari bir eleman

olarak işlev görmektedir. Doğal taş kaplamalı zemin, doğal dokuyu korurken, amfi tarzı ahşap oturma basamakları sıcak bir atmosfer yaratmaktadır. Sarı metal korkuluklar, güvenlik ve sınır belirleme açısından kullanılmıştır. Avlu, doğal ışığın iç mekanlara en verimli şekilde ulaşmasını sağlayarak, hem aydınlık bir atmosfer oluşturur hem de mekanın daha ferah ve davetkar hissedilmesine katkıda bulunur (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin kuzeybatı cephesi.
A) Kuzeybatı cephesinin genel görünümü B) Kuzeybatı cephesinin yakın plandan görünümü C) Kuzeybatı cephesinin Revit modelinden görünümü



Şekil 3.9. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin avlu görünümü.
A) Perspektif 1 B) Perspektif 2 C) Perspektif 3

Yapının çatı sistemi, farklı kotlarda kurgulanmış düz ve eğimli yüzeylerin bir arada kullanıldığı hibrit bir yapıya sahiptir. Teras çatıda, su yalıtımını sağlamak için bitümlü membran kullanılmış olup, düşük parapet duvarlar ve metal korkuluklarla güvenlik sağlanmıştır. Eğimli çatıda metal paneller tercih edilerek, yağmur suyunun belirli noktalara yönlendirilmesi sağlanmıştır. Havalandırma ve mekanik sistemler için baca çıkışları ve gizli tahliye detayları bulunmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin çatı görünümü.
A) Perspektif 1 B) Perspektif 2

3.2 BIM Modelleme Süreci ve Kullanılan Yazılımlar

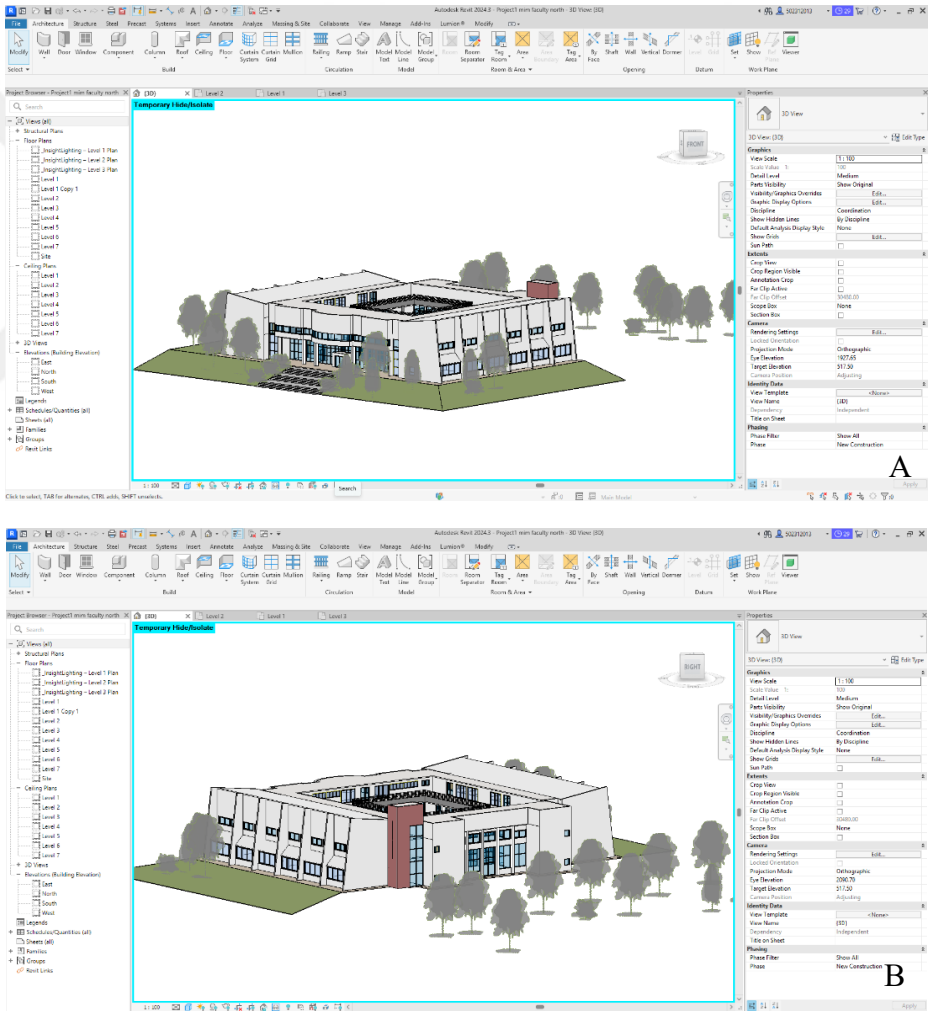
Bu çalışmada, Bursa Uludağ Universitesi'nin Mimarlık Fakültesi'nin BIM modeli Autodesk Revit kullanılarak oluşturulmuştur. Modelleme sürecinin doğru ve eksiksiz olması amacıyla çeşitli veri kaynaklarından yararlanılmıştır. İlk olarak, fakülte binasına ait mimari planlar temin edilmiştir. Ancak, mevcut çizimlerin güncelliğini ve doğruluğunu sağlamak amacıyla yerinde incelemeler yapılmış ve binanın farklı açılardan fotoğrafları çekilmiştir.

A. BIM modelinin oluşturulması ve kullanılan veri kaynakları

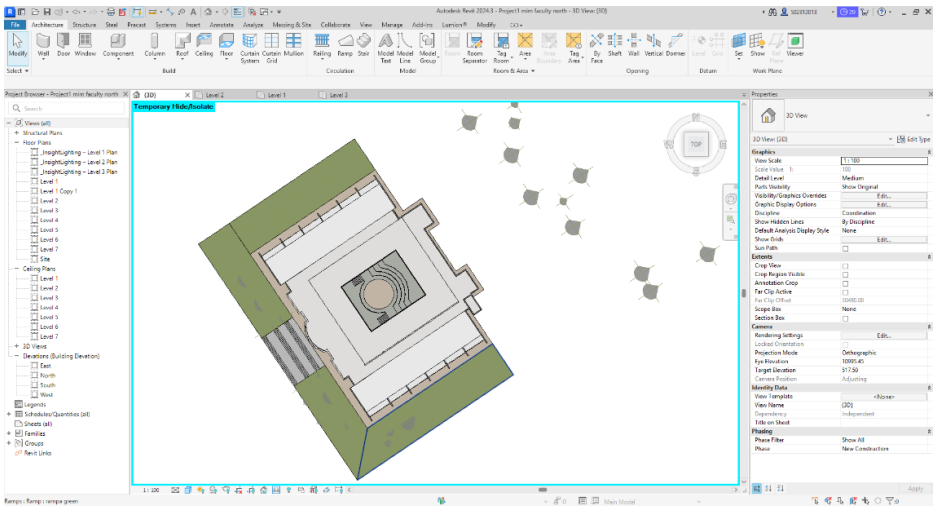
Modelleme süreci, bina geometrisinin belirlenmesiyle başlamış ve adım adım detaylandırılmıştır. Ana yapı elemanları (duvarlar, döşemeler, kolonlar, kirişler) oluşturulduktan sonra, modelin gerçek durumu yansıtabilmesi için çatı sistemi, iç avlu ve çevresindeki ağaçlar detaylı bir şekilde modellenmiştir. Bu süreçte, binanın iç mekan organizasyonu ve dış cephe elemanları aslına uygun olarak Revit ortamında yeniden üretilmiştir. BIM modelinin doğruluğunu artırmak için farklı kaynaklardan gelen veriler

çapraz kontrol edilerek, fotoğraflardan ve planlardan elde edilen ölçüler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşım, modelin hem mimari hem de çevresel unsurlar açısından bütüncül bir doğrulukla oluşturulmasını sağlamıştır (Şekil 3.11).

Sonraki aşamada, gün ışığı analizine geçildiğinde, doğru bir analiz yapmak için binanın yönelimi dikkate alınmıştır. Kuzey yönüne göre yerleşim sağlanarak, binanın güneş ışığından nasıl yararlandığı ve iç mekanlardaki ışık seviyelerinin nasıl optimize edileceği belirlenmiştir. Bu aşama, bina tasarımının enerji verimliliği ve doğal aydınlatma stratejileri açısından doğru bir şekilde yönlendirilmesini sağlamak amacıyla önemlidir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Bursa Uludağ Mimarlık Fakültesi'nin Revit Modeli.
A) Perspektif 1 B) Perspektif 2



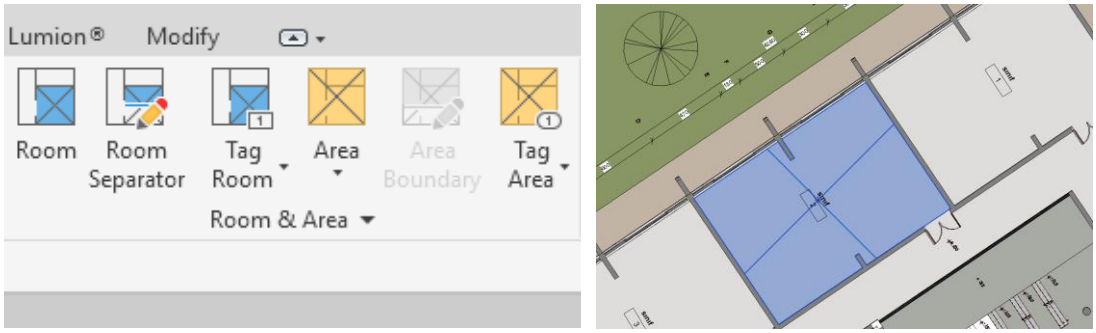
Şekil 3.12. Mimarlık Fakültesi BIM Modelinin Kuzey Yönüne Göre Yerleşimi.

B. Revit, ve Insight yazılımların entegrasyonu

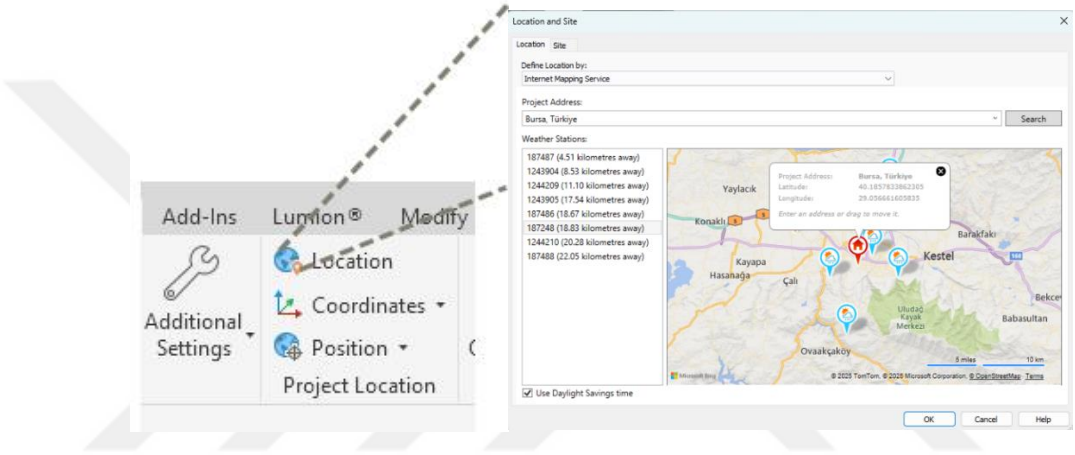
Gün ışığı analizleri, Autodesk Revit ve Insight yazılımları kullanılarak yapılmakta ve bu analizler üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Fakülte binasının detaylı modellemesi Revit ortamında tamamlandıktan sonra, Insight yazılımı kullanarak gün ışığı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Gün ışığı analizlerinin doğru ve güvenilir olması için Revit modelinin belirli gereklilikleri sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda, öncelikle bina modeli oluşturulmuş ve fakülte binasının tüm yapısal ve mimari bileşenleri Revit ortamında eksiksiz bir şekilde modellenmiştir. Modelin analiz için uygun olması adına malzeme tanımlamaları yapılmış: pencereler, duvarlar ve diğer yüzeyler için malzeme özellikleri detaylandırılmıştır. Ayrıca, gün ışığı analizlerinin doğruluğunu artırmak ve iç mekanları doğru şekilde temsil etmek amacıyla, Room (Oda) ve Space (Mekan) elemanları oluşturularak bölmeler tanımlanmıştır (Şekil 3.13). Gün ışığı analizlerinin başarılı olabilmesi için analiz alanlarının doğru şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, Revit modeli üzerinde gerekli oda tanımlamaları ve etiketlemeler yapılmıştır. Fakülte binasının detaylı modelinin oluşturulması ve konum bilgilerinin doğru bir şekilde tanımlanması, gerçekleştirilecek gün ışığı analizlerinin güvenilir ve gerçeğe yakın verilerle yapılmasını sağlayacaktır (Şekil 3.14).

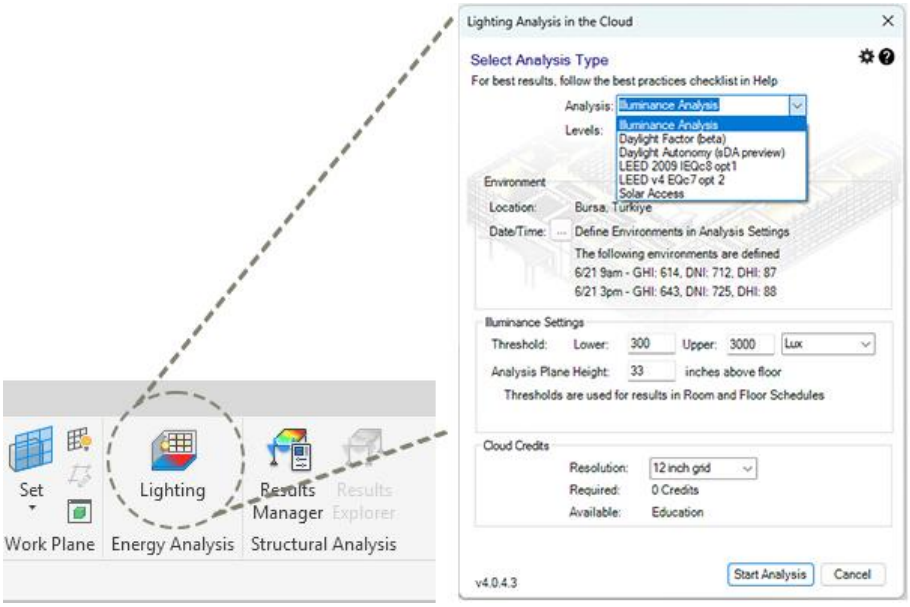
Analiz süreci, Lighting aracı kullanılarak başlatılmış ve bulut tabanlı hesaplamalarla bina içi gün ışığı performansı değerlendirilmiştir. Bu uygulama, doğal aydınlatma stratejilerinin optimizasyonu için bilimsel bir temel oluşturmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.13. Room (Oda) ve Space (Mekan) elemanlarının Revit üzerindeki gösterimi



Şekil 3.14. Konumun Gösterimi



Şekil 3.15. Lighting aracının seçilmesi

3.3 Mevcut Durum Gün Işığı Performans Analizleri

Yapının doğal aydınlatma performansının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla, gün ışığına erişim düzeyi Illuminance Analizi ve Daylight Factor (DF) Analizi olmak üzere iki aşamalı olarak değerlendirilecektir. Bu kapsamda, yapı içerisindeki gün ışığı erişimi ve aydınlık düzeyleri zamana bağlı ve zamandan bağımsız yaklaşımlar kullanılarak analiz edilecektir. Uygulanan yöntemler aracılığıyla, yapının gün ışığından yararlanma potansiyeli bütüncül bir şekilde ele alınacak ve doğal aydınlatma performansına ilişkin genel bir değerlendirme sunulacaktır.

3.3.1. Gün Işığı Dağılımı ve Aydınlatma (Illuminance) Analizi

Gün ışığı analiz sürecinin bir sonraki aşamasında, Insight arayüzünde bulunan Select Analysis Type bölümünden Illuminance Analysis seçeneği tercih edilmiştir. Illuminance analizi, iç mekanda mevcut ışık seviyesinin (lux cinsinden) günün farklı saatleri, tarihler, mevsimler ve güneşin konumuna bağlı olarak dinamik şekilde hesaplanmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu analizde hem doğrudan güneş ışığı hem de gökyüzünden gelen yayılmış ışık birlikte değerlendirilir. Gerçek zamanlı koşullar göz önüne alınarak yapılan illuminance analizi, aşırı aydınlatma (parlama) ve yetersiz aydınlatma gibi görsel konfor ve enerji verimliliği açısından kritik durumların belirlenmesini mümkün kılar. Böylece, bina tasarımında kullanıcı konforunu artırmaya yönelik daha kapsamlı ve gerçekçi çözümler geliştirilir.

Revit Insight ile gerçekleştirilen gün ışığı analizi, bina iç mekanlarının doğal aydınlatma seviyelerini değerlendirerek enerji verimliliği açısından uygunluklarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Yapılan analizde, 21 Haziran tarihinde saat 9:00 ve 15:00 için zemin katın aydınlatma seviyeleri incelenmiş ve elde edilen veriler ışığında mekansal dağılım değerlendirilmiştir (Şekil 3.16).



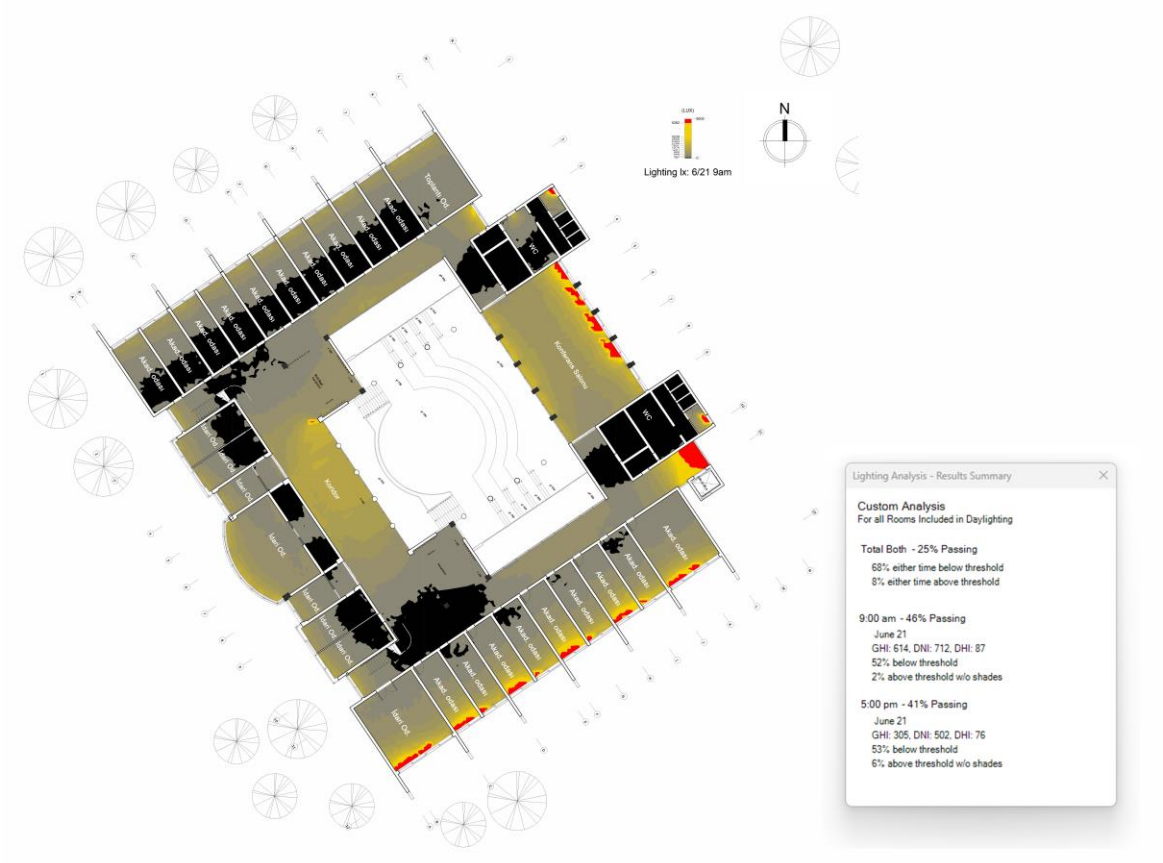
Şekil 3.16. Zemin Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Analiz sonuçlarına göre, tüm odalar için genel aydınlatma uygunluk oranı %45 olarak belirlenmiştir. Mekanların %39'u belirlenen eşik değerinin altında kalarak yetersiz aydınlatmaya sahipken, %16'sı aşırı aydınlatma nedeniyle eşik değerinin üzerinde çıkmıştır. Sabah saat 9:00'da yapılan analizde, genel aydınlatma uygunluk oranı %63 olup, %28'lik bir kısım yetersiz aydınlatmaya sahipken, %9'luk bir alanda aşırı parlaklık gözlemlenmiştir. Öğleden sonra saat 15:00'te gerçekleştirilen analizde ise uygunluk oranı %71'e yükselmiş, ancak mekanların %21'i hala yetersiz aydınlatma koşullarına sahipken, %8'inde aşırı parlaklık oluştuğu tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler, binanın gün ışığı performansının homojen dağılmadığını ve bazı alanlarda aşırı ışık maruziyeti (glare) riskinin bulunduğunu göstermektedir.

Özellikle doğrudan güneş ışığına maruz kalan giriş koridoru, kantin bölgesi ve güneydoğu cephesindeki sınıflarda yüksek aydınlatma seviyeleri tespit edilmiştir. Buna karşılık, binanın iç kesimlerinde yer alan tuvalet alanları ve bazı sınıflar, yetersiz gün ışığı maruziyeti nedeniyle aydınlatma açısından dezavantajlı konumdadır. Özellikle tuvaletler, doğal gün ışığı almayan karanlık bölgeler arasında yer almakta olup, yapay aydınlatmanın zorunlu olduğunu göstermektedir. Aşırı aydınlatma tespit edilen alanlar ile yetersiz aydınlatmaya sahip bölgeler arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir ve bu durum, iç mekanlarda homojen bir gün ışığı dağılımının sağlanamadığını ortaya koymaktadır.

Fakülte binasının 1. katına yönelik gerçekleştirilen aydınlatma analizi, mekanların gün ışığı erişimini ve belirlenen eşik değerler doğrultusunda aydınlatma seviyelerinin uygunluğunu değerlendirmektedir (Şekil 3.17).



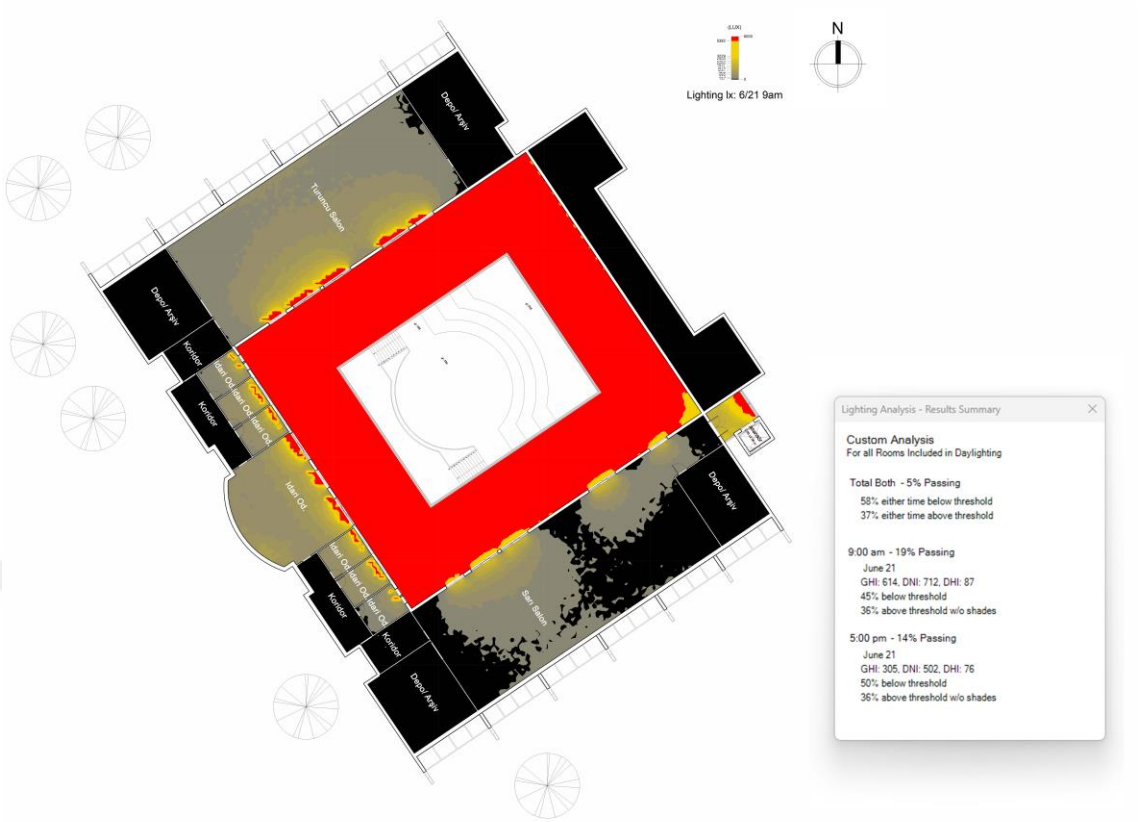
Şekil 3.17. Birinci Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Yapılan analiz sonucunda, genel aydınlatma uygunluk oranı %25 olarak belirlenmiştir. Mekanların %68'i belirlenen zaman dilimlerinin en az birinde eşik değerin altında kalarak

yetersiz aydınlatmaya sahipken, %8'lik bir kısım aşırı aydınlatma nedeniyle eşik değerin üzerinde tespit edilmiştir. Sabah saat 09:00 itibarıyla gerçekleştirilen analizde, genel aydınlatma uygunluk oranı %46 olup, %52'lik bir alan yetersiz aydınlatmaya sahip, %2'lik bir kısım ise aşırı aydınlatma nedeniyle eşik değerin üzerinde kalmaktadır. Öğleden sonra saat 15:00'te yapılan analizde uygunluk oranı %41'e yükselmiş, ancak %53'lık alanın hala yetersiz aydınlatmaya sahip olduğu, %6'lük bir alanın ise aşırı parlaklık nedeniyle eşik değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, birinci katın gün ışığı performansının mekansal dağılım açısından farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Kuzeydoğu cephesinde yer alan tuvalet alanları, analizde siyah ile gösterildiği üzere, gün ışığından neredeyse hiç faydalanamamaktadır. Bu durum, mekanların tamamen yapay aydınlatmaya bağımlı olduğunu göstermektedir. Aynı bölgede bulunan konferans salonu, iç bölümlerde yeterli gün ışığı alırken, dış cepheye yakın alanlarında aşırı aydınlatma sorunu gözlemlenmektedir. Bu alanlar kırmızı renkle gösterilmiş olup, gün ışığına doğrudan maruziyet nedeniyle aşırı ısınma riski taşımaktadır. Kuzeybatı cephesinde yer alan öğretim elemanı odaları, dış cepheye yakın kısımlarında gün ışığından faydalanmakta, ancak içe doğru ilerledikçe yetersiz aydınlatma gözlemlenmektedir. Güneydoğu cephesinde yer alan öğretim elemanı odalarında ise dış cepheye yakın bölümlerde yeterli gün ışığı alınmakta, fakat sarı ve kırmızı renkle gösterildiği üzere aşırı aydınlatma durumu da oluşabilmektedir. Avlu etrafındaki koridorlar, genellikle avludan gelen gün ışığı sayesinde yeterli aydınlatmaya sahiptir. Bununla birlikte, güneybatı ve kuzeybatı yönlerinde belirli noktalarda daha düşük aydınlatma seviyeleri tespit edilmiştir. Güneybatı cephesinde bulunan idari ofisler, cepheye yakın konumlarda yeterli gün ışığı alırken, iç bölümlere doğru ilerledikçe yetersiz aydınlatma koşulları gözlemlenmiştir. Bu bulgular, gün ışığının bina içerisindeki dağılımının mekan yönelimi ve konumuna bağlı olarak belirgin biçimde değiştiğini göstermektedir.

Fakülte binasının çatı katına yönelik gerçekleştirilen aydınlatma analizi, mekanların gün ışığı erişimini ve belirlenen eşik değerler doğrultusunda aydınlatma seviyelerinin uygunluğunu değerlendirmektedir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Çatı Katın Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Yapılan analiz sonucunda, genel aydınlatma uygunluk oranı %5 olarak belirlenmiştir. Mekanların %58'i belirlenen zaman dilimlerinin en az birinde eşik değerin altında kalarak yetersiz aydınlatmaya sahipken, %37'lık bir kısım aşırı aydınlatma nedeniyle eşik değerin üzerinde tespit edilmiştir. Sabah saat 09:00 itibarıyla gerçekleştirilen analizde, genel aydınlatma uygunluk oranı %19 olup, %45'lik bir alan yetersiz aydınlatmaya sahip, %36'lık bir kısım ise aşırı aydınlatma nedeniyle eşik değerin üzerinde kalmaktadır. Öğleden sonra saat 15:00'te yapılan analizde, uygunluk oranı %14'ye düşmüş, %50'lük alanın hala yetersiz aydınlatmaya sahip olduğu, %36'lik bir alanın ise aşırı parlaklık nedeniyle eşik değerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, çatı katının gün ışığı performansı mekansal dağılım açısından belirgin farklılıklar göstermektedir.

Kuzeybatı cephesinde konumlanan turuncu salon, yeterli düzeyde gün ışığı almakta, özellikle avluya bakan cephede yer alan pencere ve cam kapı açıklıkları sayesinde, bu

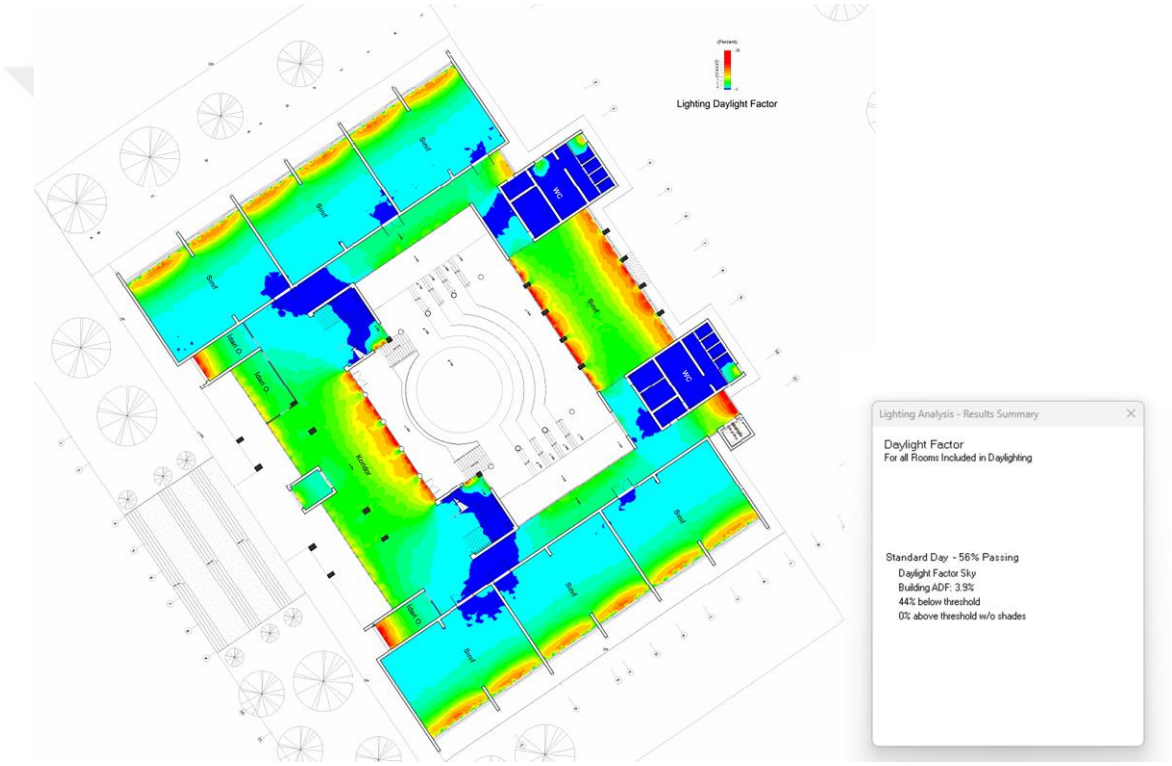
bölgelerde aşırı aydınlatma oluştuğu ve bu durumun analiz görsellerinde turuncu-kırmızı renklerle ifade edildiği gözlemlenmektedir. Ancak, bu aydınlık seviyesinin iç hacimlere doğru azalarak gri tonlarla temsil edildiği, dolayısıyla ışık yoğunluğunun mekan derinliğine bağlı olarak düştüğü görülmektedir. Aynı cephede bulunan depo ve arşiv alanlarının ise herhangi bir pencere açıklığı bulunmadığından tamamen siyah renkle gösterildiği ve gün ışığından faydalanamadığı tespit edilmiştir. Güneydoğu cephesinde yer alan sarı salonun bazı bölümlerinde, özellikle pencerelere uzak olan ve siyah renkle gösterilen alanlarda, gün ışığı erişiminin olmadığı belirlenmiştir. Buna karşın, pencerelere yakın konumlanan bölümlerde ise sarı tonlarla ifade edilen orta düzeyde bir aydınlatma sağlanabilmiştir. Aynı cephede konumlanan diğer depo ve arşiv alanları da pencere açıklığına sahip olmadıkları için tamamen gün ışığından yoksun kalmaktadır. Doğu cephesinde yer alan asansör holü, cam cepheye sahip olması nedeniyle doğrudan gün ışığı almakta, bu nedenle sarı ve kırmızı tonlarla gösterilen alanlarda aşırı aydınlatma kaynaklı konfor problemleri oluşmaktadır. Doğu cephesinde yer alan asansör holü, cam cepheye sahip olması nedeniyle doğrudan gün ışığı almakta problemleri gözlemlenmektedir. Güneybatı cephesindeki idari alanlarda ise, avluya ve pencerelere yakın bölgelerde yüksek düzeyde aydınlatma tespit edilmiştir. Ancak iç hacimlere, özellikle koridorlara doğru ilerledikçe aydınlık seviyesinin giderek azaldığı ve bazı bölgelerin gün ışığından tamamen yoksun kaldığı görülmektedir. Avlu çevresinde yer alan teras alanı doğrudan gün ışığına maruz kalmakta ve analizde kırmızı renklerle temsil edilen bu alanlarda aşırı aydınlatma kaynaklı görsel konfor problemleri oluşmaktadır. Merkezi avlu alanı ise gün ışığını etkin şekilde almakta olup, çevresindeki mekanlara pencere açıklıkları aracılığıyla gün ışığı iletimine katkı sağlamaktadır.

3.3.2. Gün Işığı Faktörü (Daylight Factor) Analizi

Daylight Factor (DF) analizi, iç mekanda belirli bir noktaya ulaşan gün ışığı miktarının, dış ortamda mevcut olan gün ışığına oranını yüzde olarak ifade eden statik bir ölçümdür. Bu analiz, genellikle CIE Overcast Sky (bulutlu gökyüzü) standart koşulları altında gerçekleştirilir ve sadece gökyüzünden gelen dağınık ışık dikkate alınır ve doğrudan güneş ışını hesaba katılmaz. Zaman ve mevsimden bağımsız olan DF, iç mekanın

minimum gün ışığı alma kapasitesini belirlemek için kullanılır ve mekanların doğal aydınlatma performansının temel bir göstergesidir.

Mimarlık fakültesinin zemin kat planına yönelik Autodesk Revit Insight aracıyla gerçekleştirilen günışığı faktörü (Daylight Factor) analizi, binadaki doğal aydınlatma dağılımını sayısal ve görsel olarak ortaya koymaktadır. Analiz sonucunda yapı genelinde ortalama günışığı faktörü (Average Daylight Factor - ADF) %3.9 olarak belirlenmiş olup, bu değer genel olarak kabul edilen %2–5 aralığında yer almaktadır. Standart gün koşullarında alanların %56'sı minimum günışığı eşiğini karşılamakta, %44'ü ise bu eşik değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 3.19).

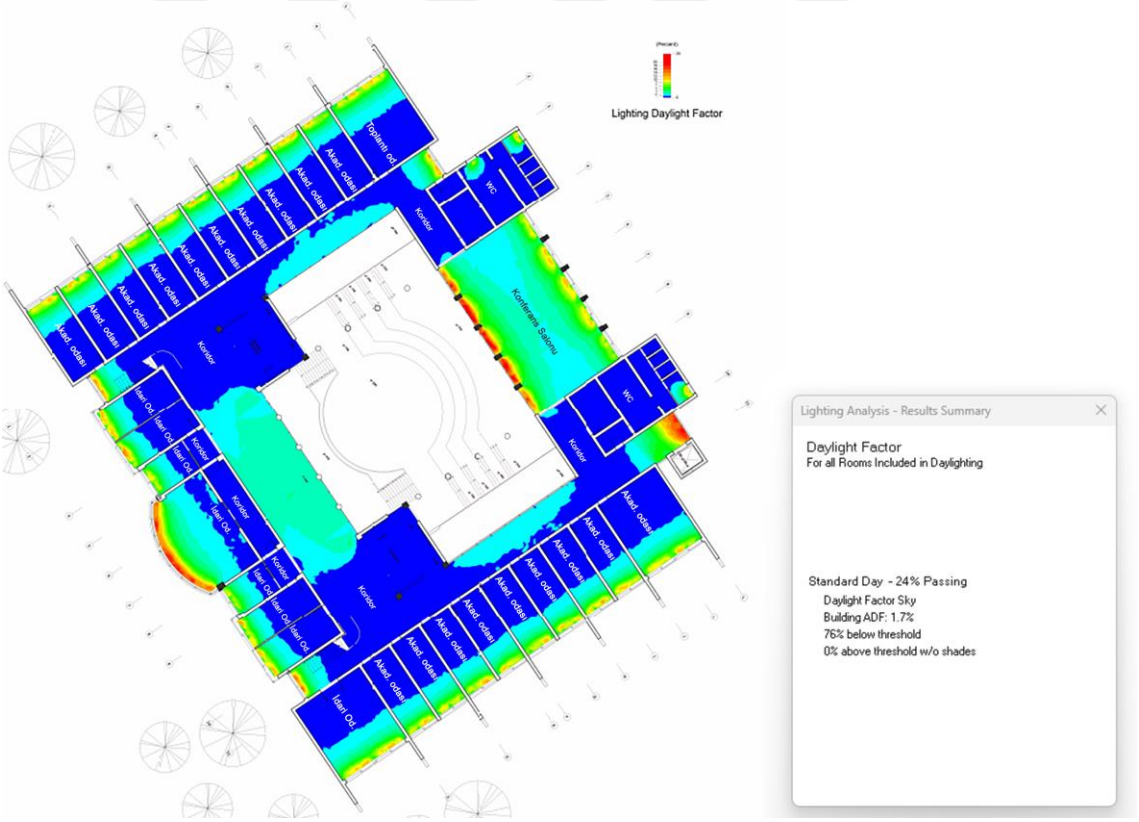


Şekil 3.19. Zemin Katın Daylight Factor Dağılım Haritası

Simülasyon görselinde renk dağılımı, günışığı erişimini temsil edecek şekilde kırmızıdan maviye doğru gradyan bir geçiş göstermektedir. Cepheye yakın mekanlarda sarı ve yeşil tonlar, yeterli günışığına işaret ederken, iç avluya bakan veya plan derinliği yüksek olan bölgelerde mavi ve koyu mavi tonlar baskındır. Özellikle tuvalet bölgesinde, sınırlı günışığı alması sebebiyle düşük aydınlatma performansı göstermektedir. Doğu ve batı yönlerine bakan dersliklerde, cepheye yakın bölgelerde yüksek aydınlık seviyeleri elde

edilmiş olsa da, mekan derinliği arttıkça günışığı faktörü hızla azalmaktadır. Analiz ayrıca, gölgelendirme olmaksızın eşik değerin üzerinde kalan alan olmadığını (%0) göstermekte, bu da cephe açıklıklarının mevcut haliyle sınırlı ışık geçirgenliğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm bu veriler, yapının doğal aydınlatma açısından dış cephelere bağımlı olduğunu ve iç hacimlerde günışığı dağılımının homojen bir biçimde sağlanamadığını ortaya koymaktadır.

Mimarlık fakültesinin birinci katına yönelik Autodesk Revit Insight aracıyla gerçekleştirilen Daylight Factor (günışığı faktörü) analizine göre, yapının genelinde ortalama günışığı faktörü (ADF) %1.7 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, genel olarak önerilen minimum %2 sınırının altında yer almakta olup, kat genelinde doğal aydınlatma yetersizliğine işaret etmektedir. Analiz sonucunda birinci kattaki alanların yalnızca %24'ü asgari günışığı eşiğini sağlayabilmekte, %76'sı ise bu eşik değerin altında kalmaktadır (Şekil 3.20).



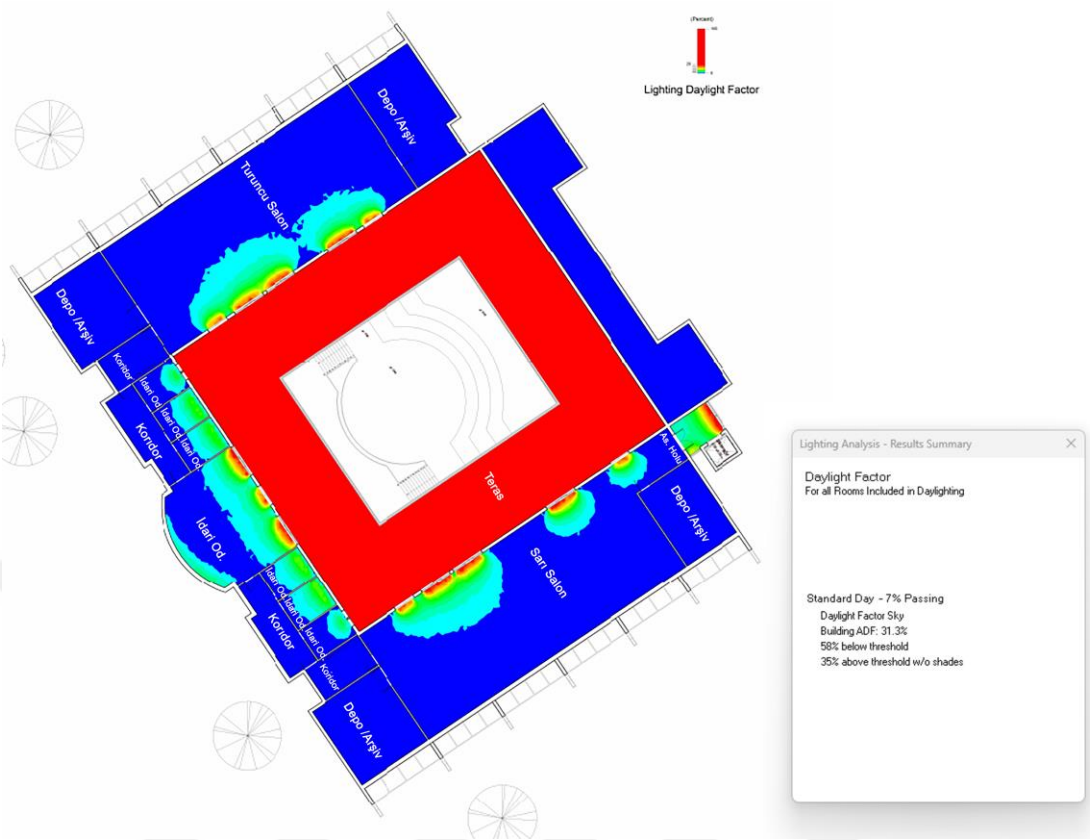
Şekil 3.20. Birinci Katın Daylight Factor Dağılım Haritası

Görsel haritada özellikle iç mekanlarda ve koridorlarda yoğun biçimde koyu mavi renklerin görülmesi, bu bölgelerde günışığı erişiminin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Cepheye yakın öğretim elemanı odalarında ve bazı köşe birimlerde sınırlı da olsa yeşil-sarı tonlar gözlemlenmekte, bu alanların günışığına daha fazla maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Ancak yapının plan derinliğinin fazla olması ve içe dönük kurgusunun doğal ışığın iç mekanlara ulaşmasını engellemesi, analizdeki düşük ADF ortalamasının temel nedenlerindendir. Özellikle koridorlar, merkezi sirkülasyon alanı ve tuvalet gibi servis hacimleri neredeyse tamamen günışığı eşiğinin altındadır.

Ayrıca analiz sonuçlarına göre, gölgeleme sistemleri olmaksızın eşik değerin üzerinde kalan hiçbir alan bulunmamaktadır (%0). Tüm bu veriler, birinci katta doğal aydınlatma performansının yetersiz olduğunu ve ışığın homojen bir biçimde dağılmadığını göstermektedir.

Çatı katına yönelik gerçekleştirilen Daylight Factor (günışığı faktörü) analizine göre, genel aydınlatma performansı mekansal dağılım açısından oldukça dengesiz bir yapı sergilemektedir. Analiz sonuçlarına göre binanın ortalama günışığı faktörü (ADF) %31,3 olarak hesaplanmış olsa da, bu değer mekanlar arası farkı maskeleyen bir ortalamadır çünkü alanların yalnızca %7'si eşik değeri geçebilecek düzeyde aydınlatma alırken, %58'i eşik değerin altında kalarak yetersiz doğal aydınlatmaya sahiptir. %35'lik bir alan ise, gölgelendirme unsurları dikkate alınmadığında aşırı aydınlatma sınırlarının üzerine çıkmaktadır (Şekil 3.21).

Harita üzerinde büyük çoğunluğu koyu mavi tonlarla gösterilen alanlar, gün ışığı erişiminin oldukça sınırlı olduğunu ve iç mekanların yapay aydınlatmaya bağımlı hale geldiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın, terasa yakın konumda yer alan ve pencere ile kapılara doğrudan açılan mekanlarda açık mavi, sarı, turuncu ve kırmızı tonlarının görülmesi, bu bölgelerin daha yoğun gün ışığı aldığını ve aşırı aydınlatma riski taşıdığını göstermektedir. Gün ışığının yalnızca cepheye yakın sınırlı bölgelerde etkili olması, çatı katında mekansal kullanım açısından konfor seviyesinin düşmesine ve enerji tüketiminin yükselmesine yol açmaktadır.



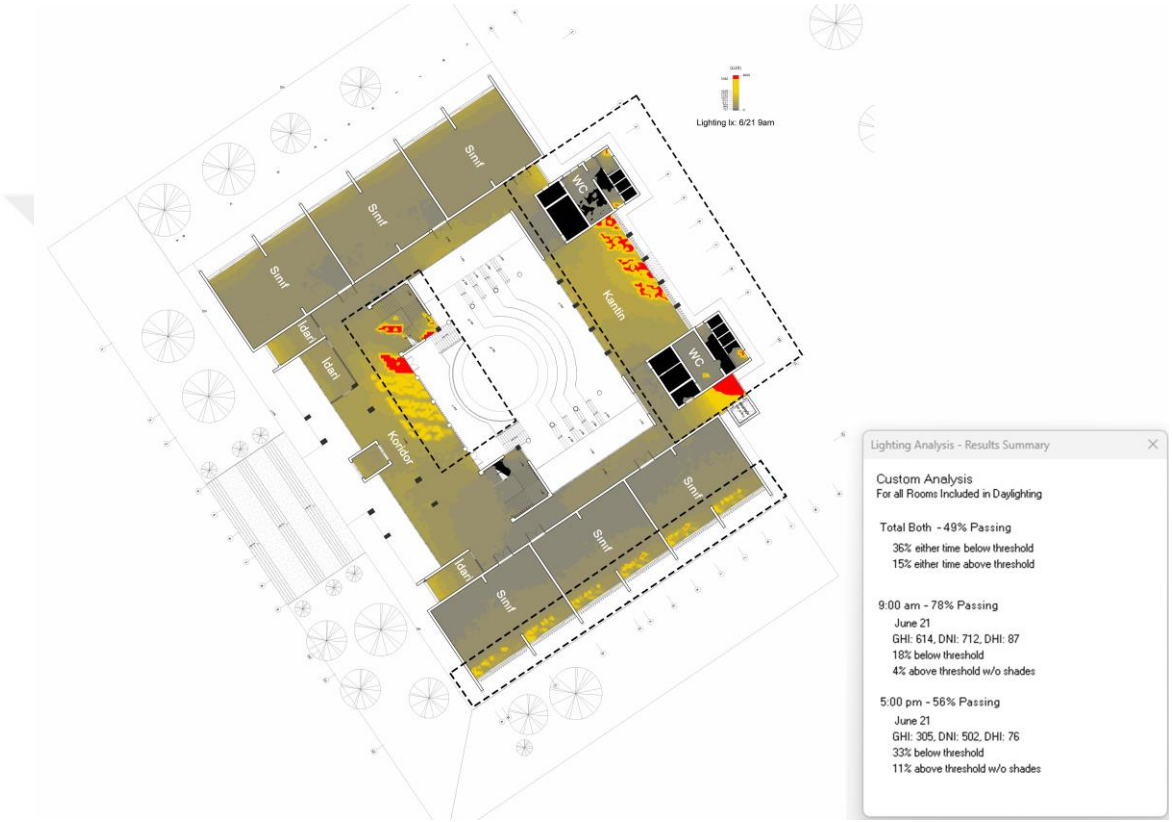
Şekil 3.21. Çatı Katın Daylight Factor Dağılım Haritası

3.4. Gün Işığı Optimizasyon Sonrasında Simülasyon Tabanlı Performansın İncelenmesi

Yapılan gün ışığı analizlerine göre binanın farklı katlarında aydınlatma düzeyleri arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, doğal aydınlatma performansını iyileştirmek amacıyla cephe elemanlarının, pencere açıklık oranlarının ve kullanılan cam türlerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, farklı tasarım parametrelerinin çeşitli kombinasyonları üzerinde çok sayıda deneme gerçekleştirilmiş, ancak çalışma kapsamında yalnızca en yüksek performansın elde edildiği optimal gün ışığı önerisi sunulmuştur.

Bu öneri kapsamında, katlar arasındaki aydınlatma farklılıklarını dengelemek ve iç mekanlarda görsel konforu artırmak amacıyla, yüksek ışık geçirgenliğine (%65–70) sahip 6-12-6 mm çift camlı alüminyum doğrama sistemi tercih edilmiştir. Bu cam türü, iç mekanlarda yeterli gün ışığı sağlamaktadır.

Yapılan gün ışığı analizleri neticesinde, zemin katın yapı genelinde doğal aydınlatma performansını artırmaya yönelik çeşitli mimari iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Aşırı aydınlatmaya maruz kalan sınıflarda, cephe tasarımına entegre edilen güneş kırıcı elemanlar aracılığıyla kontrolsüz ışık girişinin azaltılması sağlanmıştır. Böylelikle, kullanıcı konforunu olumsuz etkileyen aşırı aydınlık düzeyleri düşürülmüş ve görsel konfor koşulları iyileştirilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Zemin Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Batı cephesinde, gün ışığı erişimi yetersiz olan sınıflarda pencere yüksekliği mevcut durumuna göre 40 cm artırılarak 90 cm olan parapet 50 cm düşürülmüştür. Bu artırma ile sınıflara giren doğal ışık miktarında anlamlı bir iyileşme sağlanmış, iç mekanın doğal aydınlatma seviyesi ve kullanıcı konforu yükselmiştir. Benzer şekilde, öğleden sonra yoğun güneş ışığına maruz kalan giriş holü ve kantin alanlarında da güneş kırıcı sistemler uygulanarak, parlamalar ve iç mekan aşırı ısınmaları sınırlandırılmıştır.

Doğal ışık erişiminin oldukça sınırlı olduğu tuvalet hacimlerinde de çeşitli fiziksel iyileştirmelere gidilmiştir. Erkekler tuvaletine doğrudan gün ışığı alabilecek şekilde

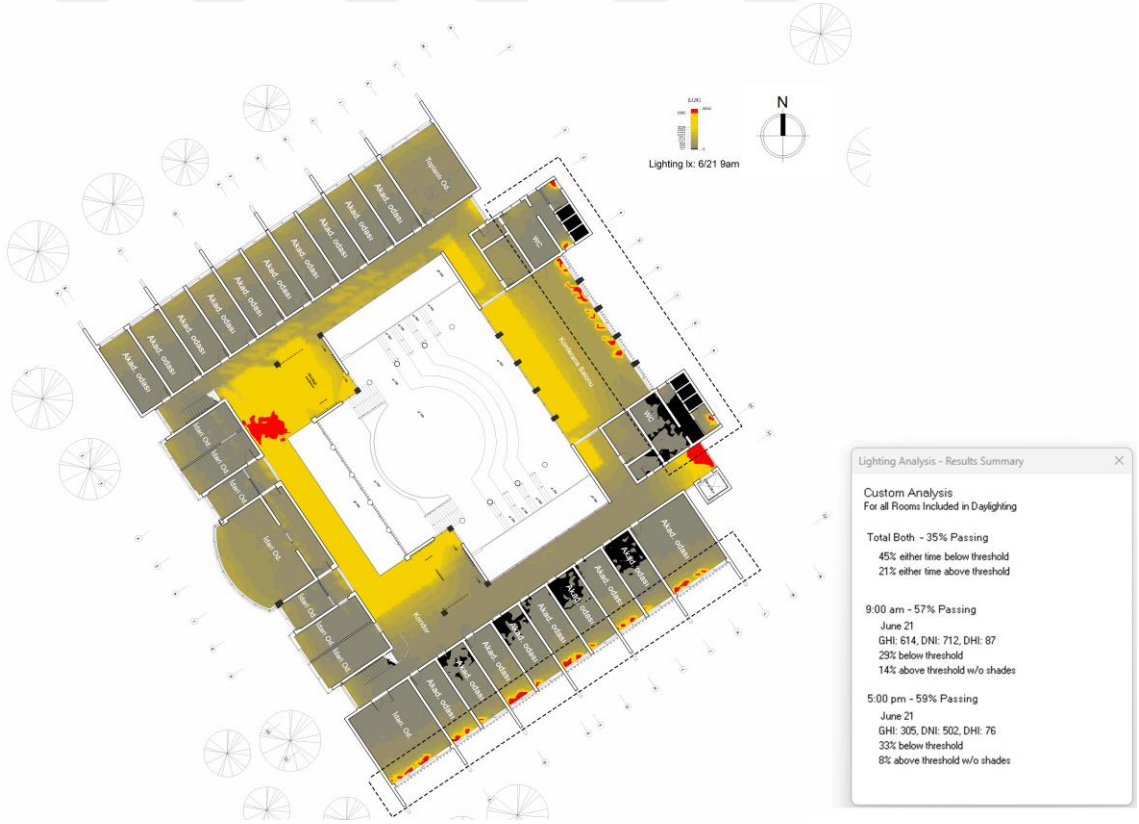
pencere açıklığı eklenmiş, Kızlar tuvaletinde, gün ışığı erişimini artırmak amacıyla üst seviyede konumlandırılan pencere ile koridordan tuvalet hacmine yönlendirilmiş dolaylı aydınlatma sağlanmış ve iç mekanda doğal ışık algısı güçlendirilmiştir. Ancak her iki mekanda da halen yeterli gün ışığı alamayan karanlık bölgeler bulunmakta, bu nedenle doğal aydınlatmada sınırlı bir iyileşme sağlanabilmiştir.

Doğrudan gün ışığı alamayan veya yetersiz ışık alan bölgelere yönelik olarak yüzey yansıtıcılığını artırmaya yönelik müdahaleler de uygulanmıştır. Özellikle döşeme yüzeylerinin yansıtma (reflectance) değeri %70 seviyesine çıkarılmış, bu sayede iç mekanda ışığın daha homojen yayılması ve genel aydınlık hissinin artırılması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen bu tasarım müdahaleleri sonucunda, yapı genelindeki gün ışığına bağlı aydınlatma uygunluk oranının yükselmesi öngörülmektedir. Sabah saatlerinde batı cephesindeki sınıflarda yapılan iyileştirmeler neticesinde uygunluk oranı %78 seviyesine kadar ulaşmıştır. Öğleden sonra ise güneş kırıcı elemanların etkisiyle parlamanın azaldığı ve genel uygunluk seviyesinin %56'a yaklaştığı belirlenmiştir.

Gün ışığı analizlerinden elde edilen bulgular doğrultusunda, 1. kattaki çeşitli hacimlerde doğal aydınlatma performansını artırmak amacıyla bir dizi mimari ve malzeme temelli iyileştirme yapılmıştır. Güneydoğu cephesinde yer alan öğretim elemanı odalarında gün ışığı dağılımında dengesizlikler gözlenmiş, pencere çevresindeki bölgelerde aşırı aydınlık (kırmızı alanlar), içe doğru ilerledikçe ise yetersiz ışık (siyah alanlar) oluşmuştur. Yapılan analizler doğrultusunda, pencere tasarımına eklenen yatay güneş kırıcılar ile doğrudan gelen ışığın kontrol altına alınması sağlanmıştır. Bu müdahale ile kırmızı alanlarda anlamlı bir azalma sağlanmış ancak bu durum pencere içinden gelen ışık miktarını sınırladığı için oda derinliğindeki karanlık bölgeler bir miktar artmıştır. Kuzeybatı cephesinde yer alan diğer öğretim elemanı odalarında ise, düşük doğal ışık seviyesi nedeniyle iç yüzeylerde yansıtıcılığı artırılmış malzemeler tercih edilmiştir. Özellikle döşeme yüzeylerinin yansıtma (reflectance) değerinin %60 seviyesine çıkarılmasıyla, mevcut gün ışığının mekan içinde daha homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır (Şekil 3.23). Bu müdahalenin ardından siyah olarak tanımlanan karanlık bölgeler ortadan kaldırılmış, ancak oda derinliği arttıkça ışık seviyesi gri tonlara dönüşmüş ve yapay

aydınlatma ihtiyacının sürdüğü belirlenmiştir. Kuzeydoğu cephesinde yer alan ve doğal ışık erişimi oldukça sınırlı olan tuvalet alanlarında fiziksel düzenlemelere gidilmiştir. Erkekler tuvaletinde dış cepheye doğrudan gün ışığı alacak şekilde pencere açılmıştır. Kadınlar tuvaletinde ise dış cepheye yalnızca bir pencere açılabilmiş, ek olarak koridor yönünden dolaylı doğal ışık sağlamak amacıyla üst kotta iç pencere uygulanmıştır. Bu iç pencere sayesinde, asansör holünden gelen doğal ışığın tuvalet alanına yönlendirilmesi sağlanmıştır. Bu iyileştirmeler sayesinde, başlangıçta doğal ışık erişimi olmayan alanlarda minimum düzeyde de olsa gün ışığı girişi sağlanmış ve mekansal aydınlık algısı artırılmıştır. Ancak bu çözümler, gün ışığı seviyesini kullanıcı konforu açısından yeterli düzeye çıkaramamış, dolayısıyla yapay aydınlatma kullanımı bu alanlar için hala zorunlu hale gelmiştir.



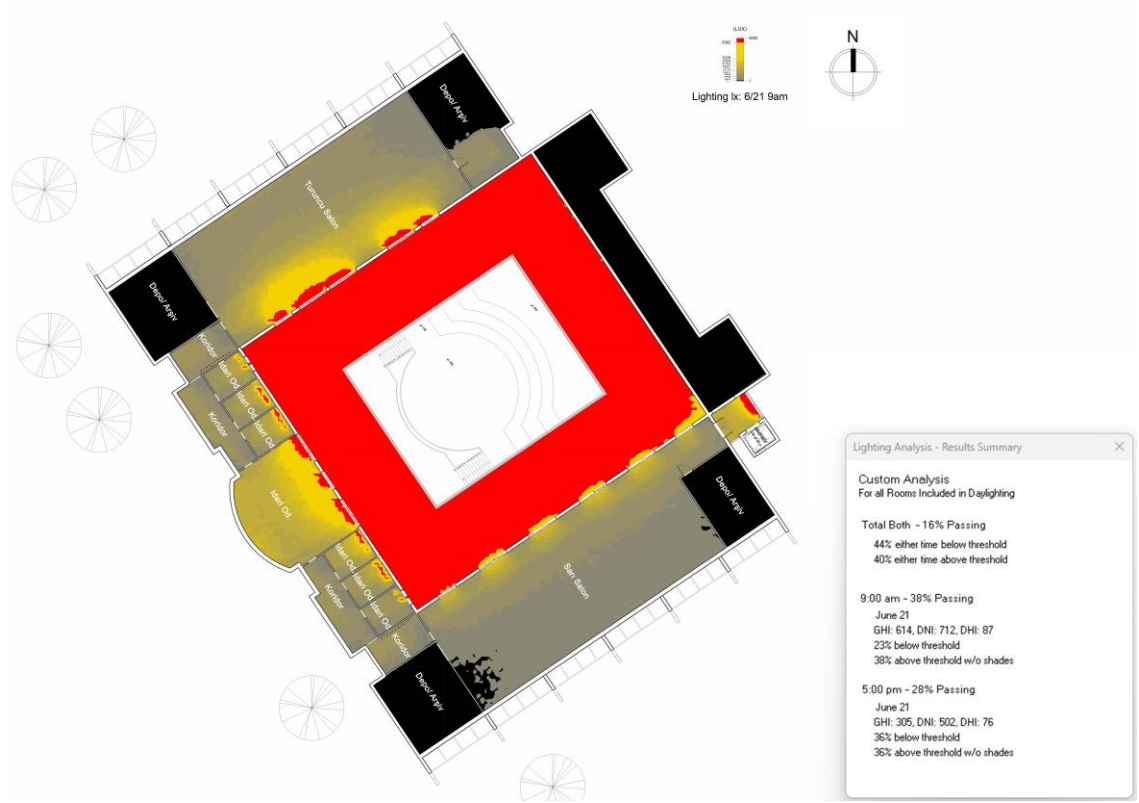
Şekil 3.23. Birinci Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Gerçekleştirilen bu tasarım müdahaleleri sonucunda, 1. kat genelinde gün ışığına bağlı aydınlatma uygunluk oranında kayda değer bir artış öngörülmektedir. Özellikle kuzeybatı cephesindeki öğretim elemanı odalarında yapılan iç yüzey yansıtıcılığı iyileştirmeleri

neticesinde, sabah saatlerinde uygunluk oranının %57 seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir. Güneydoğu cephesindeki müdahalelerle ise öğleden sonra saatlerinde aşırı aydınlatma kaynaklı görsel rahatsızlıkların azaltıldığı ve genel uygunluk seviyesinin %59'a yaklaştığı görülmüştür. Bununla birlikte, derinliği fazla olan ve doğrudan gün ışığı almayan iç mekanlarda, homojen bir aydınlatma düzeyine ulaşmak amacıyla doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çatı katı, doğal aydınlatma performansının en kritik olduğu mekan olarak öne çıkmaktadır. Analizler, ışığın dengeli dağılımı için tasarım ve malzeme müdahalelerine ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Gün ışığı performansına ilişkin elde edilen veriler temel alınarak, çatı katındaki mekanlarda doğal aydınlatma düzeyini artırmaya yönelik çeşitli tasarım ve malzeme müdahaleleri uygulanmıştır.

Bu kapsamda, tüm kat genelinde döşeme yüzeylerinin yansıtma (reflectance) değeri %70 seviyesine çıkarılmış, böylece iç mekanlarda ışığın daha homojen dağılması ve derin alanlara daha fazla ulaşması hedeflenmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Çatı Katın Müdahale Sonrası Aydınlatma (Illuminance) Analizi Haritası

Kuzeybatı cephesinde konumlanan turuncu salon özelinde, döşeme yansıtıcılığının artırılması sayesinde iç mekana giren doğal ışığın yayılımı önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Yapılan müdahaleler sonucunda, pencere ve camlı kapılara yakın bölgelerde kırmızı alanların yoğunluğu artarken, mekanın iç kısımlarında daha önce gözlemlenen gri alanların büyük oranda azaldığı ve mekanın genel aydınlık düzeyinin yükseldiği belirlenmiştir. Bu durum, gün ışığının yalnızca doğrudan değil, dolaylı olarak da iç mekana taşınmasına katkı sağlamıştır. Ancak, bu salona bitişik konumda yer alan depo ve arşiv alanlarında herhangi bir açıklığın bulunmaması nedeniyle doğal ışık erişimi halen mümkün olmamaktadır. Bu alanlarda yalnızca kapıya yakın bölgelerde döşeme yansımalarıyla sınırlı düzeyde bir aydınlık algısı oluşmakta, ancak büyük oranda siyah bölgeler varlığını sürdürmektedir. Bu nedenle, bu bölümlerin yapay aydınlatma ile desteklenmesi zorunlu hale gelmiştir. Güneydoğu cephesinde yer alan sarı salon için ise pencere yerleşiminde yapılan düzenlemeler ve yeni pencere açıklıklarının eklenmesiyle birlikte önemli bir iyileşme sağlanmıştır. Döşeme yüzeylerinin yüksek yansıtma değerine sahip olmasıyla birlikte, önceki analizlerde belirlenen siyah alanlar büyük oranda ortadan kalkmıştır. İç mekanın derin bölgelerinde halen hafif gri tonlamalar gözlemlenmekle birlikte, genel gün ışığı erişimi önceki duruma göre kayda değer şekilde artmıştır. Ancak, bu salona bitişik konumda bulunan depo ve arşiv hacimlerinde, tıpkı kuzeybatı cephesindeki salon gibi, tamamen kapalı yapı karakteri nedeniyle herhangi bir doğal ışık girişi mümkün olmamaktadır. Bu hacimlerde de yapay aydınlatma ile desteklenme ihtiyacı devam etmektedir. Güneybatı cephesinde yer alan idari birimlerde, avlu ve pencere açıklıklarına yakın bölgelerde yüksek düzeyde gün ışığı erişimi mevcuttur. Yapılan analizler, döşeme yüzeylerinin yansıtıcılığının artırılmasının, ışığın yalnızca doğrudan geldiği alanlarda değil, iç mekanın daha derin kısımlarına da ulaşmasında etkili olduğunu göstermektedir. Bu iyileştirme sayesinde iç kısımlarda homojenlik artmış, gri tonların yerini daha açık tonlar almıştır. Bununla birlikte, söz konusu alanların kullanımı gereği kontrollü bir aydınlatma ihtiyacı bulunmakta, bu nedenle yapay aydınlatma ile birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde, gerçekleştirilen gün ışığı analizleri doğrultusunda elde edilen veriler değerlendirilecektir. Önceden belirlenmiş en optimal gün ışığı önerisi, ilgili gün ışığı performans standartları kapsamında yorumlanarak yapının doğal aydınlatma performansı görsel konfor kriterleri açısından ele alınacaktır. Bununla birlikte, doğal aydınlatmanın yetersiz olduğu alanlar tespit edilerek, bu bölümlerin yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekliliği ilgili standartlara göre değerlendirilecektir. Bu analizler aracılığıyla yapının aydınlatma açısından mevcut durumu bütüncül bir yaklaşımla ortaya konulacaktır.

4.1 Mevcut Gün Işığı Performansının Değerlendirilmesi

Aydınlatma performansı analizlerinin tamamlanmasının ardından, elde edilen en optimal gün ışığı önerisine ilişkin her bir kat düzeyine ait sonuçlar TS EN 17037+A1:2022 "Binalarda Gün Işığı" standardında belirtilen minimum gün ışığı sağlama kriterleri ile karşılaştırılacaktır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. TS EN 17037+A1 Standardına Göre Düşey ve Eğik Yüzeylerde Gün Işığı Açıklıkları ile Gün Işığı Sağlama Önerileri

Dikey ve Eğik Günışığı Açıklıkları için Öneri Seviyesi	**Hedef Aydınlatma** E_T lx	**Hedef Seviyesi için Alan Oranı** $F_{plane,\ \%}$	**Minimum Hedef Aydınlatma** E_{TM} lx	**Minimum Hedef Seviyesi için Alan Oranı** $F_{plane,\ \%}$	**Günışığı Saatleri Oranı** $F_{time,\ \%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Orta	500	50 %	300	95 %	50 %
Yüksek	750	50 %	500	95 %	50 %
NOT Tablo A.3, CEN başkentleri için hedef aydınlatma seviyesi ve minimum hedef aydınlatma seviyesine karşılık gelen hedef günışığı faktörü (D_T) ve minimum hedef günışığı faktörünü (D_{TM}) vermektedir.					

Not. Tablo TS EN 17037+A1:2022 standardından uyarlanmıştır (Türk Standardları Enstitüsü, 2022).

Çizelge 4.2. TS EN 17037+A1 Standardına Göre Yatay Yüzeylerde Gün Işığı Açıklıkları ile Gün Işığı Sağlama Önerileri

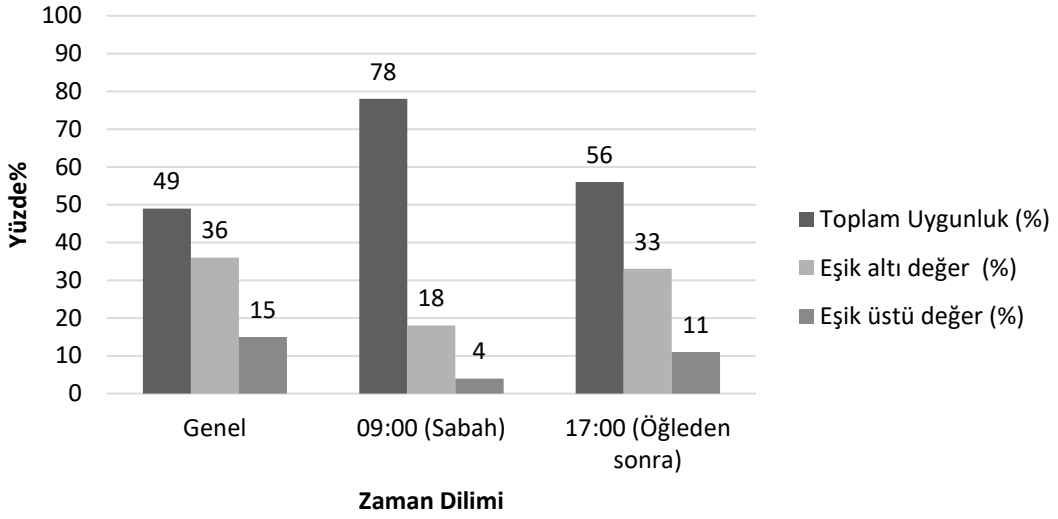
Yatay Günışığı Açıklığı için Öneri Seviyesi	**Hedef Aydınlatma** E_T lx	**Hedef Seviyesi için Alan Oranı** $F_{plane,\ \%}$	**Günışığı Saatleri Oranı** $F_{time,\ \%}$
Minimum	300	95 %	50 %
Orta	500	95 %	50 %
Yüksek	750	95 %	50 %
NOT Tablolar A.3 ve A.4, CEN başkentleri için hedef aydınlatma seviyesine karşılık gelen hedef günışığı faktörünü (DT) verir. Yatay günışığı açıklıkları olan mekanlarda minimum hedef aydınlatma önerisi yoktur. Tablo A.4 sadece difüzörlü yatay günışığı açıklıkları için geçerlidir.			

Not. Tablo TS EN 17037+A1:2022 standardından uyarlanmıştır (Türk Standardları Enstitüsü, 2022).

Bu değerlendirme kapsamında, zemin kat, birinci kat ve çatı katına ait analiz çıktıları tablolar halinde sunularak, her katın genel uygunluk oranı standartla kıyaslanacaktır. Karşılaştırmalı analizler doğrultusunda, gün ışığı düzeyinin yeterli olduğu ve standartlara uygunluk sağlandığı katlar tespit edilecek ve yeterli aydınlık düzeyine ulaşılamayan katlarda ise yapay aydınlatma ile destek gerekliliği ortaya konacaktır. Bu sayede, gün ışığı performansı açısından en uygun tasarım düzeyinin hangi katta sağlandığı belirlenerek, doğal ve yapay aydınlatmanın dengeli bir şekilde entegrasyonu hedeflenecektir.

Yapının giriş katında yapılan analizler neticesinde, TS EN 17037 standardının minimum düzeyde gün ışığı sağlama kriterine sabah ve öğleden sonra saatlerinde ulaşıldığı, ancak genel uygunluk oranının %49 ile sınırın altında kaldığı görülmüştür (Çizelge 4.3**)**. Tasarımda uygulanan güneş kırıcılar ve yüksek yansıtıcılık değerlerine sahip yüzey kaplamaları sayesinde parlama kontrolü sağlanmış ve görsel konfor koşulları iyileştirilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. Zemin Kat - Analiz Sonuçları (Insight, Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

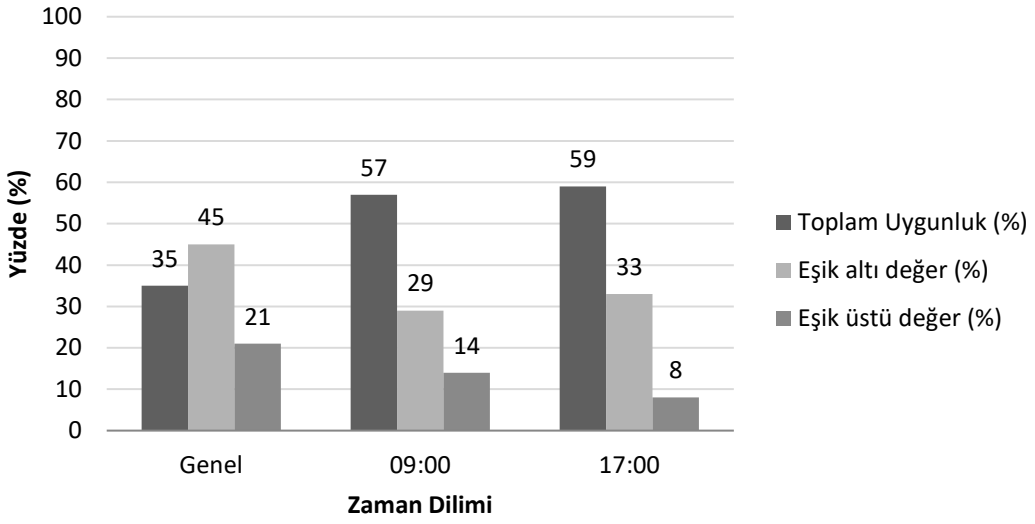


Çizelge 4.4. Zemin Kat - Uygunluk Tablosu ve Karşılaştırma (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Kriter	**Proje (Zemin Kat)**	**TS EN 17037** Standardı	**Uygunluk**
Genel Uygunluk (DA300)	%49	≥ %50 (Minimum)	Altında
Sabah Uygunluğu (09:00)	%78	≥ %50	Uygun
Öğleden Sonra Uygunluğu (17:00)	%56	≥ %50	Uygun
Görsel konfor – Parlama kontrolü	Güneş kırıcılar ile iyileştirme	Gerekli	(Özellikle SE cephe)
Yansıtıcılık (Reflectance)	Döşeme %70 yansıtıcılık	Tavsiye edilen >%50	Uygun
Doğal ışık almayan iç mekanlar	Yetersiz (koridor, iç WC vb.)	Min. ışık sağlanmalı	Sınırlı iyileşme

Yapılan analizler sonucunda, 1. katta sabah ve öğleden sonraki saatlerde TS EN 17037 standardının minimum gereksinimlerini sağlayan bölümler mevcut olsa da, genel uygunluk oranı %35 ile sınırın altında kalmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Birinci Kat - Analiz Sonuçları (Insight – Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



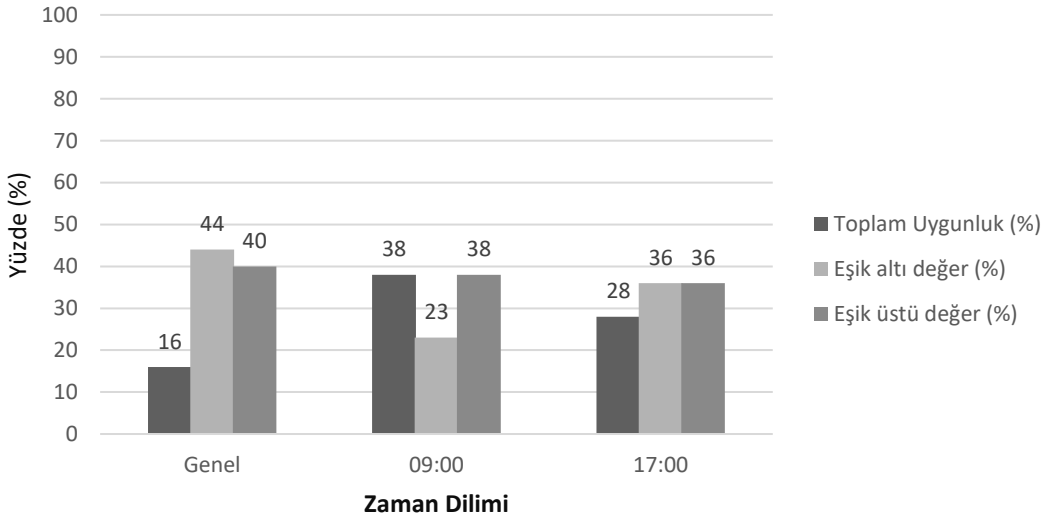
Güneş kırıcılar ve yansıtıcı yüzey kullanımı sayesinde görsel konfor artırılmış, ancak doğal ışığın yeterince ulaşmadığı iç mekanlarda yapay aydınlatmanın desteklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda, önerilen tasarım müdahaleleri ile gün ışığı performansı bölgesel olarak iyileşmiş olsa da, genel düzeyde standarda tam uyum sağlanamamıştır (Çizelge 4.6).

Çatı katta gerçekleştirilen analizler, TS EN 17037 standardının minimum gerekliliklerini karşılamadığını ortaya koymuştur. Yüzey yansıtıcılıklarının artırılması ile mekan genelinde aydınlık algısı iyileştirilmiş, ancak toplam uygunluk oranı %16 seviyesinde kalmıştır (Çizelge 4.7**)**.

Çizelge 4.6. Birinci Kat - Uygunluk Tablosu ve Karşılaştırma (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Kriter	**Proje (1. Kat)**	**TS EN 17037 Standardı**	**Uygunluk**
Genel Uygunluk (DA300)	%35	≥ %50 (Minimum)	Altında
Sabah Uygunluğu (09:00)	%57	≥ %50	Uygun
Öğleden Sonra Uygunluğu (17:00)	%59	≥ %50	Uygun
Görsel konfor – Parlama kontrolü (Glare)	Güneş kırıcılar ile iyileştirme	Gerekli	(Özellikle SE cephe)
Yansıtıcılık (Reflectance)	Döşeme %60 yansıtıcılık	Tavsiye edilen >%50	Uygun
Doğal ışık almayan iç mekanlar	Yetersiz (koridor, WC)	Min. ışık sağlanmalı	Sınırlı iyileşme

Çizelge 4.7. Çatı Katı - Analiz Sonuçları (Insight , Lighting Analysis) Tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Bu durum, doğal ışık erişiminin yetersiz kaldığını ve yapay aydınlatma desteğinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Özellikle pencere bulunmayan depo ve arşiv gibi kapalı hacimlerde, doğal aydınlatma sağlanamamış, bu nedenle kullanıcı konforu açısından hibrit aydınlatma sistemlerinin önemi vurgulanmıştır (Çizelge 4.8**)**.

Çizelge 4.8. Uygunluk Değerlendirme Tablosu - Çatı Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Kriter	**Proje (Çatı Kat)**	**TS EN 17037 Standardı**	**Uygunluk**
Genel Uygunluk (DA300)	%16	≥ %50	Altında
Sabah Uygunluğu (09:00)	%38	≥ %50	Altında
Öğleden Sonra Uygunluğu (17:00)	%28	≥ %50	Altında
Görsel konfor - Parlama kontrolü (Glare)	Kırmızı alanlar var (aşırı aydınlık)	Parlama sınırlandırılmalı	Sınırlı iyileşme
Yansıtıcılık (Reflectance)	Döşemelerde uygulanmış %70	>%50 tavsiye edilir	Uygun
Depo/Arşiv gibi karanlık alanlar	Doğal ışık yok, yapay aydınlatma gerekli	Minimum ışık önerilir	Sağlanmamış

4.2 Yapay Aydınlatma Gereksinimlerinin Belirlenmesi ve Dialux Analiz Çalışmaları

Doğal aydınlatma performansına yönelik olarak tüm katlar (zemin kat, birinci kat ve çatı katı) için Revit Insight aracı ile gerçekleştirilen gün ışığı analizleri tamamlanmış ve TS EN 17037+A1 standardında belirtilen kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu aşamada, gün ışığının yetersiz kaldığı iç mekanlar tespit edilmiş ve bu alanların yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Çalışmanın bu bölümünde, söz konusu mekanlarda yapay aydınlatma sistemlerinin tasarlanmasına yönelik analizler yürütülecektir. TS EN 12464-1 standardında tanımlanan iç mekan aydınlatma kriterleri esas alınarak, her bir kat için problemli alanlar belirlenmiş ve bu alanlara ilişkin aydınlatma düzeyi (Em, lx), birleşik parlama derecesi (UGRL), düzgünlük oranı (U_0) ve renksel geriverim indeksi (Ra) gibi performans parametreleri dikkate alınacaktır. Eğitim yapıları için önerilen standart değerlere dayanan tasarım sürecinde, uygun armatür tipi,

sayısı ve yerleşimi DIALux evo yazılımı kullanılarak belirlenerek, her bir iç mekanın işlevine uygun aydınlatma kalitesinin sağlanması hedeflenmektedir (Çizelge 4.9).
Çalışmada kullanılan armatürler, herhangi bir marka tercihi gözetilmeksizin, ilgili standartların gerektirdiği teknik kriterleri karşılayacak şekilde rastlantısal seçilmiş olup ticari bir marka önerisi niteliği taşımamaktadır.

Çizelge 4.9. TS EN 12464-1 Standardına Göre Eğitim Yapıları İçin Aydınlatma Kriterleri

Ref. No.	Alan, Görev, Aktivite Türü	$\bar{E}m$ lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Özel Gereksinimler
5.36.1	Sınıflar, derslikler	300	19	0,60	80	Aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır.
5.36.2	Akşam dersleri ve yetişkin eğitimi için sınıf	500	19	0,60	80	Aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır.
5.36.3	Oditoryum, amfiler	500	19	0,60	80	Aydınlatma, çeşitli A/V ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kontrol edilebilir olmalıdır.
5.36.4	Siyah, yeşil ve beyaz tahtalar	500	19	0,70	80	Aynasal yansımalar önlenmelidir. Sunucu/öğretmen uygun dikey aydınlatma ile aydınlatılmalıdır.
5.36.5	Demonstrasyon masası	500	19	0,70	80	Amfilerde 750 lx.
5.36.6	Sanat odaları	500	19	0,60	80	
5.36.7	Sanat okullarındaki sanat odaları	750	19	0,70	90	5 000 K < T_{cp} ≤ 6 500 K.
5.36.8	Teknik çizim odaları	750	16	0,70	80	
5.36.9	Uygulama odaları ve laboratuvarlar	500	19	0,60	80	
5.36.10	El işi odaları	500	19	0,60	80	
5.36.11	Atölyeler	500	19	0,60	80	

Çizelge 4.9. TS EN 12464-1 Standardına Göre Eğitim Yapıları İçin Aydınlatma Kriterleri (devam)

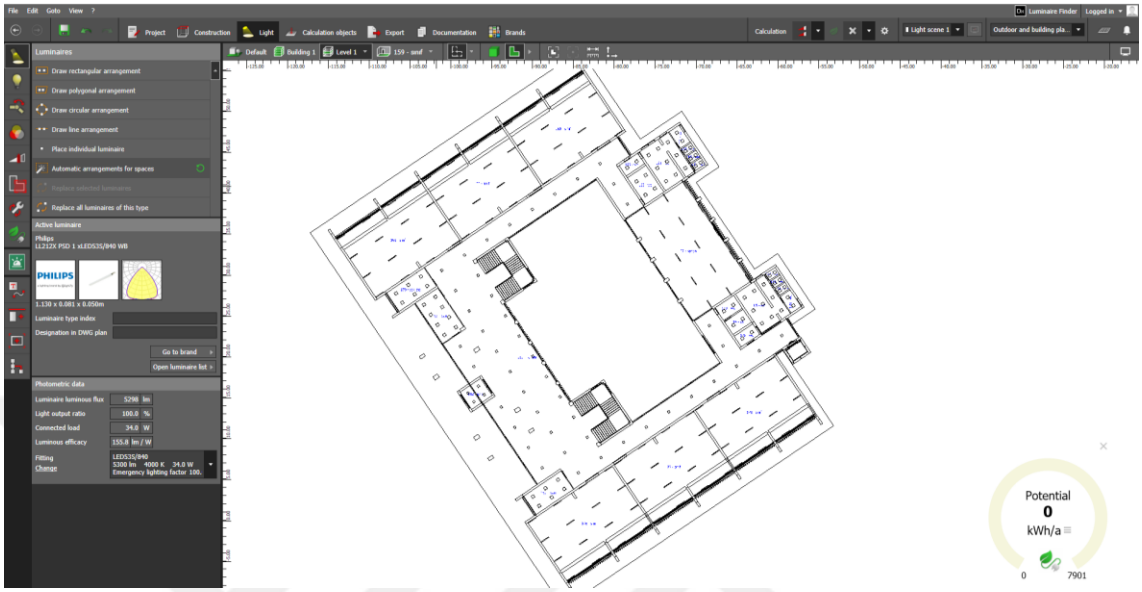
Ref. No.	Alan, Görev, Aktivite Türü	Ēm lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Özel Gereksinimler
5.36.12	Müzik çalışma odaları	300	19	0,60	80	
5.36.13	Bilgisayar odaları (menü kontrollü)	300	19	0,60	80	DSE-çalışması, bkz. 4.9.
5.36.14	Dil laboratuvarı	300	19	0,60	80	
5.36.15	Hazırlık odaları ve atölyeler	500	22	0,60	80	
5.36.16	Giriş holleri	200	22	0,40	80	
5.36.17	Dolaşım alanları, koridorlar	100	25	0,40	80	
5.36.18	Merdivenler	150	25	0,40	80	
5.36.19	Öğrenci ortak alanları ve toplantı salonları	200	22	0,40	80	
5.36.20	Öğretmen odaları	300	19	0,60	80	
5.36.21	Kütüphane: kitap rafları	200	19	0,60	80	
5.36.22	Kütüphane: okuma alanları	500	19	0,60	80	
5.36.23	Eğitim materyali depoları	100	25	0,40	80	
5.36.24	Spor salonları, jimnastik salonları, yüzme havuzları	300	22	0,60	80	Eğitim koşulları için EN 12193'e bakınız.
5.36.25	Okul yemekhaneleri	200	22	0,40	80	
5.36.26	Mutfak	500	22	0,60	80	

Not. Çizelge TS EN 12464-1:2011 standardından alınmıştır (Türk Standardları Enstitüsü, 2011).

Revit Insight ile gerçekleştirilen gün ışığı analizine göre, 21 Haziran saat 09:00 ve 17:00 senaryolarında binanın zemin katının yalnızca %49'u TS EN 12464-1 standardına uygun doğal aydınlatma seviyelerine ulaşabilmektedir. Özellikle tuvaletler, iç koridorlar ve sınıf gibi alanların derin kısımlarında gün ışığı seviyesi belirgin şekilde azalmaktadır. Bu nedenle, bu bölgelerin yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir (Şekil 4.1).

TS EN 12464-1 standardında tanımlanan aydınlatma kriterleri doğrultusunda aydınlık düzeyi minimum 300 lx**,** kamaşma değeri en fazla UGR 19 ve aydınlık düzlüğü (uniformite) en az 0,60 olacak şekilde sınıfların tasarım esasları belirlenmiştir (Çizelge 4.10). Bu standartlara uygunluk sağlamak amacıyla, homojen ışık dağılımı ve yüksek enerji verimliliği özellikleriyle öne çıkan Philips LL212X PSD 1 xLED53S/840 WB model armatür tercih edilmiştir. Yaklaşık 114 m² büyüklüğündeki sınıf mekanlarında her

biri 16 armatürle donatılarak, gerekli aydınlatma düzeylerine ulaşılmış ve standartlara uygun bir iç mekan aydınlatma kalitesi sağlanmıştır.



Şekil 4.1. Zemin katın DIALux ile lamba yerleşim planı

Koridorlarda yapay aydınlatma için TS EN 12464-1:2011 standardı, minimum 100 lx aydınlık seviyesi ve en az 0,4 uniformite değerini önermektedir (Çizelge 4.10). Bu değerler, güvenli ve konforlu geçiş sağlamak amacıyla belirlenmiştir. Çalışmamda, bu standartlara uygun olarak Philips EDP769 FG T25 1 xLED40-4S/727 DS51 MK-WH armatürü tercih edilmiştir. Düşük düzeyli ve yönlendirici aydınlatma sağlayarak koridorlarda enerji verimliliği ve görsel konforu dengeler. Bu sayede, hem standartlara uyumlu hem de kullanıcı dostu bir aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kantin için TS EN 12464-1:2011 standardı, minimum 200 lx aydınlık seviyesi ve en az 0,4 uniformite değeri gerektirmektedir (Çizelge 4.10). Bu şartlar, üniform ve rahatlatıcı bir aydınlatma ortamı oluşturarak kullanıcıların görsel konforunu artırmayı amaçlar. Çalışmamda, bu gereksinimlere uygun olarak Philips LL212X PSD 1 xLED53S/840 WB armatürü kullanılmıştır. Seçilen LED armatürler, yüksek verimlilikleri ve dengeli ışık dağılımları sayesinde kantin alanında homojen ve konforlu bir aydınlatma sağlamaktadır.

Böylece, standartlara tam uyumlu, enerji tasarruflu ve kullanıcı dostu bir aydınlatma tasarımı elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Zemin Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

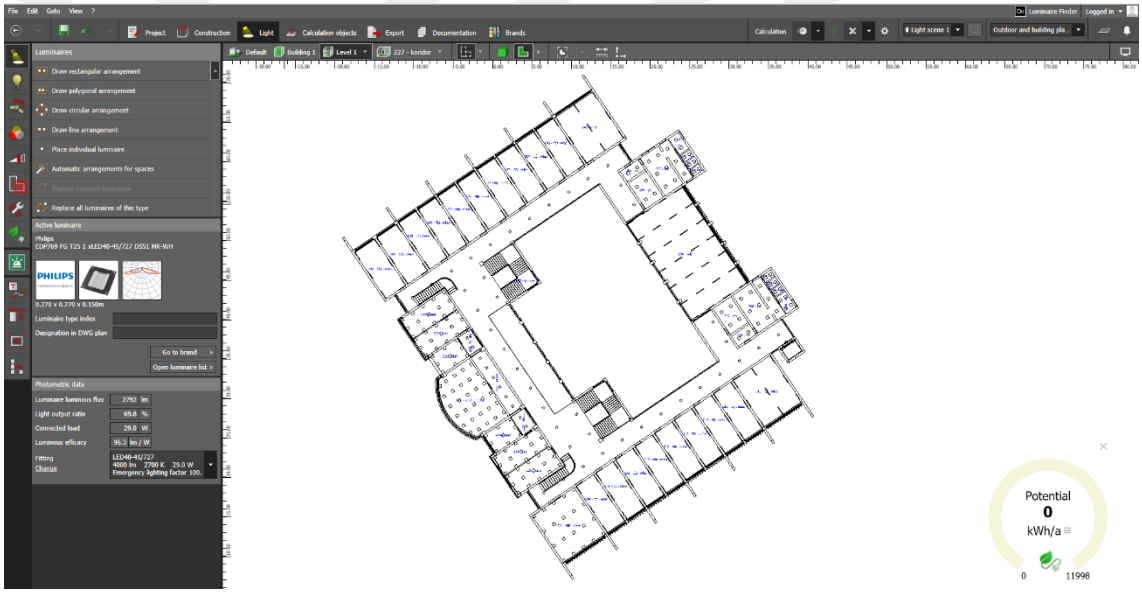
Alan	Gereken Aydınlatma (Ēm) [lux]	UGRL (max.)	Uo (min.)	Açıklama
Sınıflar	300	19	0.60	Kontrollü, homojen aydınlatma gerekli
Koridorlar	100	25	0.40	Düşük düzeyli, yönlendirici aydınlatma
WC / Tuvalet Alanları	200 (önerilen)	22	0.40	Genel aydınlatma yeterlidir
İdari (Ofis) Alanlar	300	19	0.60	Ofis çalışma ortamı için uygun
Merdivenler	150	25	0.40	Güvenli geçiş
Kantin	200	22	0.40	Üniform, rahatlatıcı aydınlatma gerekli

WC ve tuvalet alanları için TS EN 12464-1:2011 standardı, 200 lx aydınlık seviyesi ve en az 0,40 uniformite değeri ile genel aydınlatmanın yeterli olduğunu belirtmektedir. Bu doğrultuda, çalışma alanında homojen ve konforlu aydınlatma sağlamak amacıyla EGLO Square 90/ SQ90H-359271-HOWxM armatür seçilmiştir. Seçilen LED armatür, standartlarda öngörülen aydınlatma seviyelerine uygun olup, enerji verimliliği ve görsel konfor açısından ideal bir çözümdür.

İdari (ofis) alanları için TS EN 12464-1:2011 standardı, minimum 300 lx aydınlık seviyesi, 0,60 uniformite ve düşük parlama derecesi ile çalışma ortamının konforlu ve verimli olmasını öngörmektedir (Çizelge 4.10). Bu gereksinimler doğrultusunda, çalışma alanında EGLO Square 90/ SQ90H-359271-HOWxM armatürü tercih edilmiştir. Seçilen

armatür, yüksek ışık kalitesi ve homojen aydınlatması sayesinde ofis ortamında görsel rahatlık sağlamakta, aynı zamanda enerji verimliliği açısından da uygun bir çözüm sunmaktadır.

Revit Insight ile gerçekleştirilen gün ışığı analizine göre**,** 21 Haziran tarihli saat 09:00 ve 17:00 senaryolarında binanın birinci katındaki alanların yalnızca %35'i EN 12464-1 standardında belirtilen doğal aydınlatma kriterlerini karşılamaktadır. WC alanları ile bazı sınıf ve idari birimlerin iç kısımlarında doğal aydınlatma seviyeleri EN 12464-1 standardının altındadır. Bu alanlarda gün ışığı yetersizliği belirgin olup, kullanıcı konforunu sağlamak için yapay aydınlatma ile desteklenmeleri gerekmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Birinci katın DIALux ile lamba yerleşim planı

Öğretmenler Odası için TS EN 12464-1:2011 standardına göre 300 lx aydınlık seviyesi ve 0,60 uniformite değeri sağlanmalıdır (Çizelge 4.11). Bu gereklilik doğrultusunda, homojen ve kontrollü bir aydınlatma elde etmek amacıyla Philips LL212X PSD 1 xLED53S/840 WB armatürü tercih edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, standartlara uygun bir aydınlatma düzeyi sağlamak için 6 adet armatür kullanılmıştır. Bu çözüm, öğretmenlerin görsel konforunu artırırken aynı zamanda enerji verimliliği sağlayarak kullanıcı dostu bir ortam sunar.

Koridorlarda, zemin kattakiyle aynı şekilde Philips EDP769 FG T25 1 xLED40-4S/727 DS51 MK-WH armatürü kullanılmış ve TS EN 12464-1:2011 standardına uygun aydınlatma sağlanmıştır. WC alanlarında ise aynı standart doğrultusunda, EGLO Square 90/ SQ90H-359271-HOWxM armatürleri kullanılarak homojen ve konforlu bir aydınlatma ortamı oluşturulmuştur. İdari alanlarda TS EN 12464-1:2011 standardına uygun olarak EGLO Square 90/ SQ90H-359271-HOWxM armatürleri kullanılmıştır. Bu armatürler, gerekli aydınlık seviyesi, uniformite ve düşük parlama değerlerini sağlayarak konforlu ve verimli bir çalışma ortamı sunar.

Konferans salonu için TS EN 12464-1:2011 standardına göre 500 lx aydınlık seviyesi ve en az 0,60 uniformite sağlanması gerekmektedir (Çizelge 4.11).

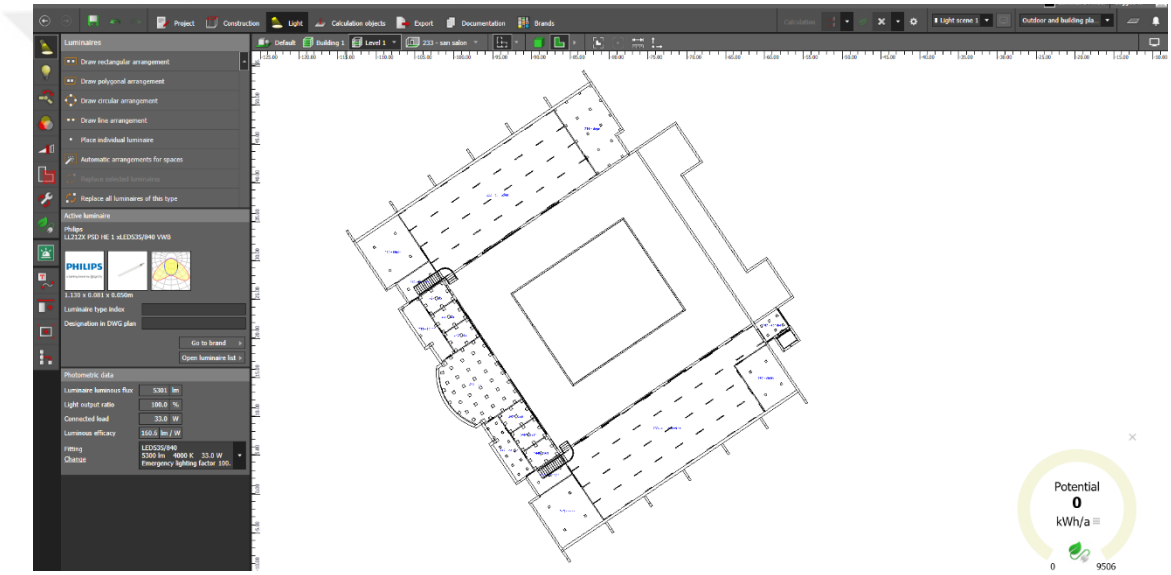
Çizelge 4.11. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Birinci Kat (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Alan	**Gereken Aydınlatma (Ēm) [lux]**	**UGRL (max.)**	**Uo (min.)**	**Açıklama**
Öğretmenler Odası	300	19	0.60	Kontrollü, homojen aydınlatma gerekli
Koridorlar	100	25	0.40	Düşük düzeyli, yönlendirici aydınlatma
WC / Tuvalet Alanları	200 (önerilen)	22	0.40	Genel aydınlatma yeterlidir
İdari (Ofis) Alanlar	300	19	0.60	Ofis çalışma ortamı için uygun
Merdivenler	150	25	0.40	Güvenli geçiş
Konferans Salonu	500	19	0.60	Üniform, rahatlatıcı aydınlatma gerekli

Bu doğrultuda, salon içinde homojen ve rahatlatıcı bir yapay aydınlatma elde etmek amacıyla Philips EDP769 FG T25 1 xLED40-4S/727 DS51 MK-WH armatürü tercih

edilmiştir. Yüksek ışık akışı ve enerji verimliliği sunan bu armatürler hem standartlara uygun hem de kullanıcı konforunu gözeten bir aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Revit Insight ile gerçekleştirilen gün ışığı analizine göre, 21 Haziran tarihli saat 09:00 ve 17:00 senaryolarında binanın çatı katındaki alanların yalnızca %16'sı ilgili doğal aydınlatma standartlarını karşılamaktadır. Özellikle depo/arşiv odaları doğal aydınlatma kriterlerinin oldukça altında kalmaktadır. Ayrıca, çatı katındaki çalışma salonları ve idari alanlarda da gün ışığı yetersizliği belirgin olup, kullanıcı konforunun sağlanabilmesi için bu bölgelerin yapay aydınlatma ile desteklenmesi gerekmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çatı katın DIALux evo ile lamba yerleşim planı

Çalışma alanları için TS EN 12464-1:2011 standardı doğrultusunda, en az 500 lx aydınlık düzeyi ve 0,60 uniformite sağlanması gerekmektedir (Çizelge 4.12). Bu bağlamda, hem görsel konforu destekleyen hem de geniş mekanda dengeli ışık dağılımı sunan Philips LL212X PSD 1 xLED53S/840 WB armatürü tercih edilmiştir. Yüksek ışık akışı sayesinde salon genelinde yeterli aydınlık sağlanmış, kullanıcı konforu ve enerji verimliliği bir arada sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Yapay Aydınlatma Gereksinimleri – Çatı Katı (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Alan	**Gereken Aydınlatma (Ēm) [lux]**	**UGRL (max.)**	**Uo (min.)**	**Açıklama**
Çalışma Alanı	500	19	0.60	Kontrollü, homojen aydınlatma gerekli
Koridorlar	100	25	0.40	Düşük düzeyli, yönlendirici aydınlatma
İdari (Ofis) Alanlar	300	19	0.60	Ofis çalışma ortamı için uygun
Depo/ Arşiv	100	25	0.40	Fonksiyonel aydınlatma

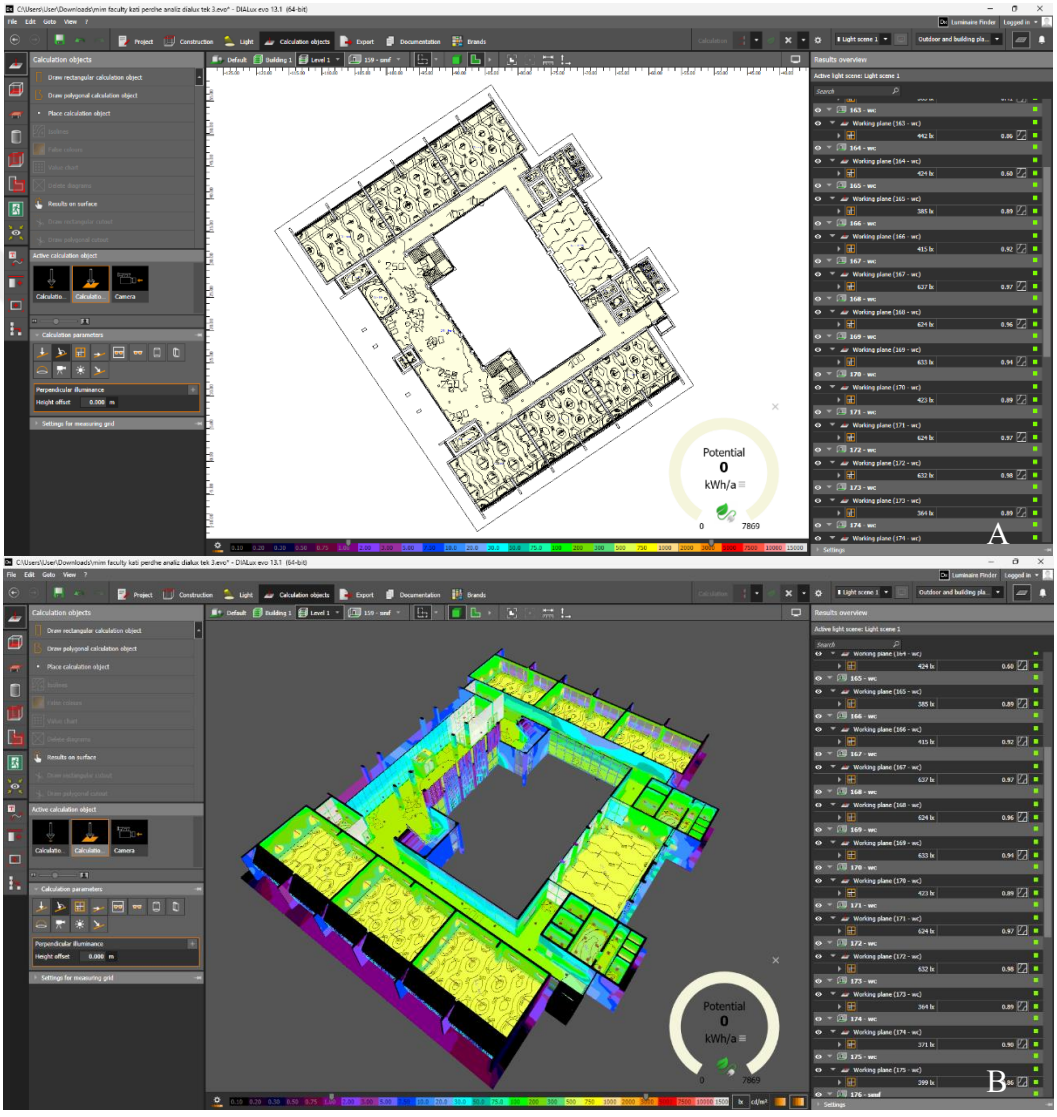
Çatı katındaki koridor ve idari alanların aydınlatmasında, alt katlarda olduğu gibi TS EN 12464-1:2011 standardına uygun çözümler tercih edilmiştir. Koridorlarda Philips EDP769 FG T25 1 xLED40-4S/727 DS51 MK-WH armatürleri kullanılarak güvenli ve homojen bir geçiş alanı sağlanmıştır. İdari ofis alanlarında ise yine EGLO Square 90/ SQ90H-359271-HOWxM armatürleri kullanılmış. Bu sayede çalışma ortamlarında gerekli aydınlık düzeyi, uniformite ve düşük parlama koşulları sağlanarak görsel konfor ve verimlilik üst düzeyde tutulmuştur.

Depo/arsiv alanlarının aydınlatmasında TS EN 12464-1:2011 standardına göre minimum 100 lx aydınlık seviyesi ve 0,40 uniformite sağlanması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, aydınlatma düzeyinde işlevsellik ve homojenlik kriterleri göz önünde bulundurularak Philips EDP769 FG T25 1 xLED40-4S/727 DS51 MK-WH model armatür kullanılmıştır. Yürürlükteki standartlara uygun, sürdürülebilirlik ve görsel konfor ilkeleriyle uyumlu, etkili bir yapay aydınlatma tasarımı oluşturulmuştur.

4.3. Doğal ve Yapay Aydınlatmanın Entegrasyonu

Yapay aydınlatma senaryoları kapsamında, seçilen armatürler ile en yüksek performans gösteren senaryo belirlenmiş ve bu doğrultuda hesaplamalı analizlere geçilmiştir. DIALux evo yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlar aracılığıyla, her bir iç mekanın işlevsel gereksinimlerine uygun görsel konfor koşullarının sağlanıp

sağlanmadığı nicel veriler ışığında değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, TS EN 12464-1 standardında tanımlanan aydınlatma kriterleriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilerek, sistemin performans ve yeterlilik düzeyi kapsamlı bir şekilde yorumlanmıştır. DIALux evo programı kullanılarak gerçekleştirilen yapay aydınlatma analizleri kapsamında, yapı zemin katı için detaylı hesaplamalar tamamlanmıştır (Şekil 4.4).

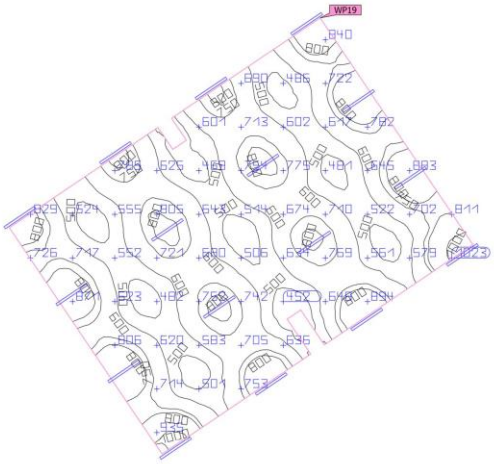


Şekil 4.4. Zemin kat aydınlatma performans analizi , DIALux evo hesaplama verileri. A) Plan görünümü (DIALux evo hesaplama verileri) B) Perspektif görünümü (DIALux aydınlatma simülasyonu)

TS EN 12464-1 standardı doğrultusunda, kullanıcı ihtiyaçlarına ve mekan fonksiyonlarına uygun aydınlık düzeylerinin sağlanabilmesi amacıyla her bir alan için

doğru armatür seçimi yapılmış ve bu armatürler optimum konumlarda yerleştirilmiştir. Doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı bölgelerde yapay aydınlatma ile destek sağlanmış ve bu sayede tüm çalışma düzlemlerinde standartların gerektirdiği minimum aydınlık seviyelerine ulaşılmıştır.

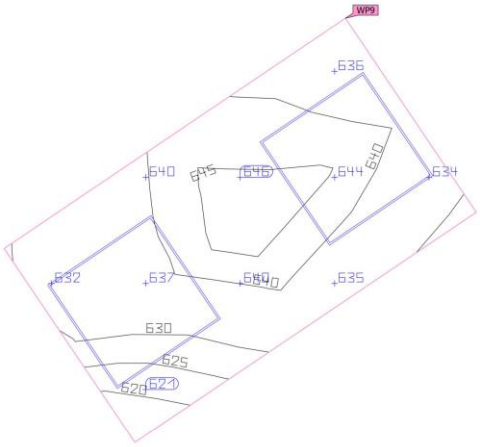
Sınıf alanı için yapılan aydınlatma analizinde, çalışma düzleminde elde edilen ortalama aydınlık düzeyi 670 lx ile TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 300 lx gerekliliğini karşılamaktadır. Ayrıca, aydınlatma uniformitesi 0.64 olarak hesaplanmış olup, standardın öngördüğü en az 0.60 değerinin üzerindedir. Bu sonuçlar, sınıf alanı için doğru armatür seçimi ve yerleşimiyle görsel konforun sağlandığını ve standarda uygunluğun başarıyla elde edildiğini göstermektedir (Şekil 4.5).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (177- sınıf) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.122 m	670 lx (≥ 300 lx) ✓	426 lx	1054 lx	0.64 (≥ 0.60) ✓	0.40	WP19

Şekil 4.5. Sınıf alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

WC alanında yapılan aydınlatma analizinde, TS EN 12464-1 standardının minimum 200 lx aydınlık düzeyi ve en az 0.40 olması gereken uniformite değerine başarıyla ulaşılmıştır. Ölçülen değerler sırasıyla 637 lx ve 0.97 olup, standart gereklilikleri doğru ve eksiksiz şekilde sağlanmıştır (Şekil 4.6).

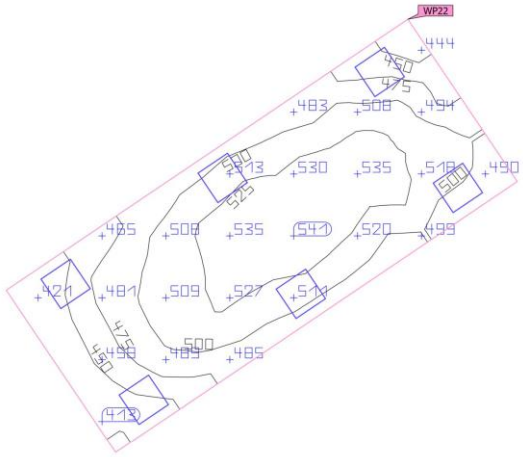


Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (167- wc) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.141 m	637 lx (≥ 200 lx) ✓	619 lx	646 lx	0.97 (≥ 0.40) ✓	0.96	WP9

Şekil 4.6. WC alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

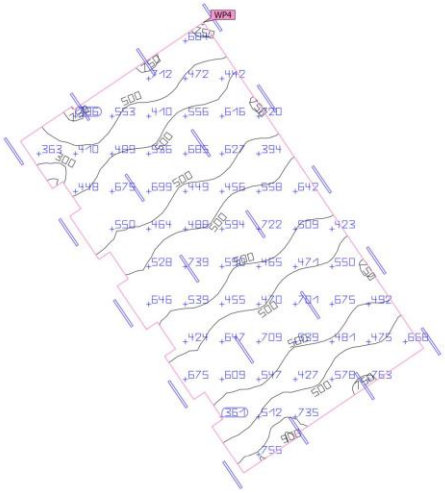
İdari çalışma alanı TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 300 lx aydınlık düzeyi ve en az 0.60 olması gereken uniformite değeri başarıyla sağlanmıştır. Bu sonuçlar, ofis kullanımı için gerekli aydınlatma koşullarının eksiksiz ve doğru şekilde karşılandığını göstermektedir (Şekil 4.7).

Kantin çalışma düzlemi üzerinde yapılan aydınlatma analizinde, TS EN 12464-1 standardının öngördüğü minimum 200 lx aydınlık seviyesi ile en az 0,40 olması gereken uniformite kriteri eksiksiz bir şekilde karşılanmıştır. Eğitim amaçlı kullanım alanlarından biri olan kantin için gerekli aydınlatma standartlarının tamamıyla sağlandığı görülmüştür (Şekil 4.8).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (180 - İdari) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.407 m	496 lx (≥ 300 lx) ✓	398 lx	542 lx	0.80 (≥ 0.60) ✓	0.73	WP22

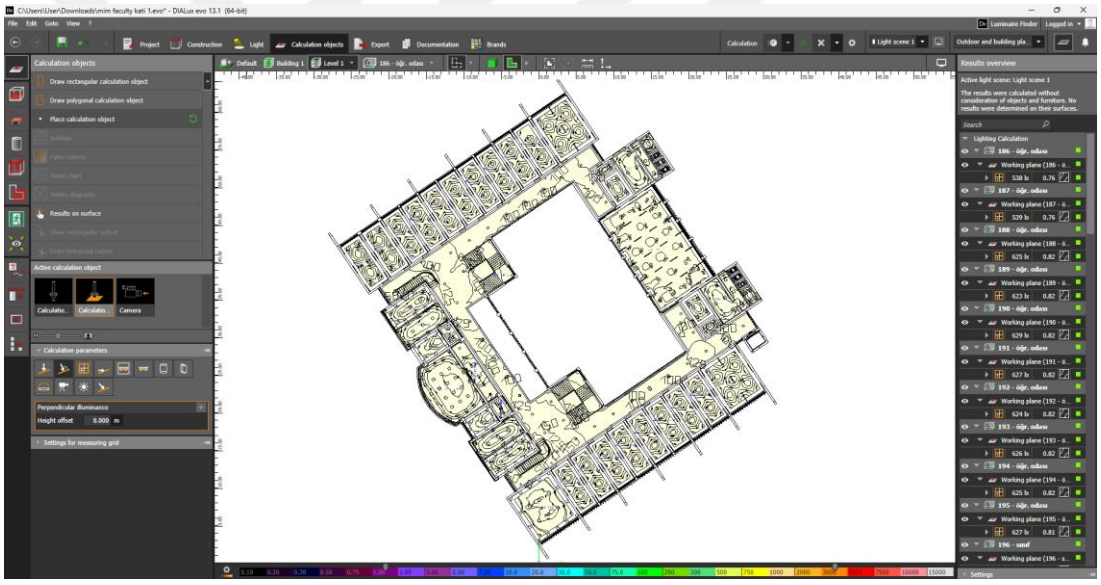
Şekil 4.7. İdari odanın çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (162- Kantin) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.396 m	563 lx (≥ 200 lx) ✓	230 lx	921 lx	0.41 (≥ 0.40) ✓	0.25	WP4

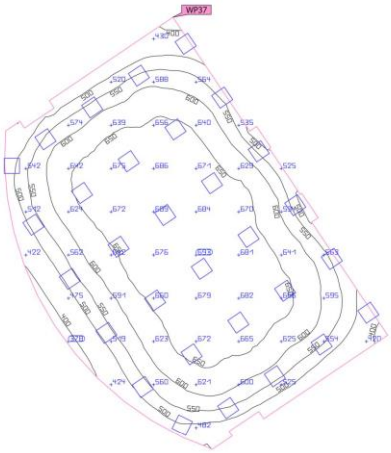
Şekil 4.8. Kantin alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

Yapının birinci katına ilişkin yapay aydınlatma analizleri DIALux evo programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş, tüm alanlarda TS EN 12464-1 standardının gerektirdiği aydınlık düzeylerinin sağlanmasına özen gösterilmiştir. Analizler sonucunda, WC gibi iç kısımlarda yer alan alanların ve dış cepheye uzak sınıfların gün ışığından sınırlı düzeyde yararlanabildiği görülmüştür. Bu durum, içe dönük hacimlerde doğal aydınlatma etkinliğinin azaldığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, söz konusu alanlarda uygun yapay aydınlatma çözümleri geliştirilmiş, seçilen armatürler işlevsel ve homojen aydınlatma sağlayacak biçimde konumlandırılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda, gün ışığının sınırlı olduğu bölgelerde yapay aydınlatma ile destek sağlanarak, tüm çalışma düzlemlerinde görsel konfor koşulları ve minimum aydınlık düzeyleri başarıyla sağlanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Birinci kat aydınlatma performans analizi , DIALux evo hesaplama verileri.

Toplantı odasına yönelik gerçekleştirilen yapay aydınlatma analizinde, TS EN 12464-1 standardı esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Çalışma düzlemi yüksekliği dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, ilgili alanda standartların öngördüğü minimum 300 lux aydınlık düzeyi ve en az 0.60 uniformite değeri sağlanmıştır. Bu kapsamda, mekanın görsel konfor gereksinimleri karşılanmış, kullanıcıların çalışma verimliliğini ve konforunu destekleyecek nitelikte homojen bir aydınlatma sağlanmıştır (Şekil 4.10).

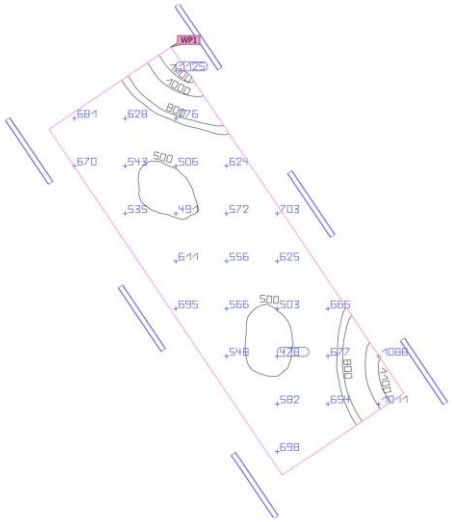


Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (222- toplantı odası) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.076 m	594 lx (≥ 300 lx) ✓	372 lx	693 lx	0.63 (≥ 0.60) ✓	0.54	WP37

Şekil 4.10. Toplantı odasının çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

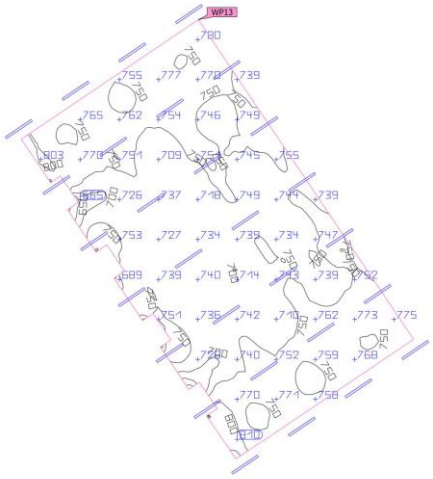
Öğretim elemanı odasına ilişkin yapılan yapay aydınlatma analizinde, alanın iç kısımda yer alması nedeniyle doğal aydınlatmadan sınırlı şekilde yararlanabildiği tespit edilmiştir. Bu durum, gün ışığı ile yeterli aydınlık seviyesinin sağlanmasını engellediğinden, yapay aydınlatma ile destekleme yoluna gidilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 300 lux aydınlık düzeyi ile en az 0.60 uniformite değeri sağlanmış, böylece alanın işlevine uygun, homojen ve görsel konforu destekleyen bir aydınlatma koşulu oluşturulmuştur (Şekil 4.11).

Konferans salonuna yönelik gerçekleştirilen yapay aydınlatma analizinde, TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 500 lux aydınlık düzeyi ve 0.60 uniformite değeri başarıyla sağlanmıştır. Çalışma düzlemine göre yapılan değerlendirmede, aydınlatma tasarımı mekanın kullanım amacına uygun şekilde homojen dağılım göstermekte ve görsel konfor koşullarını desteklemektedir. Bu doğrultuda, salonun eğitim ve sunum gibi işlevlerine uygun, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan nitelikte bir aydınlatma kalitesi elde edilmiştir (Şekil 4.12).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (186- Akad. Odası) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.464 m	639 lx (≥ 300 lx) ✓	470 lx	1187 lx	0.74 (≥ 0.60) ✓	0.40	WP1

Şekil 4.11. Öğretim elemanı odasının çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.



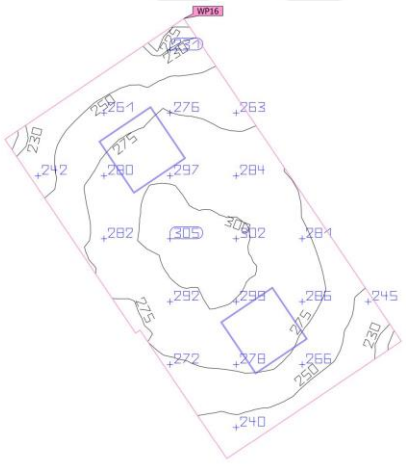
Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (198- salon) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.396 m	748 lx (≥ 500 lx) ✓	591 lx	831 lx	0.79 (≥ 0.60) ✓	0.71	WP13

Şekil 4.12. Konferans salonun çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

WC alanı, yapısal konumu nedeniyle neredeyse hiç gün ışığı almamaktadır. Bu nedenle yapay aydınlatma ile desteklenmiş ve TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum

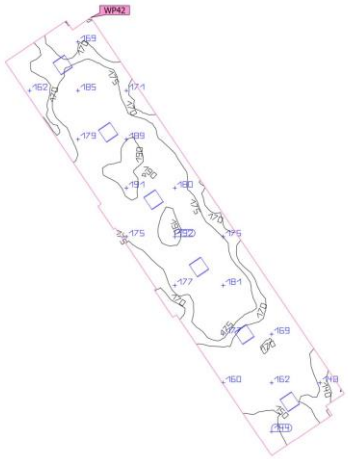
200 lux aydınlık düzeyi ile 0.40 uniformite değeri sağlanmıştır. Yapılan analizler, armatürlerin uygun konumlandırılması sayesinde homojen ve yeterli aydınlatma sağlandığını, böylece kullanıcı konforu ve güvenliğinin garanti altına alındığını göstermektedir (Şekil 4.13).

Koridor alanına yönelik yapılan yapay aydınlatma analizinde, TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 100 lux aydınlık düzeyi ve 0.40 uniformite değeri başarıyla karşılanmıştır. Armatürlerin doğru konumlandırılmasıyla dengeli bir aydınlatma elde edilmiş, böylece koridor kullanımı için gerekli görsel rahatlık ve güvenlik koşulları sağlanmıştır (Şekil 4.14).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (201- wc) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.131 m	274 lx (≥ 200 lx) ✓	224 lx	305 lx	0.82 (≥ 0.40) ✓	0.73	WP16

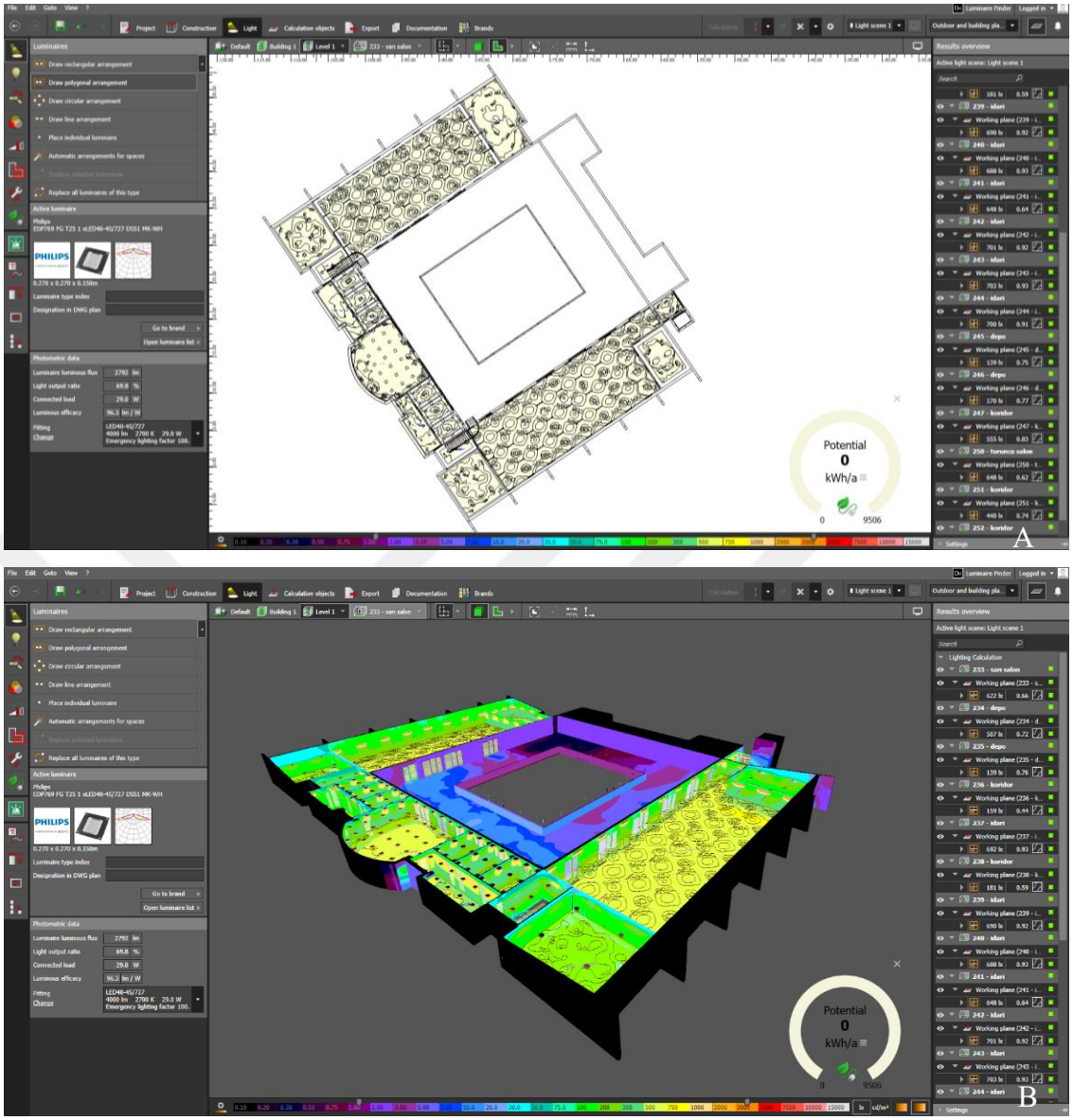
Şekil 4.13. WC alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (227- Koridor) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.108 m	173 lx (≥ 100 lx) ✓	137 lx	194 lx	0.79 (≥ 0.40) ✓	0.71	WP42

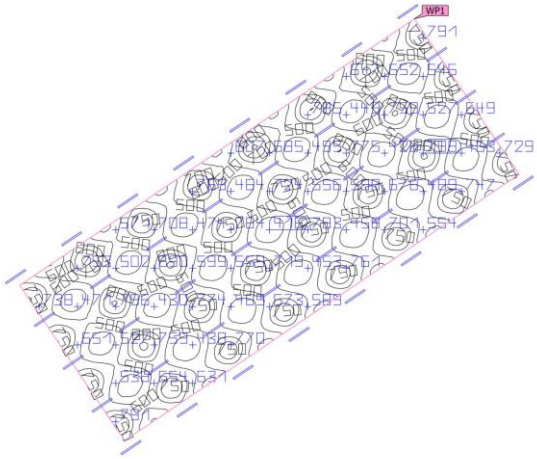
Şekil 4.14. Koridor alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

Çatı katına ilişkin yapay aydınlatma analizleri DIALux evo programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında, alanların gün ışığından yararlanma düzeyleri dikkate alınarak, TS EN 12464-1 standardında belirtilen aydınlık düzeylerinin sağlanmasına özen gösterilmiştir. Sarı ve turuncu salon olarak adlandırılan çok amaçlı alanlarda, pencere açıklıkları sınırlı ve cepheye uzak olması nedeniyle doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu alanlarda, içe doğru derinleşen mekan kurgusu nedeniyle gün ışığının etkinliği azalmış ve aydınlık düzeyleri düşmüştür. Benzer şekilde, idari ofis alanlarında da cepheyle doğrudan ilişkili olmayan iç hacimlerde gün ışığından yeterince faydalanılamamıştır. Depo alanlarında ise pencere bulunmadığından dolayı tamamen karanlık koşullar söz konusudur. Bu bağlamda, söz konusu alanlarda uygun yapay aydınlatma çözümleri geliştirilmiş ve seçilen armatürler, alanın işlevi ve kullanıcı gereksinimleri doğrultusunda homojen bir aydınlık dağılımı sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır. Yapılan düzenlemeler sonucunda, gün ışığının yetersiz olduğu bölgelerde yapay aydınlatma ile destek sağlanarak, tüm çalışma düzlemlerinde önerilen minimum aydınlık düzeyleri karşılanmış ve görsel konfor koşulları başarıyla sağlanmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Çatı katı aydınlatma performans analizi, DIALux evo hesaplama verileri. A) Plan görünümü (DIALux evo hesaplama verileri) B) Perspektif görünümü (DIALux aydınlatma simülasyonu)

Sarı Salon için gerçekleştirilen yapay aydınlatma analizinde, doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı alanlar dikkate alınarak aydınlatma tasarımı optimize edilmiştir. Bu kapsamda, TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 500 lux aydınlık düzeyi ve en az 0.60 uniformite oranı sağlanarak, alanın işlevine uygun, homojen bir ışık dağılımı elde edilmiştir. Tasarlanan yapay aydınlatma düzeni, görsel konfor koşullarını destekleyen, dengeli ve işlevsel bir aydınlatma ortamı sunmayı amaçlamaktadır (Şekil 4.16).

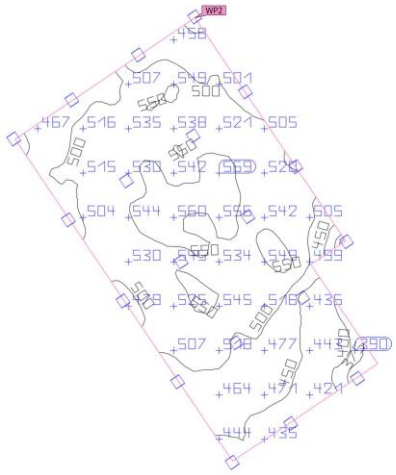


Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (233- sarı salon) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.500 m	622 lx (≥ 500 lx) ✓	410 lx	808 lx	0.66 (≥ 0.60) ✓	0.51	WP1

Şekil 4.16. Sarı Salon çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

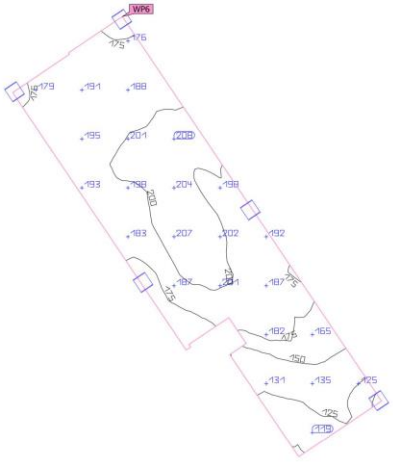
Depo alanı, doğal gün ışığından tamamen yoksun olması nedeniyle, yapay aydınlatma tasarımı açısından özel bir değerlendirmeyi gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde çalışma düzleminde, TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 100 lux aydınlık düzeyi ve en az 0.40 uniformite gereksinimleri sağlanmıştır. Böylece, depo işlevine uygun, yeterli ve dengeli bir aydınlatma ortamı oluşturulmuştur (Şekil 4.17).

Koridor alanında yapılan yapay aydınlatma analizinde, çalışma düzleminde TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 100 lux aydınlık düzeyi ve en az 0.40 uniformite kriterleri başarıyla karşılanmıştır. Analiz sonuçları, koridorun işlevsel gereksinimlerine uygun, görsel konforu destekleyen ve homojen bir aydınlatma ortamı sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu sayede, alanın kullanıcıların güvenli ve rahat hareketini destekleyecek yeterli aydınlatma koşullarına sahip olduğu söylenebilir (Şekil 4.18).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (234 - depo) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.158 m	507 lx (≥ 100 lx) ✓	365 lx	571 lx	0.72 (≥ 0.40) ✓	0.64	WP2

Şekil 4.17. Depo alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

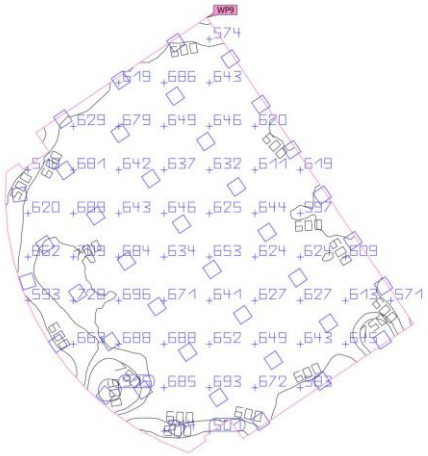


Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (238- Koridor) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.099 m	181 lx (≥ 100 lx) ✓	107 lx	209 lx	0.59 (≥ 0.40) ✓	0.51	WP6

Şekil 4.18. Koridor alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

İdari alanda yapılan yapay aydınlatma analizinde, çalışma düzleminde TS EN 12464-1 standardında belirtilen minimum 500 lux aydınlık düzeyi ve 0.60 uniformite değeri

sağlanmıştır. Elde edilen bu değerler, alanın işlevine uygun, homojen ve görsel konforu destekleyen bir aydınlatma ortamı oluşturulduğunu göstermektedir. Bu sayede, kullanıcıların çalışma verimliliği artarken, göz yorgunluğu ve görsel rahatsızlıkların önüne geçilmesi hedeflenmiştir (Şekil 4.19).



Özellikler	Ē (Target)	E_{min}	E_{max}	U_o (g_1) (Target)	g_2	İndeks
Çalışma düzlemi (241- İdari) Dikey aydınlık düzeyi (uyarlanabilir) Yükseklik: 0.800 m, Duvar Bölgesi: 0.076 m	648 lx (≥ 500 lx) ✓	412 lx	956 lx	0.64 (≥ 0.60) ✓	0.43	WP9

Şekil 4.19. İdari alanı çalışma düzlemi üzerindeki aydınlatma (lux) ve uniformite değerleri.

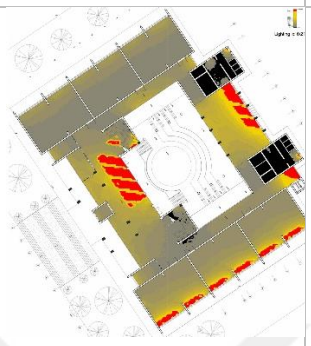
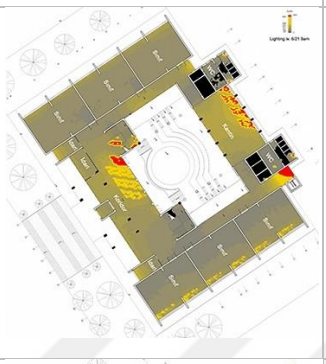
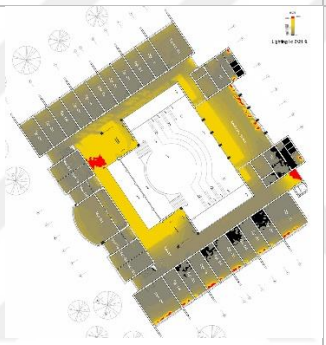
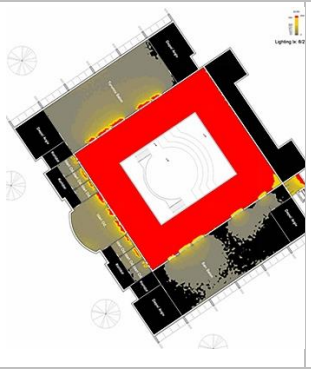
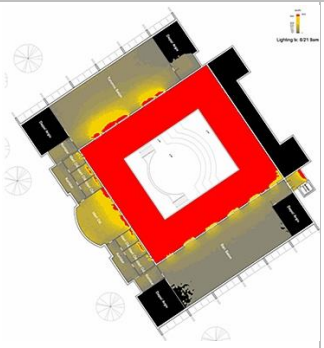
Bu çalışma kapsamında aydınlatma tasarımı DIALux Evo yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tüm mekanlarda TS EN 12464-1 Yapay Aydınlatma Standardı esas alınmıştır. Aydınlatma tasarımı yalnızca minimum aydınlık düzeyi (lux) kriterine göre değil, aynı zamanda uniformite (U_0) ve kamaşma sınırı (UGR) koşulları birlikte değerlendirilerek yapılmıştır. Bazı mekanlarda standartta belirtilen minimum aydınlık düzeyi sağlanmasına rağmen, görsel konfor koşullarının tam olarak karşılanabilmesi ve UGR ile uniformite sınır değerlerinin sağlanması amacıyla aydınlık düzeyinin minimum değerin üzerine çıkarılması gerekmiştir. Bu yaklaşım, enerji tüketimini artırmaya yönelik bir tasarım tercihi olmayıp, kullanıcı sağlığı, görsel konfor ve mekansal kaliteyi artırmayı hedefleyen zorunlu bir tasarım gerekliliği olarak ele alınmıştır.

Tasarım sürecinde, tüm standart kriterlerini karşılayan en düşük aydınlık düzeyi hedeflenerek enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik ilkeleri gözetilmiştir.

Yapılan mevcut durum analizleri sonucunda, incelenen yapının tüm katlarında gün ışığı erişimi açısından yetersiz kalan mekanların bulunduğu belirlenmiştir. Özellikle zemin katta yer alan tuvalet hacimlerinin ve içe dönük sınıfların pencere açıklıklarından uzak konumlanmış olması, doğal aydınlatmanın sınırlı düzeyde kalmasına neden olmuştur. Benzer biçimde, birinci katta yer alan öğretim elemanı odaları, tuvalet hacimleri ve iç avluya dönük idari birimlerin konumlandırılması, gün ışığına doğrudan erişimi engellemiş. Çatı katında ise çalışma salonları ve depo alanlarının doğal ışık alımında ciddi eksiklikler gözlemlenmiştir.

Bu bulgular, gün ışığı performansındaki yetersizliğin yalnızca belirli bölgelere özgü olmadığını, aksine yapının tümüne yayılan sistematik bir soruna işaret ettiğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, her kat özelinde geliştirilen öneri senaryoları kapsamında, pencere boyutları ve konumları yeniden değerlendirilmiş: cam türleri, yüzey yansıtıcılık katsayıları ve pasif güneş kontrol sistemleri gibi parametreler optimize edilmiştir
BIM tabanlı Revit Insight yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilen karşılaştırmalı gün ışığı simülasyonları sonucunda, öneri senaryonun mevcut duruma kıyasla anlamlı ölçüde iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir. Aydınlatma dağılımında homojenliğin artırılması, ışık şiddetinin standart değerlere yaklaştırılması ve kullanıcı konforunun desteklenmesi yönünde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı veya gece kullanımı gibi senaryoların söz konusu olduğu alanlar için DIALux evo yazılımı aracılığıyla yapay aydınlatma senaryoları oluşturulmuş ve bu bölgelerde destekleyici çözümler geliştirilmiştir. Doğal ve yapay aydınlatmanın birlikte ele alındığı bu bütüncül strateji sayesinde, kullanıcıların günün farklı saatlerinde ve farklı mekansal senaryolarda optimum görsel konfor koşullarına ulaşmaları sağlanmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Aydınlatma Analizi Karşılaştırması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Kat / Opsiyon	**Mevcut Durum Analizi**	**Öneri 1:** Gün Işığı Optimizasyonu Sonrası Performans Analizi	**Öneri 2:** Doğal ve Yapay Aydınlatma Entegrasyon Anlizi
Zemin Katı			
1. Kat			
Çatı Katı			

Bu yaklaşım, aydınlatmanın sadece enerji tasarrufu odaklı bir unsur olmaktan çıkarak, kullanıcı ihtiyaçlarını da merkeze alan kapsamlı bir tasarım bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler, BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) tabanlı gün ışığı simülasyonlarının sürdürülebilir bina tasarım süreçlerine sağladığı katkıları ortaya koymak amacıyla kurgulanmış ve bu doğrultuda yürütülmüştür. Gelişen dijital araçların sunduğu olanaklarla birlikte, gün ışığı tasarımının yalnızca estetik veya konfor bağlamında değil, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda da etkin bir şekilde değerlendirilebileceği görülmektedir.

Autodesk Insight platformunun sağladığı yüksek çözünürlüklü gün ışığı simülasyonları aracılığıyla, tasarımın ilk aşamalarında geliştirilen alternatif aydınlatma senaryoları kapsamlı ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, bu değerlendirmeler sonucunda hem görsel konfor hem de enerji verimliliği açısından en yüksek performans değerlerini sağlayan optimal gün ışığı senaryosu belirlenmiştir. Bu senaryo, doğal ışığın iç mekanlarda maksimum homojenlikte dağılımını mümkün kılmaktadır, parlama (glare) riskini en az düzeye indirmekte, kullanıcı konforunu artırmakta ve pasif ısıl kazançların dengelenmesine katkıda bulunmaktadır. Optimal senaryo ile mevcut durumun karşılaştırmalı analizleri, gün ışığı kullanım etkinliğinde anlamlı bir artış ortaya koymakta, yapay aydınlatma gereksiniminin azaltılmasıyla birlikte enerji tüketiminde ve işletme maliyetlerinde kayda değer düşüşler sağlanmakta, doğal aydınlatma kalitesi yükselmekte ve kullanıcı sağlığı ile üretkenliği üzerinde olumlu etkiler gözlemlenmektedir.

Doğal ışığın yetersiz kaldığı alanlarda, DIALux evo yazılımı ile gerçekleştirilen yapay aydınlatma analizleri doğrultusunda TS EN 12464-1 standardına uyumlu çözümler geliştirilerek tüm mekanlarda dengeli ve konforlu aydınlatma koşulları tesis edilmiştir. Böylelikle, doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin bütünleştiği hibrit bir aydınlatma stratejisi oluşturulmuş, enerji optimizasyonu ile kullanıcı deneyimi eşzamanlı olarak en üst düzeye taşınmış ve bu metodoloji, yalnızca aydınlatma performansını maksimize etmekle kalmayıp tasarım sürecinin erken aşamalarında alınan kararların uzun vadeli enerji verimliliği, termal konfor ve maliyet etkinliği üzerindeki etkilerini de görünür

kılarak, projeye yönelik sonradan yapılabilecek maliyetli revizyon gereksinimlerini en aza indirmiştir.

Çalışma boyunca elde edilen veriler, BIM teknolojisinin sunduğu parametrik modelleme ve analiz olanaklarının, sürdürülebilir bina tasarımında güçlü bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Tasarım sürecinde yapılan her bir müdahalenin etkisi, sayısal verilerle test edilip görselleştirilebilmiş, böylece geleneksel tasarım kararlarının ötesine geçilerek, veriye dayalı, performansa odaklı bir tasarım yaklaşımı benimsenmiştir. BIM tabanlı parametrik analizlerin sunduğu esneklik sayesinde farklı tasarım alternatifleri hızlı ve sistematik bir şekilde test edilmiş, yüksek performans kriterlerini karşılayan çözümler uygulama öncesinde nesnel verilerle doğrulanarak düşük maliyetli, yüksek verimli ve kullanıcı odaklı mimari tasarım hedeflerinin gerçekleştirilmesine stratejik düzeyde katkı sağlanmıştır. Özellikle eğitim yapıları gibi uzun süreli kullanım gerektiren yapılarda bu yaklaşım, erken tasarım aşamasında enerji performansını optimize etme ve sonradan yapılacak maliyetli müdahalelerin önüne geçme açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

Türkiye bağlamında değerlendirildiğinde, BIM tabanlı performans analizlerinin henüz yaygınlaşma sürecinde olduğu göz önünde bulundurulursa, bu tezde sunulan yöntemsel çerçevenin hem akademik hem de profesyonel uygulamalar için örnek teşkil edebileceği söylenebilir. Çalışmada izlenen adımlar mevcut durumun BIM ortamında modellenmesi, gün ışığı analizlerinin gerçekleştirilmesi, tasarım senaryolarının üretilmesi, yapay aydınlatma desteklerinin entegre edilmesi ve tüm bu sürecin bütüncül olarak değerlendirilmesi sürdürülebilir bina tasarımının nasıl sistematik hale getirilebileceğine dair somut bir yol haritası sunmaktadır. Bu yaklaşım, yapıların yalnızca enerji performansına değil, aynı zamanda kullanıcı memnuniyetine ve mekansal kalitenin artırılmasına da odaklanması gerektiğini göstermektedir.

Buna ek olarak, çalışma mevcut yapılarda yapılacak iyileştirmelerin nasıl etkili olabileceğine yönelik uygulanabilir bir yöntem sunmuş, aynı zamanda gelecekte tasarlanacak benzer binalar için tekrarlanabilir ve genişletilebilir bir model ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sürdürülebilir tasarım hedeflerinin erken tasarım

aşamalarından itibaren yönetilebileceği, enerji performansının optimize edilebileceği ve tasarım sürecinin daha öngörülebilir, ölçülebilir ve maliyet etkin hale getirilebileceği de doğrulanmıştır.

Sonuç olarak, bu tez sürdürülebilir bina tasarımında BIM'in stratejik rolünü açıkça ortaya koymakta, tasarım kararlarının ölçülebilir biçimde yönlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, mimarlık ve mühendislik disiplinleri için yalnızca bir araştırma çıktısı olmanın ötesine geçerek uygulamaya dönük güçlü bir model sunmakta ve benzer çalışmalara yönelik sağlam bir referans çerçevesi oluşturmaktadır. Çalışmanın uzun vadeli ve çok boyutlu katkılarının, sürdürülebilir tasarım hedeflerinin gerçekleştirilmesinde rehber niteliği taşıması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdelatia, B., Marenne, C., & Semidor, C. (2010). Daylighting Strategy for Daylighting Schools: Case Study of Prototype Classrooms in Libya. *Journal of Sustainable Development, 3*, 60-67.

Afsari, K. (2012). *Building information modeling in concept design stage* [Yüksek lisans tezi, University of Salford].

Akkaya, D. (2012). *İnşaat sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi hakkında inceleme.* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Akkoyunlu, T. (2015). *Kentsel dönüşüm için BIM uygulama planı önerisi* [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Autodesk. (2017). *Insight lighting analysis help*. https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/pdfs/insight-lighting-analysis-help.pdf

Autodesk. (2024). *Lighting Analysis*. Autodesk. https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-A1FD7410-32F3-4FC2-8B78-4A843A3B4E52

Autodesk. (2025). *Lighting Analysis.* Autodesk Revit Help. *https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/ENU/?guid=GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29*

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering, 11*(3), 241–252.

Azhar, S., Khalfan, M. ve Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12*(4), 15–28. https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032

Bahar, Z., & Yalçınkaya, Ş. (2021). Bir Tasarım Öğesi Olarak Gün Işığı: Jean Nouvel. *Duzce University Journal of Science and Technology, 9*(5), 1724-1738. https://doi.org/10.29130/dubited.894120

Bakır, K. E. (2020). *YBM (BIM) platformlarının mimari tasarım süreci ile ilişkilerinin tespiti: antalya örneği.* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2020). Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. *Energy Reports, 6*, 1590–1607. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.008

Bhangale, M. K., & Bhangale, P. (2020). Study of 5D Building Information Modeling in Architecture, Engineering and Construction Industry, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7*(8), 3144–3149.

British Standards Institution. (2021a). BS EN 12464-1:2021. *Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places*. BSI Standards Publication.

British Standards Institution. (2021b). BS EN 17037:2018+A1:2021 *daylight in buildings* (Incorporating corrigendum October 2021). BSI Standards Limited.

Brzezicki, M. (2012). The influence of reflected solar glare caused by the glass cladding of a building: application of caustic curve analysis. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 27*(5), 347–357.

BuildEXT. (2022, Ocak 22). *What are the BIM dimensions?* https://buildext.com/en/bim-dimensions/

Canpolat, F. (2023). *Küçük ölçekli yapılar için yapı bilgi modelleme (YBM) tabanlı yapımsüreci (4D) ve maliyeti (5D) tahmini: Bir vaka çalışması.* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

DesignBuilder Software Ltd. (t.y.). *Simulation*. *https://designbuilder.co.uk/simulation*

DIAL GmbH. (t.y.). *DIALux*. https://www.dial.de/en-GB/dialux/

Dilsizoğlu, G. Ö. (2016). *Integrated project delivery method using bim to support of sustainable design and construction.* [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Donn, M. R., Thomas, G., Efficiency, E., & Authority, C. (2010). *Designing comfortable homes: Guidelines on the use of glass, mass and insulation for energy efficiency* (Issue January 2001).

Eastman C M., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., & Yessios C. (1974). *An outline of the building description system* (Research report no. 50). Carnegie-Mellon University.

Eastman, C. M. (1995). A generic building product model incorporating building type information. *Automation in Construction, 3*(4), 283–304. https://doi.org/10.1016/0926-5805(94)00028-L

Eastman, C. M. (1999). *Building product models: Computer environments supporting design and construction* (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315138671

Eastman, C. M., & Henrion, M. (1977). Glide: A language for design information systems. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics 11,* 24-33.

Eastman, C. M., Sacks, R., Liston, K., & Teicholz, P. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers and contractors (1st ed.).* John Wiley & Sons.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers and contractors (2nd ed.).* John Wiley & Sons. https://books.google.al/books/about/BIM_Handbook.html?id=aCi7Ozwkoj0C&redir_esc=y

Fahad, B. H. (2022). *Implementing of passive retrofitting strategies to improve energy performance in existing residential buildings using bim technology: A case study of residential building in Iraq.* [Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].

Gallo, C. (1994). Bioclimatic architecture. *Renewable Energy, 5*(5–8), 1021–1027. https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90129-5

Green Quarter. (2018, February 6). *Daylight metrics.* https://www.greenquarter.biz/ideas-stories/daylight-metrics/

Guzowski M, 2000. *Daylighting For Sustainable Design*. McGraw-Hill Professional. https://books.google.com/books?id=VQ5QAAAAMAAJ

Gürel Ulusan, Y. M. (2012). *Eğitim yapılarının enerji etkin aydınlatma açısından incelenmesi: Kağıthane Anadolu Lisesi örneği.* [Sanatta yeterlik tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü]

Hauer, M., Hammes, S., Zech, P., Geisler-Moroder, D., Plörer, D., Miller, J., van Karsbergen, V., & Pfluger, R. (2024). Integrating digital twins with BIM for enhanced building control strategies: A systematic literature review focusing on daylight and artificial lighting systems. *Buildings, 14*(3), 805. https://doi.org/10.3390/buildings14030805

IDL Boise. (t.y.). *Tips and tricks using Insight's daylighting analysis.* https://www.idlboise.com/content/tips-and-tricks-using-insights-daylighting-analysis

Integrated Environmental Solutions. (t.y.). *BIM interoperability.* IESVE. *https://www.iesve.com/software/bim?utm_source*

Kağıthane Anadolu Lisesi Örneği. *Tasarım + Kuram Dergisi, 13*(24), 138-147.

Kalkan, E., Okur, F. ve Altunışık, A. (2018). Applications and usability of parametric modeling. *Journal of Construction Engineering, 1*(3), 139-146.

Kutlu, R. (2019). Bir tasarım öğesi olarak günışığı. *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication*, 9(2), 415–428. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/685315?utm_source

Lechner, N. 1991. Heating, Cooling, Lighting, John Willy & Sons, USA.

Loe, D., Watson, N., Rowlands, E., Mansfield, K., Venning, B., & Baker, J. (1999). *Lighting design for schools* (Building Bulletin 90). Department for Education and Employment. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED431290.pdf

Miri, M., & Ashtari, E. (2019). Daylight study from early to the end of architectural/urban design process by developing an add-in for Revit. *16th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, Building Simulation 2019*, 2745-2753.

Miri, M., & Ashtari, E. (2022). Implementing a digital solution for architectural daylight analysis in BIM based projects by developing a new plugin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1099*, 012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1099/1/012013

Moon. (2025). Mimari tasarımda ışık: Doğal ve yapay aydınlatma. Erişim tarihi: 25 Temmuz 2025, https://www.moonon.uk/tr/blog-kategori/akademi/mimari-tasarimda-isik-dogal-ve-yapay-aydinlatma

Mytafides, C. K., Dimoudi, A., & Zoras, S. (2017). Transformation of a university building into a zero energy building in Mediterranean climate. *Energy and Buildings, 155*, 98–114. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.083

Ofluoğlu, S. (2012). *Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar*. [Mimar Sinan Üniversitesi, Enformatik Bölümü] http://www.sayisalmimar.com/yayin/ybm.pdf.

Ofluoğlu, S. (2014). Yapı Bilgi Modelleme: Gereksinim ve Birlikte Çalışabilirlik. *Mimarist*. https://www.researchgate.net/publication/328875465

Onubogu, N. O., Chong, K.-K., & Tan, M.-H. (2021). Review of active and passive daylighting technologies for sustainable building. *International Journal of Photoenergy, 2021*, Article 8802691. https://doi.org/10.1155/2021/8802691

OpenStudio. (t.y.). *OpenStudio*. *https://openstudio.net/*

Özen, E. Ş., & Sümengen, Ö. (2022). Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan eğitim yapısı dersliklerinin TS EN 17037 "Binalarda gün ışığı kullanımı" standardı çerçevesinde değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 38*(2).

Özorhon, İ. F. (2002). *Mimari Mekan Kimliğini Belirleyen Yönüyle Doğal Işık*. [Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

Plörer, D., Hammes, S., Hauer, M., van Karsbergen, V., & Pfluger, R. (2021). Control strategies for daylight and artificial lighting in office buildings—A bibliometrically assisted review. *Energies, 14*(13), 3852. https://doi.org/10.3390/en14133852

Qingsong, M., & Fukuda, H. (2016). Parametric office building for daylight and energy analysis in the early design stages. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 216*, 818–828. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.079

Quirk, V. (2012, Aralık 7). *A Brief History of BIM*. https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim

Roderick, Y., McEwan, D., Wheatley, C., & Alonso, C. (2010, Ekim 25). *3. BREEAM LEED ve GREEN STAR programlarının karşılaştırılmasına dair bir makalenin Türkçe çevirisi. Sürdürülebilir Mimarlık*. http://surdurulebilirmimarlik.blogspot.com/2010/10/3breeam-leed-ve-green-star.html

Roudsari, M. S., & Pak, M. (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, *Chambéry, France, August 26–28,* 3128-3135

Shahbazi, Y., Heidari, M., & Haghparast, F. (2019). An early-stage design optimization for office buildings' facade providing high-energy performance and daylight. *Indoor Built Environ. 28* (10), 1350–1367.

Sinoh, S. S., Ibrahim, Z., Othman, F., & Muhammad, N. L. N. (2020). Review of BIM literature and government initiatives to promote BIM in Malaysia. In *2nd International Conference on Materials Technology and Energy, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *943*, 012057. https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012057

Solemma LLC. (t.y.). *ClimateStudio*. *https://www.solemma.com/climatestudio*

Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). Daylight in buildings and visual comfort evaluation: The advantages and limitations. *Journal of Daylighting, 8*(2), 181–203. https://doi.org/10.15627/jd.2021.16

Tatar, E. (2013). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Çalışma Mekanlarında Gün Işığı Kullanımı İçin Bir Öneri. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science, 17*(1), 147–162.

Tezel, D. (2007). *Mekan tasarımında doğal ışığın etkileri.* [Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü]

Thomson, G. D., Davis, R. G., Fernandes, L., & Wang, T. (2021). Achieving integrated daylighting and electric lighting systems: Current state of the art and needed research. *Energies, 14*(13), 3833. https://doi.org/10.3390/en14133833

Thursfield, P., & vd Ven, R. (2022). Design principles for natural lighting. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1099*, 012033. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1099/1/012033

Trzęski, A., & Rucińska, J. (2025). Integration of daylight in building design as a way to improve the energy efficiency of buildings. *Energies, 18*(8), 4113. https://doi.org/10.3390/en18084113

Uludağ Üniversitesi. (2023). *Mimarlık fakültesi tanıtım broşürü 2023*. https://uludag.edu.tr/dosyalar/oidb/mimarlik_fakultesi_tanitim_brosuru_2023.pdf

Ulusan, N. G., & Fitöz, İ. (2017). Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Aydınlatma: İstanbul

University of the Built Environment. (2025, Ocak 24). *What is BIM (and how does it work)?* https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/building-information-modelling/