T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK BİLİM DALI

ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ

DOKTORA TEZİ

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

İstanbul
Temmuz-2025

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK BİLİM DALI

ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ

DOKTORA TEZİ

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Enes YAŞA
Eş Danışman
Dr. Öğr. Görevlisi Erdem KÖYMEN

İstanbul
Temmuz-2025

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Enes YAŞA	(İmza)
Üye	Doç. Dr. Serhat ANIKTAR	(İmza)
Üye	Doç. Dr. Togan TONG	(İmza)
Üye	Dr. Hakan İMERT	(İmza)
Üye	Dr. Ayşıl COŞKUNER PAMUK	(İmza)

Onay

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Erhan İÇENER

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Doktora tezi olarak hazırladığım **"ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ"** adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

ÖN SÖZ

Bu çalışma, mimari tasarım sürecinin erken aşamasında doğal aydınlatma performansını artırmaya yönelik geliştirilen parametrik bir karar destek modelini kapsamaktadır. Saydam yüzeylerin yerleşimi, cephe yönelimi ve iç mekân yansıtıcılık özellikleri gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan bu model, tasarımcılara erken tasarım aşamasında gerçek zamanlı geri bildirim sunarak bilinçli ve nitelikli kararlar almalarına katkı sunmayı amaçlamaktadır. Akademik bir araştırma olmanın ötesinde, bu tez aynı zamanda bir yolculuğun, çabanın ve birçok kıymetli insanın desteğinin ürünüdür.

Bu süreçte danışmanlığımı üstlenen Doç. Dr. Enes Yaşa'ya, her aşamada gösterdiği rehberlik, sabır ve yapıcı yaklaşımı için içtenlikle teşekkür ederim. Danışmanlığımı paylaşan ve bu süreci benim için yalnızca mümkün değil, aynı zamanda anlamlı kılan çok değerli hocam Dr. Erdem Köymen'e hayat boyu minnettar olacağım. Akademik tecrübesi, özgün bakış açısı ve mimarlık düşüncesine kattığı derinlik ile yalnızca bu tezin değil, mesleki bakışımın da şekillenmesinde büyük rol oynamıştır. Zor görünen pek çok adımda onun yönlendirmesi ve desteği sayesinde ilerledim. Zorun kolaylaşmasında en büyük pay, onun ışığından nasiplenmiş olmamdadır.

Tez sürecinde yapıcı katkılarıyla çalışmama değer katan kıymetli jüri üyelerim Doç. Dr. Togan Tong ve Dr. Hakan İmert'e içten teşekkür ederim. Değerlendirmeleri ve yönlendirmeleri, tezimin gelişim sürecine önemli katkılar sağlamıştır.

Bu yolculuğun en güçlü dayanaklarından biri de kuşkusuz ailemdir. Varlığıyla bana yalnızca destek değil, aynı zamanda huzur ve güç kaynağı olan sevgili eşim Ümit Koçak'a kalbimin en derin yerinden teşekkür ederim. Bu zorlu süreçte yalnızca yanımda olmakla kalmayıp, yükümü paylaştı, sessizce bana omuz verdi ve inancını hiç eksiltmedi. Beni ben yapan her şeyde payı olan bir hayat arkadaşına sahip olmak, bu çalışmayı mümkün kılan en büyük şanstı.

Canım kızım, kalbim, Meyra Nisa'ya... Henüz küçücük yaşında, farkında bile olmadan bana sabrı, yeniden başlamayı ve koşulsuz sevgiyi öğrettin. Gülüşünle yorgunluklarımı unutturdun, varlığınla bu süreci sadece kolay değil; anlamlı, umut dolu ve sevgiyle hatırlanacak bir döneme dönüştürdün. Bu tezi yazarken seni ihmal ettiğim anlar için mahcubum, ama senin sevginle her şey tamamlandı. İyi ki senin annenim.

Eğitimin, emeğin ve azmin değerini bana küçük yaşlardan itibaren aşılayan sevgili annem Hava Yalçın'a ve babam Adem Yalçın'a, hayat boyu süren destekleri ve duaları için sonsuz teşekkür ederim. Her koşulda yanımda olan ve yol arkadaşlıklarıyla gücümü artıran kardeşlerim Nur Sevban Seher Yalçın ile Muhammed Ensar Yalçın'a da gönülden teşekkür ediyorum.

Bu tez, yalnızca bir akademik çalışmanın değil; bana eşlik eden tüm kıymetli insanların emeğiyle şekillenmiş ortak bir yolculuğun ifadesidir.

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

ÖZET

ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

Doktora, Mimarlık

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Enes YAŞA

Eş Danışman: Dr. Erdem KÖYMEN

Temmuz, 2025 - 168 +XVI Sayfa

Bu tez, mimari erken tasarım aşamasında alınan kararların iç mekân günışığı performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla, iklim verisine dayalı günışığı metriklerini analiz edebilen ve LEED v4.1 Günışığı Kredisi doğrultusunda değerlendirme yaparak yönlendirici öneriler sunabilen etkileşimli bir karar destek modeli geliştirmektedir. Rhino–Grasshopper3D platformu üzerinde yapılandırılan modelde, tasarımcıdan üç boyutlu olarak tanımlanmış bir bina girdisi alınmakta; kullanıcı bu modeli sisteme ekledikten sonra "Çözümleme" butonu aracılığıyla işlemi başlatmaktadır. Bu aşamada model, binanın cephe ve planlarını ayrıştırmakta ve analiz için gerekli geometrik verileri üretmektedir. Ardından cam türünün görünür ışık geçirgenliği (IGÇ) değeri, binanın yönlenmesi, iç yüzeylerin yansıtıcılık katsayıları, ilgili katın zeminden yüksekliği ve iklime ait .epw dosyası seçilerek simülasyon süreci başlatılmaktadır. Honeybee eklentisi ile gerçekleştirilen analizlerde sDA300/50%, ASE1000/250h ve UDI (100–2000 lx aralığında kullanışlı aydınlatma) metrikleri hesaplanmakta; Human UI arayüzü aracılığıyla tasarımcıya hem görsel hem de sayısal geri bildirim sunulmaktadır.

Modelin ilk aşamasında oluşturulan varyasyon temelli veri tabanı, ikinci aşamada kullanıcı seçimlerine bağlı olarak yapılan analizlerin yorumlanmasında referans işlevi görmekte; elde edilen sonuçlar LEED v4.1 Günışığı Kredisi puanlama sistemi ile

eşleştirilerek değerlendirilmektedir. Performans kriterleri doğrultusunda yeterli puan alınamayan durumlarda model, sDA ve ASE metriklerine dayalı olarak tanımlanan sekiz farklı senaryo çerçevesinde öneriler sunmaktadır. Bu öneriler, cam türü, bina yönlenmesi, iç yüzeylerin (duvar, zemin ve tavan) yansıtıcılık değerleri, saydam yüzeylerin alanı ve konumu ile gölgeleme elemanlarına ilişkin olup, model tarafından otomatik olarak üretilmekte, tasarımcı tarafından ise manuel olarak uygulanmaktadır. Örneğin, saydam yüzey alanının yetersiz olduğu senaryolarda cam alanının artırılması ve açıklıkların tavan kotuna yakın konumlandırılması önerilmekte; böylece ışığın iç mekâna daha homojen biçimde dağılması hedeflenmektedir. Ayrıca, bu parametre değişiklikleriyle yeterli iyileştirme sağlanamadığında, kullanıcıya bina formu, iç mekân derinliği, kat yüksekliği ve hacim oranları gibi temel tasarım kararlarını yeniden gözden geçirmesi gerektiği bilgisi sunulmaktadır.

Geliştirilen model, yalnızca teknik analiz çıktıları üreten bir araç olmanın ötesinde; tasarımcıya erken tasarım sürecinde yönlendirici öneriler sağlayan, sezgisel kararları teknik doğrulukla destekleyen, görsel ve sayısal geri bildirim sunan, kullanıcı dostu ve hedef odaklı bir karar destek sistemi olarak çalışmaktadır. Bu yönüyle model, mimari tasarımın erken aşamalarında performans odaklı tasarım anlayışını güçlendirmekte ve sürdürülebilir yapı üretimine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Erken Tasarım Aşaması, Günışığı Performansı, Mimari Cephe Tasarımı, LEED v4.1, sDA–ASE–UDI, Parametrik Modelleme

ABSTRACT

A DECISION SUPPORT MODEL FOR EVALUATION BUILDING DAYLIGHT PERFORMANCE IN THE EARLY DESIGN STAGE

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

Ph. D. Architecture

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Enes YASA

Co-Supervisor: Dr. Erdem KOYMEN

July, 2025 - 168 +XVI Pages

This thesis develops an interactive decision support model that analyzes daylighting metrics based on climate data to reveal the impact of decisions made during the early architectural design phase on interior daylighting performance and provides guiding recommendations based on the LEED v4.1 Daylight Credit assessment. The model, built on the Rhi-no–Grasshopper3D platform, receives a three-dimensional building input from the designer. After adding this model to the system, the user initiates the process via the "Analysis" button. In this phase, the model parses the building's façade and plans and generates the necessary geometric data for the analysis. The simulation process is then initiated by selecting the visible light transmittance (VLT) value of the glass type, the building's orientation, the reflectance coefficients of the interior surfaces, the height of the relevant floor above ground, and the .epw file for the climate. Analyses performed with the Honeybee plugin calculate sDA300/50%, ASE1000/250h, and UDI (useful illuminance in the range of 100–2000 lx). Both visual and numerical feedback are provided to the designer through the Human UI interface.

The variation-based database created in the first phase of the model serves as a reference for interpreting the analyses based on user selections in the second phase. The results are evaluated by comparing them with the LEED v4.1 Daylight Credit

scoring system. In cases where sufficient points are not achieved according to the performance criteria, the model offers recommendations within the framework of eight different scenarios defined based on sDA and ASE metrics. These recommendations relate to glazing type, building orientation, reflectance values of interior surfaces (walls, floors, and ceilings), the area and location of transparent surfaces, and shading elements. These recommendations are automatically generated by the model and manually implemented by the designer. For example, in scenarios where transparent surface area is insufficient, increasing the glazing area and positioning openings closer to the ceiling elevation are recommended, aiming to distribute light more homogeneously throughout the interior. Furthermore, if these parameter changes fail to provide sufficient improvement, the user is informed that fundamental design decisions such as building form, interior depth, floor height, and volume ratios need to be reconsidered.

The developed model goes beyond simply producing technical analysis output; it functions as a user-friendly and goal-oriented decision support system that provides guiding suggestions to the designer during the early design process, supports intuitive decisions with technical accuracy, and provides visual and numerical feedback. In this respect, the model strengthens the performance-oriented design approach in the early stages of architectural design and contributes to the production of sustainable buildings.

Keywords: Early Design Stage, Daylight Performance, Architectural Facade Design, LEED v4.1, sDA–ASE–UDI, Parametric Modelling.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI ..... **i**

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ ..... **ii**

ÖN SÖZ ..... **iii**

ÖZET ..... **v**

ABSTRACT ..... **vii**

İÇİNDEKİLER ..... **ixv**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **xii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xiv**

KISALTMALAR LİSTESİ ..... **ivx**

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ **1**

1.1 Problemin Tanımı 4

1.2 Amaç 5

1.3 Kapsam 6

1.4 Yöntem 12

İKİNCİ BÖLÜM

MİMARİ TASARIMIN ERKEN AŞAMASINDA BİNALARDA DOĞAL AYDINLATMA **17**

2.1 Tasarım Süreci 19

2.2 Erken Tasarım Aşaması 24

2.3 Binalarda Günışığını Etkileyen Faktörler 30

2.3.1 Doğal (Kontrol Edilemeyen) Faktörler 33

2.3.1.1 Coğrafi Konum 34

2.3.1.2 İklim Koşulları 35

2.3.1.3 Binanın Çevresi ile İlişkisi 36

2.3.2 Tasarım ile Kontrol Edilebilen Faktörler 37

2.3.2.1 Binanın Geometrisi 38
2.3.2.2 Binanın Yönelimi 38
2.3.2.3 Saydam Yüzeylerin Konumu ve Özellikleri 40
2.3.2.4 Hacim Boyutları 42
2.3.2.5 İç Yüzeylerin Yansıtıcılık Özellikleri 43
2.3.2.6 Gölgeleme Elemanı ve Güneş Denetim Sistemleri 45

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GÜNIŞIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ VE DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ 46

3.1 Günışığı Analiz Yöntemleri 47
3.1.1 Statik Günışığı Modellemesi 47
3.1.2 Dinamik Günışığı Modellemesi 47
3.1.3 İklim Tabanlı Günışığı Modellemesi 48
3.2 Günışığı Simülasyon Programları 50
3.3 Günışığı Simülasyonu Çıktı Parametreleri 57
3.3.1 Günışığı Performansı Parametreleri 57
3.3.1.1 Günışığı Faktörü (DF) 58
3.3.1.2 Günışığı Otonomisi (DA) 59
3.3.1.3 Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI) 59
3.3.1.4 Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) 61
3.3.2 Parlama ve Görsel Rahatsızlık Parametreleri 61
3.3.2.1 Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) 62
3.3.2.2 Günışığı Parlama İndeksi (DGI) 63
3.3.2.3 Günışığı Parlama Olasılığı (DGP) 64
3.4 Günışığı Optimizasyonu ve Karar Destek Sistemleri 64
3.5 Binalarda Günışığı Değerlendirme Sistemleri 75
3.6 LEED v4.1 Sertifikasyon Sistemi Kapsamında Günışığı Performansı 79
3.6.1 Görüş Kalitesi 79
3.6.2 Günışığı Kredisi 82

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI ERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ ... 86

4.1 Tasarım Kararlarına Yönelik Öneri Kural Tabanının Oluşturulması 88
4.1.1 Tanımlanan Karma Açılı Bina 93
4.1.2 Tanımlanan Dik Açılı Bina 94

4.1.3 Günışığı Performans Analizi ve Tasarım İyileştirme Kararları 96
4.1.4 Karma Açılı Yapıya Ait Performans Sonuçları 99
4.1.5 Dik Açılı Binaya Ait Performans Sonuçları..... 102
4.2 Önerilerin Sunumu ve Tasarımcı Değerlendirmesi..... 105
4.2.1 Model Kapsamındaki Kabuller ve Sınırlılıklar 107
4.2.2 Modelin Parametrik Yapısı: Sabitler, Girdiler ve Çıktılar 110
4.2.3 Modelin Geliştirilmesi ve Karar Destek Yapısının Kurulması 113
4.3 Tasarım Senaryolarının Model Tabanlı Analizi..... 121
4.3.1 L Form Binanın Günışığı Performansı ve İyileştirme Süreci 125
4.3.2 Dikdörtgen Form Binanın Günışığı Performansı ve İyileştirme Süreci.... 131

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 136

KAYNAKÇA 145

EKLER..... 158

ÖZGEÇMİŞ..... 170

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Tasarımcının Seçebileceği Cam Türleri ve Işık Geçirgenlik Değerleri.... 10

Tablo 1.2: Tasarımcının Seçebileceği Malzemelerin Yansıtıcılık Değerleri 10

Tablo 1.3: Günışığı Performansı ve LEED v4.1 Puanlamasına Göre Tanımlanan Durumların Sınıflandırılması 13

Tablo 1.4: Durum 6 – Koşul–Öneri Eşleştirme (ASE > 10; 55 ≤ sDA < 75) 15

Tablo 2.1: Günışığı Performansına Etki Eden Parametrelerin Sınıflandırılması..... 32

Tablo 2.2: Yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları (TS EN 12464-1:2021) 45

Tablo 3.1: Günışığı Simülasyon Programlarının Karşılaştırılması..... 53

Tablo 3.2: Yararlı Günışığı Aydınlatması Değerleri..... 60

Tablo 3.3: Günışığı Değerlendirme Sistemlerinin Karşılaştırması..... 76

Tablo 3.4: LEED V4 ve IES İçin sDA Değerlendirmesi 82

Tablo 3.5: IES'ye Göre Görsel Konfor Düzeyleri..... 83

Tablo 3.6: sDA ve ASE özellikleri 84

Tablo 3.7. sDA ve ASE' yi Etkileyen Parametreler 85

Tablo 4.1: Öneri Üretim Sürecinde Kullanılan Sabit Parametreler ve Tanımlı Değer Aralıkları 92

Tablo 4.2: Karma Açılı L form Binaya Ait Cephe Tasarım Alternatifleri..... 93

Tablo 4.3: Kare Form Yapıya Ait Cephe Tasarım Alternatifleri 95

Tablo 4.4: Geliştirilen Modelin Kapsamındaki Kabuller ve Sınırlılıklar 108

Tablo 4.5: Modelde Tasarımcı Tarafından Seçilebilir Değerler 113

Tablo 4.6: Modelde Sunulan Bilgilendirme..... 122

Tablo 4.7: Modelin Uygulama Aşamaları..... 124

Tablo 4.8: Engel Yüksekliğinin Günışığına Etkisi 137

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Asimow'un İkonik Tasarım Modeli Temsili 21

Şekil 2.2: RIBA İş Planı Modeli 22

Şekil 2.3: Lawson'a Göre Tasarım Süreci Aşamaları 23

Şekil 2.4: Erken Tasarım Evresi Modeli 25

Şekil 2.5: ASHRAE 209 Döngüsünde Erken Tasarım Aşamasının Yeri 28

Şekil 2.6: Tasarım Sürecinde Tasarım Değişikliği ve Maliyet Etkinlik Grafiği 29

Şekil 2.7: Günışığı Bileşenleri 30

Şekil 2.8: Paris, Roma ve Oslo Günışığı Performansı Karşılaştırması Grafiği 34

Şekil 2.9. Farklı Mesafelerdeki Engel Yapıların Günışığı Erişimine Olan Etkisi 37

Şekil 2.10: Güneşin Yıl İçindeki Konumuna Bağlı Olarak Yapı Yönlendirmesinin Günışığı Alımına Etkisi 39

Şekil 2.11: Işığın Yüzeyle Etkileşimi 43

Şekil 4.1: Model Sürecinde Kullanılan Yazılım Araçları ve İşlevsel Rolleri 87

Şekil 4.2: Geliştirilen Karar Destek Modelinin Akış Şeması 88

Şekil 4.3: Tasarım Kararlarına Yönelik Öneri Kural Tabanının Oluşturulması 90

Şekil 4.4: Karma Açılı Binaya Ait Varyasyonların Filtrelenmeden Görünümü 98

Şekil 4.5: Dik Açılı Binaya Ait Varyasyonların Filtrelenmeden Görünümü 98

Şekil 4.6: Karma Açılı Binada 0 Puan Alan Varyasyonların Filtelenmesi 99

Şekil 4.7: Karma Açılı Binada 1 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi 100

Şekil 4.8: Karma Açılı Binada 2 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi 100

Şekil 4.9: Karma Açılı Binada 3 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi 101

Şekil 4.10: Dik Açılı Binada 0 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi 102

Şekil 4.11: Dik Açılı Binada 1 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi..... 103

Şekil 4.12: Dik Açılı Binada 2 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi..... 104

Şekil 4.13: Dik Açılı Binada 3 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi..... 104

Şekil 4.14: Model Önerilerinin Sunumu ve Tasarımcı Değerlendirme Şeması..... 106

Şekil 4.15: Modelin Grasshopper3D Üzerinde Görünümü..... 115

Şekil 4.16: Human UI Kullanıcı Arayüzündeki Tüm Sekmelerin Görünümü..... 117

Şekil 4.17: Colibri ile geliştirilen arka plan modülünden görünüm..... 119

Şekil 4.18: Model Üzerinde Durum Tanımlaması ve Önerilerin Hazırlanması İçin Geliştirilen Phyton Kodlamasından Bir Görünüm..... 121

Şekil 4.19: Kullanıcı Girdilerinin Tanımlanması ve Analizi: L Form..... 128

Şekil 4.20: LEED V4.1 Değerlendirmesi ve Öneri Sunumu: L Form..... 129

Şekil 4.21: L Form için Yüzey Yansıtıcılık Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi..... 130

Şekil 4.22: L Form için Cephe Önerisinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi . 131

Şekil 4.23: L Form Cam Türü Önerisinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi .. 132

Şekil 4.24: LEED V4.1 Değerlendirmesi ve Öneri Sunulması: Dikdörtgen Form.. 134

Şekil 4.25: Dikdörtgen Form İçin Yansıtıcılık Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi..... 135

Şekil 4.26: Dikdörtgen Form İçin Cephe Tasarım Önerisinin Değerlendirilmesi ve Tekrar Analizi..... 136

KISALTMALAR LİSTESİ

sDA	: Mekansal Günışığı Otonomisi
ASE	: Yıllık Güneş Işığı Alımı
UDI	: Faydalı Günışığı Aydınlığı
DA	: Günışığı Faktörü
DF	: Günışığı Faktörü
DGI	: Günışığı Parlama İndeksi
DGP	: Günışığı Parlama Olasılığı
IGÇ	: Camın Görünür Işık Geçirgenliği
CKÇ	: Cam Kirlilik Düzeltme Çarpanı
IES	: Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu
LEED	: Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
CBDM	: İklim Tabanlı Günışığı Modellemesi
K	: Kuzey
KD	: Kuzeydoğu
D	: Doğu
GD	: Güneydoğu
G	: Güney
GB	: Güneybatı
B	: Batı
KB	: Kuzeybatı

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Günışığı, mekanlardaki doğal aydınlatma performansını, görsel konforu ve iç mekan ışık kalitesini artırmada tasarımcıların en etkili şekilde yararlanabileceği doğal bir kaynaktır. Günışığından yararlanmak için mimarların mekanların işlevini, kullanıcıların ihtiyaçlarını ve çevresel koşulları göz önünde bulundurmaları gerekmektedir (Abdelhamid ve ark. 2023). Günışığı, yalnızca enerji tasarrufu sağlayan bir doğal kaynak değil, aynı zamanda kullanıcıların görsel ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılayarak refahı artıran kritik bir tasarım unsurudur (Lam, 1977). Doğal ışık, insanların stres seviyelerini azaltmakta, depresyon ve anksiyete belirtilerini hafifletmekte, uyku düzenini desteklemekte ve vücuttaki serotonin seviyelerini artırırken melatonin seviyelerini düşürmektedir (Zolfaghari ve Jones, 2022). Doğal aydınlatma, iç mekânda kullanıcıya görsel ve psikolojik olarak birçok fayda sağlamaktadır. Örneğin, doğal ışık, renklerin gerçekçi bir şekilde görünmesini sağlayarak mimari öğelerin etkisini artırmaktadır. Ayrıca, doğal aydınlatma, vurgulanması gereken mekanların belirlenmesine yardımcı olmakta ve mekanın atmosferini, hissini ve estetiğini etkilemektedir.

Doğru tasarım ve işlevsellik için doğal aydınlatmanın mimarlıkta büyük önemi vardır. Ancak, birçok tasarımcı, erken tasarım aşamasında doğal aydınlatmanın avantajlarının farkında olmayarak, görsel etkiye odaklanmaktadır. Erken tasarım aşamasında, genellikle yapının genel tasarımı ve işlevselliği üzerinde yoğunlaşılmakta (Lin ve Tsay, 2021) ve bu aşamada bina konumuyla ilişkili iklimsel faktörler dikkate alınmamaktadır (Alagöz, 2020). Çevresel faktörlerin dikkate alınmadığı durumlarda, çoğu zaman bina kullanıcılarının konforunu ve performansını olumsu etkileyen yanlış aydınlatma tasarımı ortaya çıkmaktadır (Kazanasmaz ve ark. 2016). Bununla birlikte, mimarların doğal aydınlatmayı tasarımda gözardı etmesine sebep olan başka faktörler de vardır. Bunlardan biri, doğal aydınlatmayı kontrol etmek için kullanılan aydınlatma programlarının karmaşıklığıdır (Vaidhyanathan ve Wang 2021; Mardaljevic, 2015)

Bazı tasarımcılar bu programları anlamakta zorlanmakta ve bunun sonucunda doğal aydınlatmanın önemi ve tasarım üzerindeki etkisi azalmaktadır (Ayoub, 2020; Arpacıoğlu 2020) Ayrıca erken tasarım sürecini destekleyen az araç olması ve çıktılarının uzman yorumu gerektirmesi (Tsay ve ark. 2022; Ochoa ve ark. 2012), kod yazmayı gerektiren programların tasarımcıya zor gelmesi (Alagöz, 2020) ve simülasyon programlarında sonuç elde etmek için fazla zaman harcanması da (Lin ve Tsay 2021; Kider ve ark. 2019, Mashaly ve ark. 2021) bütün mimarlar tarafından simülasyon programları kullanılmamasının nedenleri arasındadır. Erken tasarım aşamasında doğal aydınlatmanın sağladığı avantajların yeterince anlaşılamaması ve göz ardı edilmesi, binanın performansını olumsuz etkilemektedir. Erken tasarım aşaması, genel bina geometrisi ve cephe elemanlarının belirlendiği en kritik evre olduğundan, bu aşamada günışığı performansının dikkate alınması tasarım kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır (Gagne, 2011). Doğal aydınlatmanın erken tasarım aşamasında dikkate alınması, yapıların enerji verimliliğinin artırılması, insan sağlığının korunması ve mimari estetiğin iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Buna karşılık, doğal aydınlatmanın yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan yapay aydınlatma sistemleri enerji tüketimini artırmakta, sıcaklık artışına yol açmakta ve yanlış yerleştirilen yapay ışık kaynakları göz sağlığını olumsuz etkilemektedir (Reinhart ve Walkenhorst, 2001; Ashrafian ve Moazzen, 2019). Bu nedenle, doğal aydınlatma tasarımı üzerine kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir (Zolfaghari ve Jones, 2022).

Bu noktada, bina kabuğu tasarımı günışığı performansının belirlenmesinde anahtar bir rol oynamaktadır. Doğal aydınlatmanın sağlanmasında en temel unsur, yapının sahip olduğu saydam yüzeylerdir. Opak yüzeyler doğal ışığın iç mekâna girişini sınırlandırarak kontrol sağlarken, saydam yüzeyler ışığın iç mekâna nüfuz etmesini kolaylaştırmaktadır. Dolayısıyla, doğal aydınlatmayı optimize edebilmek için opak ve saydam yüzeylerin dengeli bir şekilde tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Yapı kabuğunu oluşturan opak yüzeyler genellikle duvarlardır ve bu yüzeyler bina dışındaki çevresel etkilerden kaynaklanan ısı kayıp ve kazançlara maruz kalmaktadır. Bu ısı kayıp ve kazançları, binanın konumu, yönü, yalıtım düzeyi ve kullanılan malzemelerin özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Saydam yüzeyler

genellikle pencereler, cam duvarlar veya cam tavanlar şeklinde yapısal bileşenler olarak kullanılmaktadır ve iç mekanları dış ortamla bağlantılı hale getirerek doğal ışığı, manzarayı ve hava sirkülasyonunu iç mekana aktarmaktadır (Ertürk 2021; Özer Yaman, 2021). Bina kabuğunun tasarımı, opak ve saydam yüzeylerin doğru kombinasyonunu içermelidir. Saydam yüzeylerin boyutu konumu, açılış yönü günışığının mekana nüfus etme miktarını ve dağılımını belirlemektedir (Kazanasmaz ve ark. 2016). Yapı yönelimi ve opak saydam yüzey oranı dahil olmak üzere bina tasarım sürecindeki erken aşama kararları, sonraki tasarım adımlarında bina performansını büyük ölçüde etkilemektedir (Mostafavi ve ark. 2022).

Ancak bu kararların doğru şekilde verilebilmesi için, performansa dayalı öngörülerin tasarım sürecine entegre edilebilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, günışığı performansının değerlendirilebilmesi için yalnızca niteliksel gözlemlere değil, nicel simülasyonlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle iklim tabanlı simülasyon yöntemleri, yıl boyunca farklı zaman dilimlerinde yapılan hesaplamalarla ışık düzeyini öngörebilmekte; ancak bu analizler yüksek işlem gücü ve zaman gerektirmektedir (Kider ve ark., 2019). Bu da erken tasarım gibi hızlı karar süreçlerinin yaşandığı evrelerde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Dolayısıyla, tasarımcıya daha hızlı, kullanıcı dostu ve yorumlanabilir çıktı sunan yeni nesil değerlendirme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu doğrultuda, erken tasarım aşamasında günışığı performansının nicel verilerle değerlendirilmesi, yalnızca enerji verimliliği değil; aynı zamanda kullanıcı konforu ve sürdürülebilirlik açısından da kritik bir gerekliliktir. Açıklık yerleşimi, cam geçirgenliği, iç yüzey yansıtıcılığı ve bina yönelimi gibi temel tasarım kararları, iç mekâna ulaşan doğal ışığın düzeyini ve mekânsal dağılımını belirleyerek yapı performansını doğrudan etkilemektedir. Bu tez kapsamında, söz konusu kararların erken aşamada sistematik biçimde analiz edilebilmesini sağlayan, kullanıcı etkileşimine açık ve LEED v4.1 Günışığı Kredisiyle (Daylight Credit) uyumlu bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, bu modele temel oluşturan araştırma problemi, amaç, kapsam ve izlenen yöntem ayrıntılı olarak ortaya konmuştur.

1.1 Problemin Tanımı

Günışığı, yalnızca doğal bir aydınlatma kaynağı değil; enerji verimliliğini artıran, kullanıcı sağlığını destekleyen ve mekânsal deneyimi iyileştiren çok yönlü bir tasarım aracıdır (Gagne, 2011). Doğal ışığın biyolojik ritmi düzenlediği, ruh hâlini iyileştirdiği ve üretkenliği artırdığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (Zolfaghari ve Jones, 2022; Rashid ve Zimring, 2008). Yapıya kontrollü biçimde entegre edilen günışığı, görsel konforu artırmakta ve mekân estetiğine katkı sağlamaktadır (Özkum, 2011). Ayrıca yapay aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji tüketimini düşürmekte ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır (Acosta ve ark.., 2016; Ngarambe ve ark.., 2022).

Buna rağmen, erken tasarım kararları çoğunlukla mekân organizasyonu ve işlevsellik üzerine odaklanmakta; yönlenme, açıklık yerleşimi ve iklimsel faktörler yeterince dikkate alınmamaktadır (Lin & Tsay, 2021; Alagöz, 2020). Oysa bu tür değişkenler, doğal aydınlatma performansı açısından belirleyicidir ve göz ardı edilmeleri durumunda iç mekân konforu olumsuz etkilenmektedir (Kazanasmaz et al., 2016).

Tasarımcıların bu süreci göz ardı etmelerinin temelinde, günışığı performansının değerlendirilmesine yönelik araçların karmaşık, zaman alıcı ve uzmanlık gerektiren yapısı yatmaktadır (Mardaljevic, 2015; Vaidhyanathan ve Wang, 2021). Simülasyon araçlarının çoğu, parametrik varyasyonlara dayalı çok sayıda giriş gerektirmekte ve çıktılar kullanıcı dostu biçimde sunulmamaktadır (Ochoa ve ark.., 2012; Tsay ve ark.., 2022). Ayrıca, karar vermeyi destekleyecek geri bildirim sistemlerinin sınırlı olması ve mevcut arayüzlerin sezgisel olmayan yapısı nedeniyle tasarım sürecinde bu tür analizler genellikle ikinci plana atılmaktadır (Ayoub, 2019; Arpacıoğlu, 2020).

Tüm bu gerekçeler doğrultusunda, bu doktora tezinde mimarların erken tasarım aşamasında karar almasını kolaylaştıracak, kullanıcı dostu arayüzle desteklenen ve görsel geri bildirim sağlayan bir gün ışığı değerlendirme modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu model, hem teknik doğruluğu yüksek simülasyon verileri üretmekte hem de bu verileri karşılaştırmalı analizler yoluyla değerlendirerek kullanıcıya yönlendirici öneriler sunabilmektedir. Böylece, tasarım sürecine entegre edilebilen, kullanıcı etkileşimine açık ve LEED v4.1 gibi güncel standartlarla uyumlu bir karar destek yaklaşımı ortaya konmaktadır.

1.2 Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, mimari erken tasarım sürecinde alınan; açıklıkların cephe üzerindeki konumu, boyutu ve dağılım geometrisi, cam geçirgenliği, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme gibi kararların iç mekân günışığı performansı üzerindeki etkilerini sistematik biçimde analiz edebilen; tasarımcının sınırlı girişlerle tanımladığı bir yapıyı değerlendirerek performans geri bildirimi sunan bir karar destek modeli geliştirmektir. Geliştirilen model, Rhino–Grasshopper ortamında çalışmakta olup, farklı 3B modelleme yazılımlarında (Archicad, SketchUp, Revit vb.) oluşturulan tasarımların Rhino'ya aktarılmasıyla tanımlanan yapılar üzerinde günışığı simülasyonları gerçekleştirmektedir. Bu süreçte, Honeybee eklentisi aracılığıyla iklim verisi (.epw) kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Sistem, sDA, ASE ve UDI değerlerini esas alarak LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında puanlama yapmakta; 3 puanın altında kalan senaryolarda kullanıcıya yönlenme, açıklık oranı, cam türü ve iç yüzey malzemesi gibi değişkenlere bağlı iyileştirme önerileri sunmaktadır.

Modelin önemli bir özelliği, kullanıcıdan yalnızca sınırlı sayıda parametre girişi alarak analiz sürecini başlatması ve simülasyon verisini anlamlı çıktılara dönüştürebilmesidir. Analiz sonucuna göre sunulan öneriler; saydam yüzey konumu ve boyutu, cam malzemesinin görünür ışık geçirgenliği, cephe yönlenmesi, iç yüzey yansıtıcılığı ve gerektiğinde dış gölgeleme elemanlarının kullanımı gibi temel tasarım girdilerine dayanmaktadır. Bu sayede tasarımcı, yalnızca plan düzeyinde tanımladığı yapıyı analiz ederek LEED değerlendirmesine uygunluk durumunu hızlı biçimde görebilmekte; sistemden aldığı öneriler doğrultusunda isterse tasarımı yeniden düzenleyebilmektedir. Model, tanımlama, analiz, öneri ve geri bildirim aşamalarından oluşan dört aşamalı bir yapıya sahiptir. Geliştirilen sistem, eğrisel olmayan plan geometrisine ve düz dış cephe çizgilerine sahip, ikincil kabuk ya da hareketli cephe elemanları içermeyen tek kabuklu yapılar üzerinde uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Analiz, kullanıcı tarafından seçilen herhangi bir kat düzeyinde gerçekleştirilmekte; analiz edilecek katın yüksekliği ve yerden elevasyonu kullanıcı girdi parametresi olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışma, günışığı performansını yalnızca nicel metrikler üzerinden değerlendirmekle kalmaz; bu metrikleri etkileyen tasarım kararlarıyla doğrudan ilişkilendirerek, kullanıcıya tasarıma yönelik geri bildirimler sunmaktadır. Mevcut simülasyon araçları çoğunlukla veri üretmeye odaklanırken, bu çalışma veriyi yapılandırarak karar sürecine doğrudan katkı sağlayan bir mekanizma sunmaktadır. Bu yönüyle model, erken aşama mimari kararların günışığı performansı üzerindeki etkilerini görünür ve değerlendirilebilir hâle getirerek tasarım sürecine bilgi temelli bir yön kazandırmayı amaçlamaktadır.

Bu doğrultuda çalışma, aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

- Açıklıkların cephe üzerindeki konumu, boyutu ve dağılım geometrisi, iç mekânda günışığı performansını (sDA, ASE, UDI) nasıl ve ne düzeyde etkilemektedir?
- Cam türünün görünür ışık geçirgenlik ve iç yüzey yansıtıcılık değerleri gibi malzeme özellikleri, günışığının mekân içindeki dağılımını ne ölçüde değiştirmektedir?
- Yapının yönlenmesi, cephe açıklıklarıyla birlikte değerlendirildiğinde, günışığı performansında nasıl bir farklılaşma ortaya çıkmaktadır?
- Geliştirilen karar destek modeli, yeterli puan alınamayan durumlarda ne tür iyileştirme önerileri sunmakta ve bu öneriler, saydam yüzey konumu ve boyutu, cam geçirgenliği, yönlenme, iç yüzey yansıtıcılığı ve gerekli durumlarda dış gölgeleme elemanlarının kullanımı gibi girdilerle nasıl ilişkilendirilmektedir?

Bu araştırma sorularına yanıt aramak amacıyla, modelin uygulanabilir olduğu fiziksel yapı özellikleri, analiz kapsamına alınan mimari parametreler ve değerlendirme senaryoları belirlenmiştir. Bu çerçevede çalışmanın kapsamı aşağıda açıklanmaktadır.

1.3 Kapsam

Bu tez çalışması, açıklık düzenlemeleri, bina yönlenmesi, cam geçirgenliği ve iç mekân yüzey yansıtıcılığının günışığı performansına etkilerini erken tasarım ölçeğinde

analiz eden ve sonuçlara dayalı yönlendirmeler sunan iki aşamalı bir karar destek modeli geliştirmektedir. Model, LEED v4.1 Günışığı Kredi sistemine uygunluk temelinde Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA), Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) değerlerini birlikte değerlendirerek iç mekânlarda günışığı yeterliliği ve aşırı parlama riski açısından tasarımların başarısını analiz etmektedir.

Geliştirilen model iki aşamadan oluşmakta; bu aşamalar bir bütünün parçaları olarak işlev görmektedir. **İlk aşama**, sistematik varyasyon analizlerine dayanarak öneri üretebilecek bilgi altyapısının oluşturulmasını hedeflemekte; **ikinci aşama** ise bu veriye dayalı öneri sistemini tasarımcı etkileşimiyle gerçek zamanlı olarak çalıştıran bir kullanıcı arayüzünü kapsamaktadır. Dolayısıyla, bu iki aşama ayrı modellemeler değil, aynı karar destek sisteminin birbirini tamamlayan bileşenleridir.

İlk Aşama: Tasarım Kararlarına Yönelik Öneri Kural Tabanının Oluşturulması
Tez çalışmasının bu aşamasında, öneri üretebilen bir karar destek sisteminin bilgi altyapısını oluşturmak amacıyla sistematik analizler gerçekleştirilmiştir. Plan düzleminde sabitlenen iki farklı yapı formu – karma açılı L formu ve dik açılı kare form – için alternatif cephe düzenlemeleri tanımlanmış; L formu için 4, kare formu için ise 3 farklı cephe varyasyonu oluşturulmuştur. Bu tercihin temelinde, erken tasarım sürecinde farklı geometrik kurguların günışığı performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirme amacı yatmaktadır.

Karma açılı L form, ışığın farklı yönlerden girişini ve gölge dağılımlarındaki çeşitliliği ortaya koyarken; dik açılı kare form, düzenli cephe yüzeyleri sayesinde ışığın mekâna daha homojen dağılmasını test etme olanağı sunmaktadır. Her iki form kendi içinde değerlendirilmiş, aralarında doğrudan bir karşılaştırma yapılmamış; L form senaryosu için İstanbul iklim verisi (.epw), kare form senaryosu için ise Almanya/Essen iklim verisi kullanılmıştır.

Bu aşamada analiz edilen yapılar; eğrisel olmayan düz plan geometrisine sahip, düşeyde girinti ve çıkıntı içermeyen cephe çizgilerine, yatayda tekrar eden kat planlarına ve tek kabuklu bir yapı tipolojisine sahiptir. Hareketli cephe elemanları, dış gölgeleme sistemleri ve ikincil kabuklar analiz kapsamına dâhil edilmemiştir.

Modelleme sürecinde, yapılı çevre tanımlanmamış, çevresel etkilerden bağımsız olarak konumlandırılmış serbest kütleler üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Cephedeki açıklık oranı, açıklıkların konumu (alt, orta, üst), cephe geometrik düzeni, iç yüzeylerin yansıtıcılığı, cam malzemesinin ışık geçirgenliği (IGÇ) ve yapı yönlenmesi bu aşamada analiz edilen temel parametrelerdir. Bu parametrelerin tüm olası kombinasyonları, Rhino–Grasshopper ortamında çalışan Colibri eklentisi kullanılarak otomatik şekilde üretilmiştir. Her kombinasyon, sekiz farklı yönlenme (Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı) için ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Cam türü parametresi kapsamında aşağıdaki üç malzeme değerlendirilmiştir:

- Temperlenebilir Solar Low-E Cam (IGÇ = %80),
- Normal Çift Cam (IGÇ = %79),
- Renkli Cam (IGÇ = %40).

İç yüzey yansıtıcılığı ise iki ayrı malzeme paketiyle değerlendirilmiştir:

- Yüksek yansıtıcılık paketi;

  Tavan 0.90, duvar 0.80, zemin 0.60,

- Orta-düşük yansıtıcılık paketi;

  Tavan 0.50, duvar 0.70, zemin 0.20.

Bu aşamada elde edilen varyasyonlar, Rhino–Grasshopper ortamında geliştirilen analiz altyapısı ve Honeybee eklentisi aracılığıyla sDA (Mekansal Günışığı Otonomisi), ASE (Yıllık Güneş Işığı Alımı) ve UDI (Faydalı Günışığı Aydınlığı) metrikleriyle değerlendirilmiştir. Tüm analiz sonuçları, Google Drive üzerinden Design Explorer platformuna aktarılmış; burada araştırmacı tarafından filtreleme yapılarak ikinci aşamada tasarımcıya sunulacak önerilerin temeli oluşturulmuştur. Ardından bu veriler Python kodları ile Grasshopper'a entegre edilerek sekiz tipolojiye dayalı bir öneri kural tabanı geliştirilmiştir. Böylece ilk aşama yalnızca performans analizleri üretmekle kalmamış; aynı zamanda, bu analizlere dayalı öneriler geliştiren sistematik bir yapıya dönüştürülmüştür. Bu süreçte tasarımcı modele doğrudan dahil

edilmemiştir.

İkinci Aşama: Kullanıcı Etkileşimli Günışığı Performansı Analizi

Bu aşamada geliştirilen model, tasarımcının erken tasarım sürecinde cephe tasarımı, yönlenme, cam türü ve iç yüzey yansıtıcılığı parametrelerini belirleyerek günışığı performansını değerlendirmesine imkân tanıyan bir karar destek arayüzü sunmaktadır. Model, Rhino–Grasshopper ortamında tasarlanmış olup, Human UI arayüzü üzerinden kullanıcı etkileşimine olanak sağlamaktadır. Tasarımcı, bu arayüzü kullanarak 3B modelleme yazılımlarında oluşturduğu tasarımı Rhino ortamına aktarmakta ve "3B Modeli Seç (Çözümleme)" adımıyla karar destek modelindeki süreci başlatmaktadır.

Kullanıcı, analiz yapılacak katın zeminden yüksekliğini(elevasyon) belirledikten sonra binanın yönünü, cam türünü ve iç yüzey malzemelerini seçmekte; ardından simülasyon sürecini başlatmaktadır. Bu aşamada günışığı performansı, LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında değerlendirilen iki temel metrik üzerinden analiz edilmektedir: Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ve Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE).

Model, sDA ve ASE değerlerini eşzamanlı olarak değerlendirmekte ve LEED puanlaması aşağıdaki esaslara göre yapılmaktadır:

- $sDA \geq \%75 \rightarrow$ 3 puan
- $\%55 \leq sDA < \%75 \rightarrow$ 2 puan
- $\%40 \leq sDA < \%55 \rightarrow$ 1 puan
- $sDA < \%40 \rightarrow$ 0 puan

Ancak puanlamanın geçerli sayılabilmesi için ASE değerinin %10'un altında olması gerekmektedir. ASE ≥ %10 çıktığı durumlarda, sDA yüksek olsa bile şartlı puan alınmaktadır. Model analizlerinde gölgeleme elemanları simülasyona doğrudan dahil edilmemekte; girdisel olarak seçilememektedir. Ancak bu gibi senaryolarda, sistem gölgeleme elemanı kullanımı başta olmak üzere tasarımcıya öneriler sunarak, performansı iyileştirme yönünde yönlendirmede bulunmaktadır.

Kullanıcı bu analizler sonucunda, yapı tasarımında kullanılan parametrelerin sDA ve ASE üzerindeki etkisini görebilmekte ve hangi varyasyonların LEED puanı elde ettiğini doğrudan değerlendirebilmektedir. Model, puan alınamayan senaryolarda kullanıcıya yönlendirici öneriler sunmaktadır. Bu öneriler; saydam yüzeyin konumu ve boyutu, cam malzemesinin görünür ışık geçirgenliği, cephe yönlenmesi ve iç yüzey yansıtıcılığına dayalı temel tasarım girdilerine odaklanmaktadır.

Bu aşamada kullanıcıya Tablo 1.1'de görülmekte olan üç farklı cam türü arasından seçim yapma imkânı sunulmaktadır:

Tablo 1.1: Tasarımcının Seçebileceği Cam Türleri ve Işık Geçirgenlik Değerleri

Cam Tanımı	**Görünür Işık Geçirgenliği IGÇ (%) (EN 410)**	**Açıklayıcı İfade**
Şeffaf çift cam	79%	Yüksek ışık geçirgenliği
Solar Low-E cam	49%	Orta geçirgenlik
Füme Solar Low-E cam	33%	Düşük geçirgenlik

Ayrıca, iç yüzey malzemeleri için Tablo 1.2'de görülmekte olan 11 farklı seçenek kullanıcıya sunulmuştur.

Tablo 1.2: Tasarımcının Seçebileceği Malzemelerin Yansıtıcılık Değerleri

Yüzey Türü	**Malzeme Adı**	**Modelde Kullanılacak Değer**	**İdeal yansıtıcılık Aralığı (TS EN 12464-1:2021)**
Tavan	Beyaz boya	0.84	0.70 – 0.90

Duvar	Beyaz boya	0.84	0.50 – 0.80
Duvar	Gri boya	0.45	0.50 – 0.80
Duvar	Kahverengi boya	0.40	0.50 – 0.80
Duvar	Kırmızı tuğla kaplama	0.10	0.50 – 0.80
Duvar	Duvar kaplaması, beyaz	0.75	0.50 – 0.80
Zemin	Kayın parke (wood-20)	0.56	0.20 – 0.60
Zemin	Meşe parke (wood-12)	0.26	0.20 – 0.60
Zemin	Merbau parke (wood-17)	0.10	0.20 – 0.60
Zemin	Gri seramik karo (tiles+06)	0.17	0.20 – 0.60
Zemin	Beyaz seramik karo	0.76	0.20 – 0.60

Bu aşamada bina formu, cephe geometrisi ve plan düzeni kullanıcı tarafından serbestçe tasarlanabilmektedir; ancak geliştirilen model yalnızca eğrisel olmayan, kat planları yatay düzlemde tekrar eden, düşeyde girinti-çıkıntı içermeyen ve tek kabuklu düz cephe geometrisine sahip yapılar üzerinde çalışacak şekilde yapılandırılmıştır. Çift cidarlı cephe sistemleri, hareketli elemanlar ve dinamik gölgeleme bileşenleri analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Kullanıcı, yapılı çevreyi manuel olarak tanımlayarak çevredeki diğer yapı kütlelerini model ortamına dahil edebilmektedir. Ancak çevresel yapıların dış yüzey yansıtıcılığı %20 olarak kabul edilmekte, malzeme yutuculuğu ise analiz sistematiğinde dikkate alınmamaktadır.

Analiz sürecinin sonunda elde edilen performans sonuçları, Human UI arayüzü üzerinden tasarımcıya öneriler şeklinde sunulmakta; böylece model, yalnızca nicel

veri üreten bir araç olmanın ötesine geçerek yönlendirici bir rehber işlevi üstlenmektedir. Bu öneriler mevcut aşamada tasarımcı tarafından manuel olarak tasarıma entegre edilmekte, ancak arayüzde yer alan "Önerileri Tasarıma Uygula" butonu henüz devreye alınmamıştır. Bu butonun işlevsel hale getirilmesi, gelecekte modelin önerileri doğrudan tasarıma otomatik olarak entegre etmesine olanak sağlayacaktır.

1.4 Yöntem

Çalışmanın yöntemi, iki aşamalı olarak yapılandırılmış bir karar destek modelinin analiz, karşılaştırma ve öneri üretme işleyişine dayanmaktadır. Birinci aşama, önceki bölümde tanımlanan cephe açıklıkları, cam geçirgenliği, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme parametrelerinden türetilen varyasyonların sistematik biçimde üretilmesi ve simülasyonlarla değerlendirilmesini kapsamaktadır. Bu varyasyonlar, Rhino Grasshopper ortamında Honeybee eklentisi aracılığıyla Radiance tabanlı simülasyonlarla analiz edilmiş; sDA ve ASE sonuçlarına göre hesaplanarak LEED v4.1 Günışığı Kredisi kriterlerine göre 0–3 puan arasında sınıflandırılmıştır.

Analiz sonuçları, .csv formatında dışa aktarılmış ve Google Drive bağlantısıyla Design Explorer platformuna yüklenerek görsel karşılaştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, öneri sisteminin temeli yalnızca görsel gözleme değil, doğrudan .csv veri dosyası üzerinden Excel ortamında gerçekleştirilen gruplama ve sınıflandırma işlemlerine dayanmaktadır. Bu dosya, ASE ve sDA değerlerinin kombinasyonlarına göre filtrelenmiş ve benzer özellik gösteren varyasyonlar performanslarına göre ayrıştırılarak değerlendirilmiştir.

Colibri eklentisi aracılığıyla oluşturulan tüm varyasyonlar analiz edildikten sonra, elde edilen sonuçlar sistematik biçimde karşılaştırılmış ve günışığı performansı açısından belirgin farklılıklar sergileyen sekiz temel durum ortaya konmuştur. Bu durumlar, sDA ve ASE değerlerine göre sınıflandırılmış, her birinin LEED v4.1 Günışığı Kredisi puanlamasıyla olan ilişkisi değerlendirilmiş ve performansın iyileştirilmesine yönelik koşul–öneri eşleşmeleri geliştirilmiştir. Böylece öneri üretme mantığı, yalnızca tekil

performans değerlerine değil, aynı zamanda farklı tasarım girdilerinin etkileşimlerine dayalı olarak kurgulanmış ve Tablo 1.3'te bütüncül bir biçimde sunulmuştur.

Tablo 1.3: Günışığı Performansı ve LEED v4.1 Puanlamasına Göre Tanımlanan Durumların Sınıflandırılması

	ASE	SDA	PUAN	DURUM
DURUM 1	ASE ≤ 10	sDA ≥ 75	3 puan	Doğal aydınlık seviyesi yüksektir, parlama yoktur; optimum performans sağlanmıştır.
DURUM 2	ASE ≤ 10	55 ≤ sDA < 75	2 puan	Günışığı yeterlidir ve parlama riski düşüktür; performans iyileştirilebilir düzeydedir.
DURUM 3	ASE ≤ 10	40 ≤ sDA < 55	1 puan	Günışığı seviyesi düşüktür ancak parlama riski bulunmamaktadır; aydınlık artırılmalıdır.
DURUM 4	ASE ≤ 10	sDA < 40	0 puan	Günışığı çok düşüktür ve parlama olmasa da kullanım konforu sağlanamamaktadır.
DURUM 5	ASE>10	sDA ≥ 75	3 puan *	Doğal aydınlık seviyesi yüksektir; ancak aşırı parlama riski bulunmaktadır.
DURUM 6	ASE>10	55 ≤ sDA < 75	2 puan *	Doğal aydınlık yeterlidir fakat parlama riski yüksektir; iyileştirme önerilir.

DURUM 7	ASE>10	40 ≤ sDA < 55	1 puan *	Günışığı yetersizdir ancak doğrudan güneş ışığı nedeniyle parlama riski oluşmaktadır.
DURUM 8	ASE>10	sDA<40	0 puan	Günışığı yetersizdir ancak doğrudan güneş ışığı nedeniyle parlama riski oluşmaktadır.

LEED v4.1 puanlamasında, sDA değeri yüksek olsa bile ASE değerinin %10'un üzerinde olması durumunda tasarım önerilen eşiği aşmadığı için puan koşullu olarak değerlendirilmektedir. Bu gibi senaryolarda, sDA ≥ %75 olsa bile, ASE > %10 ise 3 puan doğrudan verilmez; tasarım parlama kontrolü sağlanmadığı sürece yetersiz kabul edilmektedir.

Her bir duruma ait öneriler, ilgili kombinasyonların .csv verisi üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmesiyle geliştirilmiştir. Hangi durumda, hangi tasarım parametrelerinin değiştirilmesinin puan artışına yol açtığı veri üzerinden takip edilmiş ve bu bilgi daha sonra ikinci aşamada tasarımcıya yön gösterecek biçimde sisteme entegre edilmiştir. Örneğin, DURUM 5'te yüksek ışık seviyesine rağmen parlama riski olduğu için daha düşük geçirgenliğe sahip cam türü seçilmesi önerilmiştir.

Modelin ikinci aşamasında, analiz verisi ve öneri yapısı Human UI tabanlı bir kullanıcı arayüzüne entegre edilmiştir. Tasarımcı, bu arayüz üzerinden "3B Modeli Seç (Çözümleme)" butonunu kullanarak daha önce SketchUp, AutoCAD vb. CAD tabanlı programlarda ya da Rhino ortamında hazırlanmış tasarımını içe aktarmakta ve model çözümleme sürecini başlatmaktadır. Bu işlem sonucunda yapı otomatik olarak plan ve cephe düzlemlerine ayrıştırılmakta, tasarımcı ise dış ve iç duvar sınıflandırmalarını yaparak analize hazır geometrik model üzerinde çalışabilmektedir. Ayrıca, yapı çevresinde yer alan engel nitelikli kütleler de kullanıcı tarafından manuel olarak tanımlanarak analiz ortamına dâhil edilmektedir.

Girdi tanımları tamamlandıktan sonra tasarımcı, yapı yönünü, cam türünü ve iç yüzey malzemelerini belirlemekte; ardından sistem simülasyonu başlatmaktadır. Simülasyon

sonucunda elde edilen sDA ve ASE değerleri, LEED v4.1 Günışığı puanlama sistemi ile eşleştirilmekte; eğer hedef puan sağlanamazsa, model kullanıcıya yönlendirici tasarım önerileri sunmaktadır. Bu yapı, farklı parametre kombinasyonlarının tekrar analiz edilmesine imkân tanımakta ve böylece tasarım kararlarının performans açısından sınanabildiği döngüsel bir süreç oluşturmaktadır.

Tablo 1.4, modelin ASE > 10 ve 55 ≤ sDA < 75 aralığında gerçekleşen senaryolarda ürettiği önerileri ortaya koymaktadır. Bu koşullar altında model, tasarımı koşullu olarak 2 puan ile değerlendirmektedir. Bunun temel nedeni, doğal aydınlık düzeyinin kullanıcı gereksinimlerini karşılayacak düzeyde olmasına karşın, yüksek ASE değerine bağlı olarak parlama riskinin artmasıdır. Dolayısıyla, söz konusu durum iyileştirme gerektiren bir senaryo olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen öneriler, parlama riskini azaltmaya ve aydınlığın mekânda daha dengeli dağılımını sağlamaya yönelik stratejiler sunmaktadır.

Tablo 1.4: Durum 6 – Koşul–Öneri Eşleştirme (ASE > 10; 55 ≤ sDA < 75)

Sıra	Koşul	Öneri
1	Duvar yansıtıcılığı > 0.8 olan malzeme seçildiyse	Duvar yüzeyleri için önerilen aralık 0.50 – 0.80 dir. (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri düşük duvar malzemesi seçiniz.
2	Zemin yansıtıcılığı > 0.6 olan malzeme seçildiyse	Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri düşük zemin malzemesi seçiniz.
3	Duvar yansıtıcılığı < 0.5 olan malzeme seçildiyse	Duvar yüzeyleri için önerilen aralık 0.50 – 0.80 dir. (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek duvar malzemesi seçiniz.

4	Zemin yansıtıcılığı < 0.2 olan malzeme seçildiyse	Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek zemin malzemesi seçiniz.
5	Şeffaf Çift Cam (%79) seçildiyse	Daha düşük geçirgenliğe sahip bir cam türü tercih edilerek, doğrudan güneş ışığına bağlı parlama riski azaltılabilir.
6	Solar Low-E Cam (%49) seçilsiyse	Daha düşük geçirgenliğe sahip bir cam türü tercih edilerek, ASE (Yıllık Güneş Işığı Alımı) değeri düşürülebilir ve görsel konfor iyileştirilebilir.
7	Füme Solar Low-E Cam (%33) seçildiyse	Görünümler, görünür ışık geçirgenliği %40'ın üzerinde olan camdan olmalıdır. Orta ışık geçirgenliğe sahip olan cam türü seçilmelidir.
8	Yön Güney, Güneydoğu veya Güneybatı ise	Yön korunabilir. ASE'nin azaltılması için yatay veya mevsimsel gölgeleme sistemleri önerilir.
9	Yön Kuzey, Kuzeybatı veya Kuzeydoğu ise	Yön korunabilir.
10	Yön Doğu ise	Yön korunabilir. Sabah ışığına karşı dikey ve kontrol edilebilir gölgeleme elemanları önerilir.
11	Yön Batı ise	Yön aynı kalacaksa, ASE'yi sınırlamak için hareketli veya yüksek performanslı dış gölgeleme sistemleri (örneğin dış jaluzi, mesh paneller) mutlaka entegre edilmelidir. Gölgeleme uygulanamıyorsa, yönün güneydoğuya döndürülmesi önerilir.

12	ASE>10 55 ≤ sDA < 75 ise	Saydam yüzey oranı uygun olsa da parlama riski göz önüne alınarak pencere konumu tekrar değerlendirilmelidir. Gölge alma potansiyeli yüksek yüzeylerde konumlandırma önerilir.
13	ASE>10 55 ≤ sDA < 75 ise	Yukarıdaki koşulların hiçbiri sağlanamıyorsa, tasarım kararlarını gözden geçiriniz (örneğin: yapı formu, kat yüksekliği, iç mekân derinliği ve hacim oranları).

İKİNCİ BÖLÜM

MİMARİ TASARIMIN ERKEN AŞAMASINDA BİNALARDA DOĞAL AYDINLATMA

Mimari tasarım süreci, yalnızca yapıların mekânsal ve işlevsel organizasyonunu biçimlendirmekle sınırlı olmayıp, aynı zamanda kullanıcı konforunu doğrudan etkileyen çevresel parametrelerin erken tasarım aşamasında bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesini gerekli kılan çok katmanlı bir karar üretim sürecidir. Bu bağlamda, günışığı; yalnızca fiziksel bir aydınlatma unsuru olmanın ötesinde, mekânsal deneyimin hem fizyolojik hem de psikolojik boyutlarını etkileyen temel bir çevresel faktör olarak değerlendirilmektedir. Doğal aydınlatma, kullanıcıların görsel konfor koşullarını sağlamanın yanı sıra, sirkadiyen ritimlerin düzenlenmesi, bilişsel performansın desteklenmesi ve genel yaşam kalitesinin artırılması gibi çok boyutlu katkılar sunmaktadır. Literatürde, günışığına yeterli düzeyde erişim sağlanamayan iç mekânlarda kullanıcı performansında azalma, dikkat süresinde kısalma ve ruh hâlinde olumsuz değişimlerin gözlemlendiği bilinmektedir (Reinhart ve Walkenhorst, 2001; Ashrafian ve Moazzen 2019; Zolfaghari ve Jones, 2022). Bu durum, doğal ışığın salt aydınlatma işlevinin ötesine geçerek, kullanıcı sağlığı ve refahı açısından kritik bir tasarım girdisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Her ne kadar günışığı tarih boyunca mimari tasarımın temel bileşenlerinden biri olarak varlığını sürdürmüşse de bu doğal kaynağın yapısal yerleşim kararlarına sayısal veri temelli biçimde yön verilmesi, ancak yakın dönemde geliştirilen hesaplamalı tasarım yaklaşımları ve ışık fiziği temelli analiz yöntemleri ile mümkün hâle gelmiştir. Uzun yıllar boyunca pencere konumları, açıklık oranları ve cephe tasarımları çoğunlukla sezgisel birikimler ya da biçimsel estetik anlayışlar doğrultusunda belirlenmiş; günışığına ilişkin kararlar ise ölçülebilir performans hedeflerinden ziyade deneyimsel değerlendirmelere dayandırılmıştır. Ancak günümüzde, Radiance ve EnergyPlus gibi fizik temelli simülasyon motorları ile entegre biçimde çalışan parametrik modelleme araçları sayesinde, iç mekâna ulaşan günışığının aydınlık düzeyi, süresi ve mekânsal dağılım özellikleri nicel olarak analiz edilebilmekte; böylece tasarım süreci, fiziksel doğruluğa dayalı ve optimizasyon odaklı bir yapıya kavuşmaktadır. Bu dönüşüm, günışığını yalnızca mevcut bir çevresel unsur olarak değil; yönelimi, yoğunluğu ve kontrol edilebilirliği bakımından tasarlanabilir bir sistem bileşeni olarak ele alma zorunluluğunu ortaya koymaktadır.

Bu dönüşüm doğrultusunda geliştirilen sDA (Mekansal Günışığı Otonomisi), ASE (Yıllık Güneş Işığı Alımı) ve UDI (Faydalı Günışığı Aydınlığı) gibi metrikler, günışığı performansını tek boyutlu aydınlık düzeyi hesaplarının ötesine taşıyarak; zamansal, yönlü ve konfor odaklı parametrelerle desteklenen çok katmanlı bir değerlendirme imkanı sunmaktadır. Tasarımcılar açısından bu metrikler, erken tasarım kararlarının öngörüsel biçimde test edilmesine ve kullanıcı odaklı çözümlerin bilimsel verilerle doğrulanmasına olanak tanımaktadır. Uluslararası düzeyde geçerliliğe sahip LEED, WELL ve BREEAM gibi sürdürülebilirlik sertifikasyon sistemleri de söz konusu metrikleri doğrudan puanlama ve sınıflandırma kriterleri olarak kullanarak, doğal aydınlatmayı yalnızca görsel konfora değil; enerji etkinliği, kullanıcı sağlığı ve mimari bütünlük açısından da hesap verebilir bir tasarım bileşeni hâline getirmiştir.

Bu bölüm kapsamında, öncelikle mimari tasarım sürecinin karar üretim mantığı ve çevresel etkenlerle etkileşimi değerlendirilecek; ardından, erken tasarım aşamasında günışığı performansını etkileyen parametreler, simülasyon temelli analiz yöntemleri, performans odaklı optimizasyon stratejileri ve uluslararası değerlendirme sistemleri çerçevesinde kuramsal ve teknik bir yapı sunulacaktır.

2.1 Tasarım Süreci

Tasarım kavramı, farklı disiplinlerde ve bağlamlarda çeşitli anlamlar taşıyan çok yönlü ve kapsamlı bir terimdir. Kavram, kullanıldığı yapıya göre kimi zaman bir düşünsel süreci, kimi zaman planlama temelli bir yaklaşımı ya da somut bir ürünü tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. En genel anlamıyla "tasarım", bir disiplinin bütününü ifade edebilirken; eylem düzeyinde ele alındığında ise bir süreci, zihinsel faaliyetleri ve yönlendirici kararları içeren bir üretim biçimini temsil etmektedir.

Heskett (2001), tasarım kavramının bu çoklu anlam yapısının, sadece terminolojik çeşitliliğe değil, aynı zamanda işlevsel ve kavramsal bir genişliğe de işaret ettiğini belirtmektedir. Bu yönüyle tasarım hem soyut bir düşünme sürecini hem de fiziksel çıktıya dönüşebilecek bir pratiği kapsamaktadır.

Türk Dil Kurumu tarafından yapılan tanımda, tasarım kavramının sahip olduğu çok katmanlı yapıyı sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Buna göre tasarım:

- Zihinde canlandırılan biçim; tasavvur,
- Bir sanat eserinin, yapının veya teknik ürünün ilk taslağı (tasar, çizim, dizayn),
- Bir araştırma sürecinin çeşitli evrelerinde izlenecek yol ve işlemleri tanımlayan çerçeve,
- Daha önce algılanmış bir nesne ya da olayın bilinçte yeniden ortaya çıkan kopyası

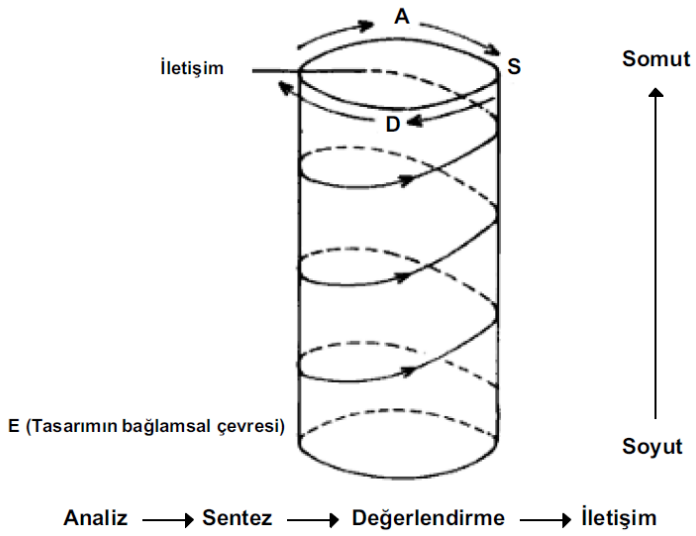
şeklinde tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, t.y). Bu açıklamalar, tasarımın yalnızca fiziksel bir nesne üretimi değil, aynı zamanda bilişsel temsilleri, yaratıcı planlamayı ve soyut düşünsel süreçleri de içeren kapsamlı bir alan olduğunu göstermektedir.

Tasarım süreci, kuramsal düzlemde uzun yıllardır çeşitli yaklaşımlar doğrultusunda ele alınmakta ve özellikle bilişsel süreçlerle olan ilişkisi üzerinden tanımlanmaktadır. Simon (1975), Rowe (1987) ve Hamel (1990) gibi araştırmacılar, tasarımı temelde bir problem çözme etkinliği olarak değerlendirmektedir. Bu yaklaşımda tasarım süreci; belirli bir hedef doğrultusunda çok sayıda çözüm alternatifi geliştirme, bu alternatifleri

değerlendirme ve içlerinden en uygun olanı seçme süreci olarak tanımlanmaktadır. Simon (1975), bu süreci geniş bir olasılıklar evreni içerisinden en elverişli çözümü arama çabası olarak açıklarken; Anderson (1980), bu sürecin bilişsel, hedef odaklı ve çok katmanlı bir yapı sergilediğini ifade etmektedir. Mimari tasarım bağlamında ise Sağlamer (1982), söz konusu sürecin genellikle iyi tanımlanmamış problemlerle karakterize olduğunu ve çözüm uzayının bağlama duyarlı, çok değişkenli bir yapıda olduğunu belirtmektedir (akt. Canbay Türkyılmaz, 2010).

Problem çözmeye dayalı bu yaklaşıma ek olarak tasarım sürecinde "çözüm"ün doğrudan "problem"den türetilmediği, tasarımcının bu iki kavram arasında sürekli bir geçiş yaptığı da vurgulanmaktadır. Bu etkileşimli süreç sayesinde tasarımcı zamanla hem problemi hem de çözümü daha derinlikli bir şekilde kavrayarak süreci yönlendirmektedir.

Archer (1979), problemin yalnızca gereksinimlerin ifadesiyle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda belirsizlikler ve hükümlerin çatışmasıyla da biçimlendiğini savunmaktadır (akt. Balkan, 2024). Bununla birlikte Ang ve Tang (1982), tüm olası çözümlerin baştan belirlenmesinin pratikte mümkün olmadığını, bu nedenle karar verme modellerinin yalnızca sınırlı durumlar için geçerli olabileceğini ifade etmektedir. Farklı bir yaklaşım ise Archea (1987) tarafından geliştirilmiş olup, tasarım süreci bir yap-boz kurma eylemine benzetilmiştir. Bu bakış açısına göre tasarım, önceden belirlenmiş adımlarla değil; süreç içinde gelişen, bileşenler arası etkileşimle şekillenen dinamik bir yapı olarak işlemektedir. Dolayısıyla çözüm, ancak süreç ilerledikçe ve parçalar birbiriyle ilişkilendikçe biçim kazanmaktadır (akt. Canbay Türkyılmaz, 2010). Bu farklı kuramsal yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, tasarım sürecinin yalnızca rasyonel ve sistematik değil; aynı zamanda sezgisel, deneyime dayalı ve belirsizliklerle örülü çok katmanlı bir bilişsel etkinlik olduğu anlaşılmaktadır (Gagne, 2011).



Şekil 2.1: Asimow'un İkonik Tasarım Modeli Temsili

Kaynak: Rowe, 1987

Morris Asimow'un geliştirdiği ikonik model, tasarım sürecinin yapısını üç boyutta kavramsallaştırmaktadır: soyutluk düzeyi, analiz–sentez–değerlendirme döngüsü ve iletişim (Şekil 2.1). Modelin dikey ekseni, tasarım düşüncesinin soyuttan somuta doğru evrilen aşamalarını temsil ederken; yatay eksen, problem çözümüne yönelik bilişsel süreçlerin yinelemeli doğasını ortaya koymaktadır. Bu döngüsel yapı, tasarımcının her aşamada çözüm stratejilerini yeniden yapılandırmasına olanak tanımaktadır. Modelin dış çeperinde yer alan "E" unsuru ise, tasarımın içinde şekillendiği fiziksel, sosyal ve kültürel bağlamı kapsamlı bir biçimde ifade etmektedir. Bu bütünsel yaklaşım, tasarımı statik bir etkinlikten ziyade, çevresel girdilerle sürekli etkileşim hâlinde gelişen dinamik bir süreç olarak değerlendirmektedir.

Mimari tasarım süreci, problemi anlama, veri toplama ve analiz etme, alternatif çözümler üretme ve nihai tasarım fikrini oluşturma gibi birbirini takip eden çok sayıda eylemi içermektedir. Bu süreç, çoğunlukla analiz, sentez ve değerlendirme adımlarının tekrarlandığı döngüsel bir yapı içinde gerçekleşmektedir. Bu aşamalar, yeni fikirlerin keşfi kadar mevcut fikirlerin yeniden ele alınmasını da içerdiğinden, mimari tasarımı hem yaratıcı hem de sürekli yeniden yapılandırılabilir bir üretim süreci olarak konumlandırmaktadır (Çavuşoğlu, 2013).

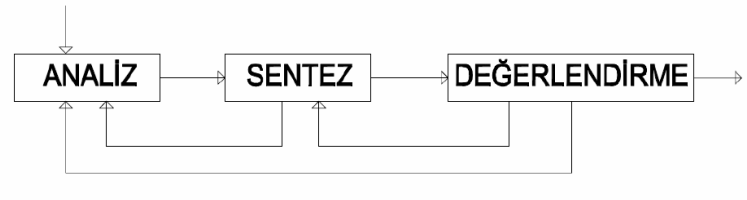


Şekil 2.2: RIBA İş Planı Modeli

Kaynak: RIBA, Plan of Works

Mimari tasarım süreci, yalnızca bir yapı üretim süreci değil, aynı zamanda sistematik ve çok katmanlı bir karar verme sürecidir. Bu süreç, farklı ölçeklerde kararların ardışık bir dizi aşamadan oluşmaktadır. İngiliz Kraliyet Mimarlık Enstitüsü (RIBA) tarafından geliştirilen Plan of Work 2020, bu süreci sekiz temel aşamada (Şekil 2.2) tanımlamaktadır:

0. Stratejik Tanımlama
1. Hazırlık ve Bilgilendirme
2. Konsept Tasarım
3. Geliştirilmiş Tasarım
4. Teknik Tasarım
5. İnşaat Süreci
6. Proje Teslimi
7. Kullanım (RIBA, 2020).



Şekil 2.3: Lawson'a Göre Tasarım Süreci Aşamaları

Kaynak: Kızılırmak, 2010

Lawson (1980), tasarım sürecinin temel olarak analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç ana aşamadan oluştuğunu belirtmektedir. Kuramsal olarak bu aşamaların birbirini takip etmesi gerektiği öngörülse de, pratikte sürecin ardışık değil; dinamik, esnek ve geri beslemelere açık bir yapıda ilerlediğini vurgulamaktadır. Mimari tasarımın da benzer bir işleyiş sergilediğini ifade eden Lawson, bu sürecin ayrıca çok disiplinli tasarım ve yapım aşamalarının entegrasyonunu da içerdiğini belirtmektedir (Şekil 2.3).

Vries ve Wagter (1991), mimari tasarım sürecini diğer tasarım disiplinlerinden ayıran üç temel özellik üzerinden açıklamaktadır. Bunlardan ilki, sürecin önceden belirlenmiş ve kesin bir yapıya sahip olmamasıdır. Mimari tasarım, çok sayıda öngörülemeyen olasılığı barındıran bir süreç olduğundan, tasarımcıyı belirli bir sonuca ulaştıracak sabit ve doğrusal adımlar dizisini önceden tanımlamak çoğu durumda işlevsel değildir. Her bir adımda izlenecek yöntem, gereken araçlar ve yapılacak işlemler, sürecin içeriğine bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterebilir. Bu bağlamda, kimi durumlarda çizim, fiziksel modelleme veya bilgisayar destekli tasarım araçları farklı aşamalar için daha uygun hale gelebilmektedir.

İkinci olarak, mimari tasarım sürecinin açık uçlu bir yapıya sahip olduğu vurgulanmaktadır. Özellikle erken tasarım evrelerinde, tasarımcının bireysel birikimi, mesleki geçmişi ve kavramsal yaklaşımları sürecin yönünü belirlemede etkili olabilmektedir. Tasarım süreci, belirli bir noktada tamamlanmış kabul edilse bile, çoğu zaman daha fazla gelişime ve yeniden değerlendirmeye açıktır. Bu durum, tasarımın nihai ve tekil bir çözüme ulaşmasından ziyade, sürekli değişebilen ve yeniden biçimlenebilen bir üretim süreci olduğunu göstermektedir.

Üçüncü özellik ise, tasarım sürecinin sabit ve evrensel bir başlangıç noktasına sahip olmamasıdır. Tasarımın başlangıçta tanımlanan hedefleri, ön kabulleri ve değerlendirme ölçütleri, süreç boyunca yeniden şekillenebilir ve dönüşebilir niteliktedir. Bu değişkenlik, mimari tasarımı durağan bir etkinlikten çok, çevresel, işlevsel ve bireysel faktörlere duyarlı, esnek ve evrimsel bir süreç olarak tanımlanabilir kılmaktadır (Kızılırmak, 2010).

2.2 Erken Tasarım Aşaması

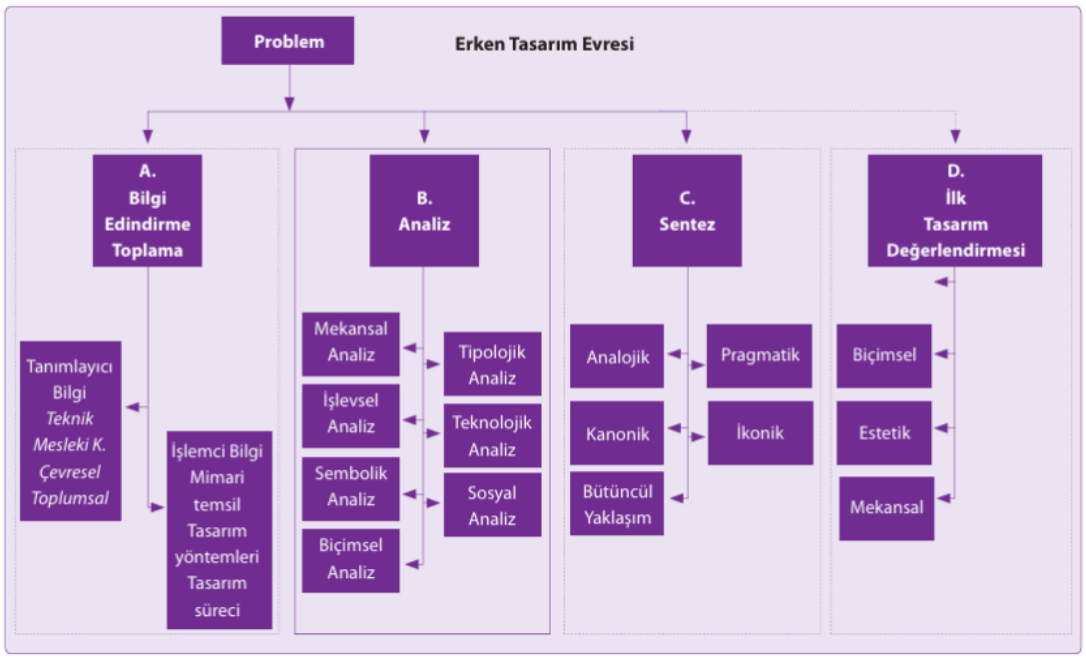
Mimari tasarım süreci, kavramsal üretimden uygulama aşamasına kadar uzanan çok katmanlı ve bütüncül bir ilerleyiş sergilemektedir. Bu süreç, öncelikle tasarım felsefesinin tanımlanması ve ön eskiz çalışmalarının gerçekleştirilmesiyle başlamakta; ardından bu taslak öneriler, kullanıcı geri bildirimleri doğrultusunda yeniden değerlendirilerek geliştirilmekte ve detaylandırılmaktadır. İlerleyen aşamalarda, iki ve üç boyutlu görselleştirme araçları yardımıyla ön projeler oluşturulmakta; malzeme seçimi, detay-malzeme ilişkileri, renk ve doku gibi estetik ve teknik kararlar yapılandırılmaktadır. Tasarımın maliyetine ilişkin hesaplamalar tamamlandıktan sonra, projeye ait sunum belgeleri hazırlanmakta ve gerektiğinde kullanıcı talepleri doğrultusunda revize edilerek tasarımın son hâline ulaşması sağlanmaktadır (Demirarslan & Demirarslan, 2020).

Geleneksel mimari tasarım süreci içerisinde erken tasarım aşaması, genellikle tasarım probleminin henüz tam olarak tanımlanmadığı, ihtiyaç programının sınırlı olduğu ve tasarıma ilişkin verilerin belirsizlik içerdiği (Gerber & Lin, 2012), temel kavramsal kararların şekillenmekte olduğu; bilginin toplanması, seçilmesi ve dönüştürülmesiyle başlayan, bu bilgilerin ilişkilendirilerek tasarım fikirlerinin yapılandırıldığı bir dönem olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte, ilk tasarım alternatifleri oluşturulmakta ve çeşitli yönlerden değerlendirilmektedir. Ancak mevcut bilginin hem fazla hem de belirsiz olması, geliştirilen fikirlerin yeterince analiz edilmeden terk edilmesine neden olabilmektedir. Tasarım öğeleri arasındaki ilişkilerin açık biçimde kurulmasındaki güçlükler, süreci daha karmaşık bir hale getirmekte; tasarımcıyı bir fikirden tamamen farklı bir yaklaşıma yönlendirme eğilimi göstermektedir. Tüm bu zorluklara karşın,

erken tasarım aşaması, özgün fikirlerin doğabildiği, farklı çözüm önerilerinin sınanabildiği ve çok boyutlu düşünme pratiklerinin gelişebildiği bir ortam sağlamaktadır (Türkyılmaz, 2010). Bu ortamın oluşumunda yalnızca çevresel girdiler değil, tasarımcının bilişsel durumu, deneyimi, kişisel eğilimleri ve kullandığı görselleştirme araçları da belirleyici rol oynamaktadır.

Erken tasarım sürecinde, soyut düşüncelerin somutlaştırılmasında eskiz, diyagram ve maket gibi araçlardan yararlanılmakta; bu araçlar, tamamlanmamış fikirlerin görsel temsili aracılığıyla tasarımcının düşünce üretimini destekleyen bir platform sunmaktadır (Cengiz, 2021). Goldschmidt (2014), bu sürecin sonuç ürün ya da üretim baskısından bağımsız olarak işlediğini ve tasarımcının zihinsel temsillerini eskiz yoluyla dışa vurarak düşüncelerini biçimlendirdiğini belirtmektedir. Ölçekten bağımsız el çizimleri ise, günümüzde hâlâ erken tasarım sürecinin karakteristik bir öğesi olma niteliğini korumaktadır.

Bu bağlamda, erken tasarım sürecinde izlenen düşünsel adımları sistematik biçimde ortaya koyan kuramsal modeller, tasarımcıların problem çözme stratejilerini anlamak açısından önemli bir çerçeve sunmaktadır.



Şekil 2.4: Erken Tasarım Evresi Modeli

Kaynak: Canbay Türkyılmaz, 2010

Canbay Türkyılmaz (2010) tarafından hazırlanan erken tasarım evresi modeli, tasarım sürecini bilgi edinme, analiz, sentez ve ilk tasarım değerlendirmesi olarak 4 aşamada incelemektedir (Şekil 2.4). Süreç, tasarım probleminin tanımlanmasıyla başlamakta; ardından teknik, mesleki, çevresel ve toplumsal bilgiler toplanarak tasarıma yön verecek ilk çerçeve oluşturulmaktadır. Bu bilgiler analiz sürecinde çeşitli alt kategorilere ayrılmakta ve mekânsal, işlevsel, sembolik gibi boyutlarda değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Sonrasında bu analizlerin sonucunda elde edilen veriler sentezlenerek alternatif tasarım fikirleri oluşturulmakta; son aşamada ise bu fikirler biçimsel, estetik ve mekânsal ölçütler üzerinden değerlendirilerek ilk karar süreci tamamlanmaktadır (Canbay Türkyılmaz, 2010).

Erken tasarım aşamasında, tasarımın kavramsal altyapısının ve sınırlarının belirlenmesi sürecin yönü açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu aşamada, köklü değişiklik gerektirmeyen ancak geliştirilmeye açık fikirlerin üretilmesi, tasarım sürecinde dengenin korunmasına katkı sağlamaktadır. Öte yandan, eğer kapsamlı bir değişiklik gerekliliği ortaya çıkarsa, tasarımcının bu duruma direnç göstermeksizin ilk fikirlerini ve kavramsal çerçevesini esnek biçimde yeniden düzenleyebilmesi hem zaman kaybını önlemekte hem de tasarımın ilerleyişine olumlu katkı sunmaktadır.

İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerinin yeterince sağlanamaması ile ilgili tespit edilen sorunlar, araştırmacıların ve uygulayıcıların dikkatini özellikle erken tasarım aşamasına yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalar, bu aşamanın bina yaşam döngüsü boyunca yapının çevresel etkilerini azaltmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu durumun temel nedenlerinden biri, erken tasarım sürecinde geliştirilen ilk önerilerin çoğunlukla işlevsel, mekânsal, estetik ve maliyet odaklı önceliklerle şekillenmesi; sürdürülebilirlik kriterlerinin ise bu tasarım öncelikleriyle eşzamanlı ve entegre biçimde değerlendirilmesinin tasarımcılar açısından zorlayıcı olmasıdır (Aish & Marsh, 2011). Mevcut uygulama pratiklerinde performansa dayalı değerlendirme süreçlerinin tasarımın ilerleyen aşamalarına bırakılması, sürdürülebilirlik hedeflerinin tasarımın başında yeterince temsil edilememesine ve bu hedeflerin karar alma sürecinde ikincil bir rol üstlenmesine neden olmaktadır.

Bina tasarım sürecinde, özellikle şematik tasarım ve tasarım geliştirme aşamalarında, mekânsal organizasyonun belirlenmesi temel adımlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda; iç mekânların işlevsel olarak dağıtılması, farklı mekân birimlerinin bir araya getirilmesi, bölücü elemanların konumlandırılması ve genel iç yerleşim düzeninin oluşturulması gibi kararlar sürecin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Mostafavi ve ark., 2022).

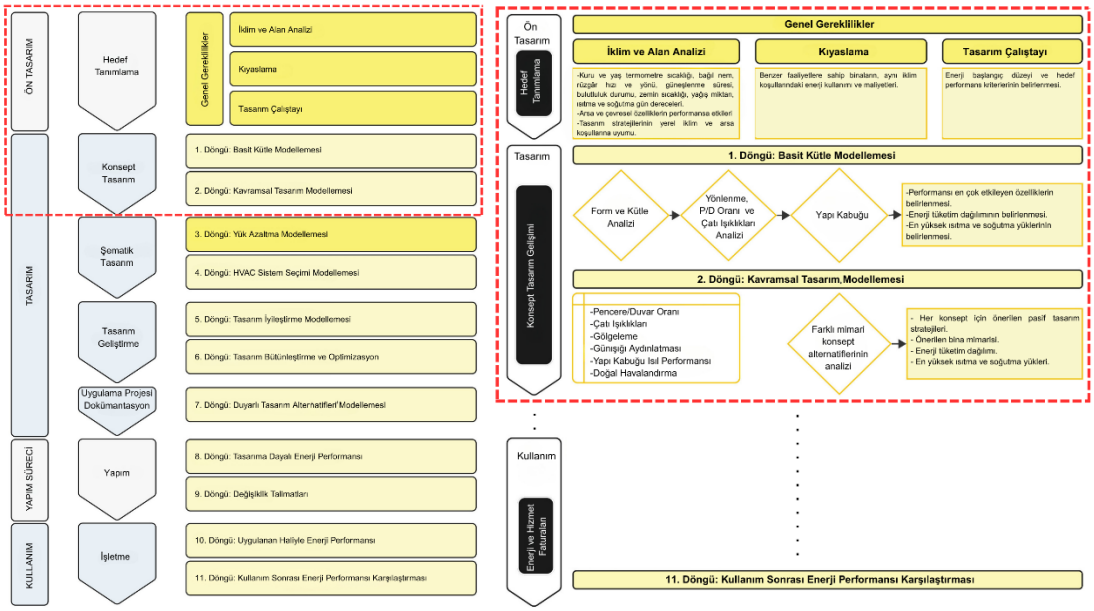
Ayrıca, binanın yönelimi, dış duvar sınırlarının belirlenmesi ve pencere boyutu ile konumu gibi yapı kabuğuna ilişkin kararların da mekânsal organizasyon üzerinde doğrudan etkili olduğu ifade edilmektedir. Bu aşamada tasarımcılar, binanın formu, yönlenmesi, saydam yüzey oranları ve mekânsal organizasyonu gibi temel bileşenleri tanımlamaya çalışırken (Lin ve Tsay, 2021), aynı zamanda enerji kullanımı, iç mekân konforu ve çevresel etkiler gibi çok sayıda performans kriterini de değerlendirmek durumundadır. Ancak bu çok kriterli değerlendirme sürecinin karmaşık (Vaidhyanathan ve Wang 2021; Mardaljevic, 2015), zaman alıcı (Lin ve Tsay 2021) ve yüksek düzeyde uzmanlık gerektiren (Tsay ve ark. 2022; Ochoa ve ark. 2012) bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Tasarımcılar, çoğu zaman yön belirlemekte zorlanmakta ve destekleyici analiz araçlarının eksikliği ya da anlaşılır olmaması (Ayoup, 2019; Arpacıoğlu 2020) nedeniyle bilinçli tasarım kararları almakta yetersiz kalabilmektedir.

Erken tasarım aşamasında, tasarımcı çok sayıda mekânsal yerleşim alternatifiyle karşı karşıya kalmaktadır ve her alternatifin çeşitli ölçütler doğrultusunda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durum, karar verme sürecini karmaşık hâle getirmekte; erken aşamada alınan kararların sonraki tasarım adımlarında geriye dönük olarak revize edilmesi çoğu zaman zorlayıcı ya da uygulanabilir olmaktan uzak bir yapıya dönüşmektedir (Mostafavi ve ark. 2022). Yapının başarısını doğrudan etkileyen kararların alındığı bu aşamada, performans değerlendirme araçlarının sürece entegre edilmesi ve karar sürecine erken dönemde katkı sunması büyük önem taşımaktadır (Attia ve ark., 2012).

Erken tasarım sürecinde alınan kararların yapı performansı üzerindeki etkilerine dair farkındalığın artmasıyla birlikte, farklı disiplinlerde zamanlamaya duyarlı

değerlendirme sistemleri geliştirme çabaları öne çıkmıştır. Bu bağlamda, enerji performansı odaklı değerlendirme yaklaşımları içinde önemli bir yere sahip olan ASHRAE Standard 209, enerji simülasyonlarının tasarım sürecine ne zaman, nasıl ve hangi kapsamda entegre edilmesi gerektiğini tanımlayan döngüsel yapı sunmaktadır (Şekil 2.5).

ASHRAE Standard 209, enerji modellemesini proje sürecine entegre edilebilecek aşamalı ve sistematik bir yapı çerçevesinde ele almakta; bu doğrultuda toplam on bir döngü tanımlamaktadır. Söz konusu döngüler, yapının tasarlandığı, inşa edildiği ve işletildiği farklı zaman dilimlerine karşılık gelecek biçimde kurgulanmıştır. Bu kapsamda, yedi döngü tasarım süreci boyunca, üçü inşaat uygulamaları esnasında, bir tanesi ise yapının işletme döneminde gerçekleştirilmesi öngörülen modelleme faaliyetlerini içermektedir. Her bir döngü, o evrede hangi enerji simülasyonlarının yapılacağına, hangi hedeflerin değerlendirileceğine ve hangi kararların performansa dayalı olarak test edileceğine yönelik açık bir çerçeve sunmaktadır (Şekil 2.5).

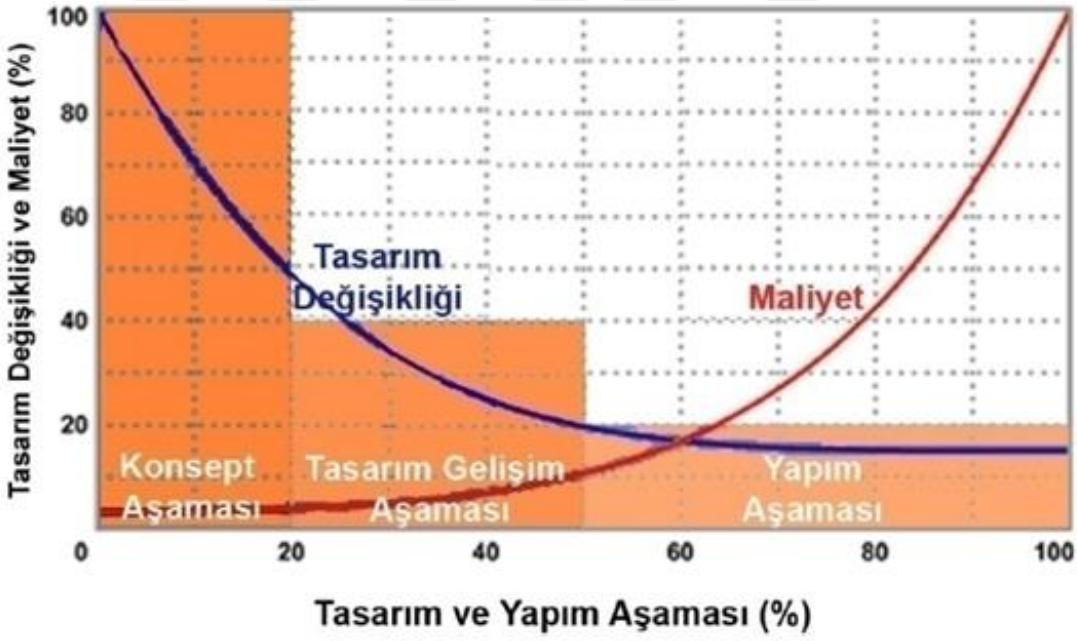


Şekil 2.5: ASHRAE 209 Döngüsünde Erken Tasarım Aşamasının Yeri

Kaynak: ANSI/ASHRAE/IES Standard 209-2018'den uyarlanmıştır. (ANSI/ASHRAE/IES Standard 209, 2024)

Bu döngülerden özellikle Döngü 1 (Basit Kütle Modellemesi) ve Döngü 2 (Kavramsal Tasarım Modellemesi), tasarım kararlarının henüz biçimlenmeye başladığı erken aşamaları hedeflemektedir (Şekil 2.5). Bu aşamalarda, bina geometrisi, yönlenme, açıklık oranı ve iç mekân organizasyonu gibi temel tasarım parametrelerinin performans verileriyle ilişkilendirilerek değerlendirilmesi önerilmekte; böylece sonuç odaklı değil, süreç odaklı bir tasarım yaklaşımı teşvik edilmektedir. Standart, enerji modellemesi temelinde geliştirilmiş olsa da, tasarım kararlarının zamansal yapısına yaptığı vurgu sayesinde doğal aydınlatma ve buna bağlı görsel konfor koşullarının da erken aşamada dikkate alınmasını mümkün kılan bütüncül bir sistematik sunmaktadır.

Bu nedenle performans değerlendirme süreçlerinin, tasarımın biçimlenmeye başladığı erken evrelere entegre edilmesi, tasarım kararlarının yönlendirilmesi açısından kritik bir önem taşımaktadır. Zira kararların etkisinin en yüksek düzeyde olduğu, buna karşın müdahale maliyetlerinin en düşük seviyede gerçekleştiği dönem, tasarım sürecinin bu erken aşamalarıdır.



Şekil 2.6: Tasarım Sürecinde Tasarım Değişikliği ve Maliyet Etkinlik Grafiği

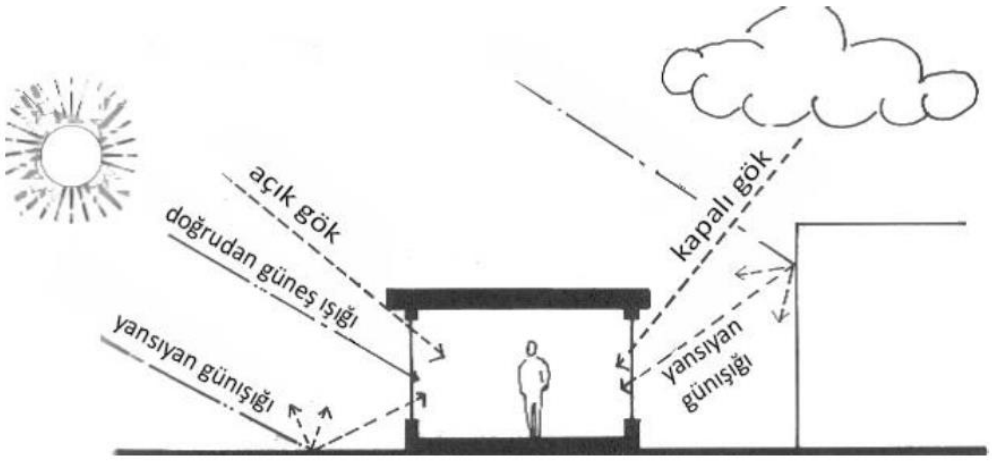
Kaynak: Marsh, 2009'dan uyarlanarak Arpacıoğlu, 2010 tarafından düzenlenmiştir.

Şekil 2.6'da yer alan grafik bu durumu açıkça ortaya koymakta; özellikle "Konsept Aşaması" olarak tanımlanan erken tasarım evresinde, tasarıma yönelik değişikliklerin

hem uygulanabilirlik açısından daha esnek hem de maliyet açısından daha etkin olduğu görülmektedir (Marsh, 2009; akt. Arpacıoğlu, 2010). Bu evrede gerçekleştirilen müdahaleler, yalnızca proje kalitesine yön vermekle kalmayıp, aynı zamanda ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek çevresel ya da işlevsel sorunların da önüne geçilmesini sağlamaktadır. Ancak uygulamada, fiziksel çevre parametreleri –özellikle günışığı ve iç mekân konforu gibi nitelikler– genellikle yapım aşamasına yakın değerlendirilmekte, bu da hem maliyetleri artırmakta hem de tasarımın sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti açısından potansiyelini sınırlamaktadır (Arpacıoğlu, 2010). Dolayısıyla, sürdürülebilir ve kullanıcı odaklı mekânlar üretilebilmesi için fiziksel çevre koşullarının erken tasarım evresinde dikkate alınması, yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda performans açısından da stratejik bir gereklilik haline gelmiştir.

2.3 Binalarda Günışığını Etkileyen Faktörler

Günışığı, kaynağını güneşten alan doğrudan ışınım ile gökyüzü tarafından yayılan yaygın ışınımın birleşimi olarak tanımlanmaktadır (Kılıç, Z.A, 2018).



Şekil 2.7: Günışığı Bileşenleri

Kaynak: Kılıç, Z. A. (2018)

Bu ışınım bileşenleri, gün boyunca yön, yoğunluk ve spektral içerik bakımından değişkenlik göstermekte ve iç mekânlara farklı biçimlerde yansımaktadır (Şekil 2.7).

Günışığı kavramı; ışığın fiziksel özellikleri, atmosferik ortamla etkileşimi ve insan görsel algısı bağlamında ele alınmakta olup, yapılan tanımlar genellikle doğrudan güneş ışınımı ile gökyüzünden yayılan dağınık ışığın bütünsel etkisini kapsamaktadır.

Günışığı, bina tasarım sürecinde yalnızca bir aydınlatma unsuru değil, aynı zamanda mekânsal organizasyon, enerji performansı ve kullanıcı konforunu belirleyen temel bir tasarım parametresidir. Mimari tasarım sürecinin ilk evrelerini kapsayan erken tasarım aşaması, günışığı stratejilerinin en belirleyici biçimde yönlendirildiği ve yapıya dair temel kararların verildiği kritik bir dönemdir. Bu bağlamda, doğal aydınlatma tasarımı yalnızca tasarım aşamasına özgü geçici bir karar alanı değil; arsa seçiminden yapının işletme sürecine kadar devam eden sürekli ve dinamik bir tasarım girdisidir.

Mimari tasarım süreci, farklı ölçeklerde alınan kararların bütüncül bir yaklaşımla bir araya getirilmesiyle şekillenmektedir. Bu kararlar; yerleşim birimi, bina kütlesi, iç mekân hacmi, yapı elemanları ve malzeme seçimi gibi temel tasarım düzeylerini kapsamaktadır. Günışığının etkin kullanımı, söz konusu ölçeklerin her birinde gerçekleştirilen planlama ve yönlendirmelere bağlı olarak sağlanmaktadır. Ancak uygulamada, yerleşme ölçeğine ilişkin kararların tasarımcılar tarafından doğrudan belirlenmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda, doğal aydınlatma stratejileri daha çok bina formu, cephe açıklıkları ve iç mekân yüzey özellikleri üzerinden geliştirilmektedir (Yener, 2005).

Mimari tasarım sürecinde, günışığına yönelik planlama farklı aşamalarda farklı ölçek ve içeriklerle ele alınmaktadır:

1. **Kavramsal Tasarım Aşaması:** Yapının biçimi, oranları ve açıklıkları ile bina sistemlerinin entegrasyonu ve işlevi gibi temel kararların alındığı bu aşamada, günışığı tasarımı söz konusu kararları etkileyebilmekte veya bu kararlardan etkilenmektedir.

2. Tasarım Geliştirme Aşaması: Yapı tasarımının ilerlemesiyle birlikte, binanın farklı bölümleri için günışığına yönelik özgül stratejiler geliştirilmektedir. Bu aşamada cephe tasarımı, iç mekân kaplamalarının belirlenmesi ve yapay aydınlatma sistemleri de dâhil olmak üzere sistem ve hizmetlerin seçimi ile entegrasyonu, doğrudan yapının günışığı planı ile ilişkilidir. Günışığı tasarımı, yalnızca fiziksel mekânları değil, aynı

zamanda teknik sistemlerin organizasyonunu da yönlendiren bir girdi olarak bu evrede belirleyici rol oynamaktadır.

3. Uygulama/İnşaat Planlama Aşaması: Bu aşamada günışığına ilişkin hedefler, malzeme ve bileşen seçimlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle cam yüzey özellikleri, gölgelik sistemler ve açıklık detayları gibi performansa duyarlı öğelere ilişkin kararlar, uygulama düzeyinde netleştirilmektedir.

4. İşletme/Kullanıcı Aşaması: Yapı kullanıma açıldığında, doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin işleyişi test edilmekte; aydınlatma kontrolleri sistematik olarak kalibre edilmekte ve uzun vadeli işletim ve bakım planları devreye alınmaktadır.

Günışığı tasarım stratejilerinin erken tasarım aşamasından itibaren dikkate alınması, yapıların enerji verimliliğinin artırılması, insan sağlığının korunması ve mimari estetiğin iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Ruck ve ark. 2000).

Günışığı performansı, kullanıcıların mekân içindeki deneyimini doğrudan etkileyen önemli bir parametredir. Bu performansı belirleyen faktörler "kontrol edilemeyen doğal faktörler" ve "tasarımla kontrol edilebilen faktörler" olmak üzere iki ana grupta değerlendirilmektedir (Cerutti, 2020).

Tablo 2.1'de günışığı performansına etki eden parametrelerin sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 2.1: Günışığı Performansına Etki Eden Parametrelerin Sınıflandırılması

Doğal Faktörler (Kontrol Edilemeyen)	**Tasarım ile Kontrol Edilebilen Faktörler**
Coğrafi konum (enlem ve boylam)	Binanın geometrisi

İklim koşulları (güneşin hareketi, bulutluluk vb.)	Binanın yönlenmesi
Çevresel yapılaşma (çevredeki binalar ve engel yapıların varlığı)	Saydam yüzeylerin konumu ve özellikleri
	Hacim boyutları
	İç yüzeylerin yansıtıcılık değerleri
	Gölgeleme elamanı ve güneş denetim sistemleri

Kaynak: Reinhart ve Fitz 2006, Cerutti, 2020

Mimari tasarım sürecinde bu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi hem görsel konforun sağlanması hem de enerji verimliliği açısından kritik öneme sahiptir.

2.3.1 Doğal (Kontrol Edilemeyen) Faktörler

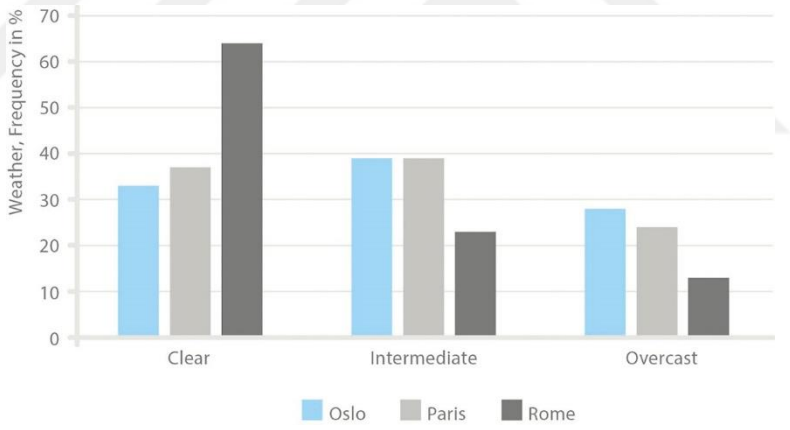
Günışığı performansını etkileyen çevresel koşullar, doğrudan kontrol edilemeyen ancak tasarım sürecine yön veren temel parametreler arasında yer almaktadır. Gökyüzünün parlaklık dağılımı ve aydınlığı, güneşin konumu ve ışıkla ilişkili parlaklık ve aydınlık etkisi, yer yüzeyinin ışık yansıtma özellikleri ile doğal engellerin boyutları, konumları ve ışık yansıtma kapasiteleri gibi iklimsel değişkenler, iç mekânlardaki aydınlık düzeylerinin gün içinde farklılık göstermesine neden olmaktadır (Berköz ve ark., 1995). Bu unsurlar, çevresel faktörlerin tasarım üzerindeki etkilerini anlamak ve optimize etmek amacıyla dikkate alınmaktadır. Günışığının yönü, yoğunluğu ve sürekliliği, yalnızca belirli bir zaman aralığında değil, günün farklı saatlerinde değerlendirilmesi gereken dinamik bileşenlerdir. Bu nedenle dış ortamın hava koşulları ve atmosferik özellikleri, günışığı analiz sürecine doğrudan entegre edilmektedir. Bu tür parametreler, tasarımcının doğrudan müdahale edemeyeceği ancak göz önünde bulundurması gereken çevresel veriler olarak tanımlanmakta ve cephe tasarımı sürecinde dikkate alınmaktadır (Kazanasmaz 2009).

Doğal çevreye ilişkin tasarım parametreleri kontrol edilemeyen iklime ve çevresel koşulara bağlı tasarım parametreleridir. Bunlar;

- Coğrafi konum (enlem ve boylam)
- İklim koşulları (güneşin hareketi, bulutluluk vb.)
- Yapının çevresi ile ilişkisi, engel yapıların varlığıdır.

2.3.1.1 Coğrafi Konum

Günışığı performansı, yapıların coğrafi konumu, enlem derecesi ve iklimsel özellikleri gibi doğal çevre parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, farklı şehirlerdeki güneş ışınımı yoğunluğu, gökyüzü koşulları ve güneşin yıl içerisindeki konum değişimleri, mimari tasarım sürecinde dikkate alınması gereken temel değişkenler arasında yer almaktadır.



Şekil 2.8: Paris, Roma ve Oslo Günışığı Performansı Karşılaştırması Grafiği

Kaynak: VELUX Knowledge Centre for Daylight, 2014

Şekil 2.8'de görülmekte olan grafikte üç farklı Avrupa şehri Oslo, Paris ve Roma'nın aylık gökyüzü koşulları ve doğal ışık performansı karşılaştırılmaktadır. Günışığı performansı şehirlerin coğrafi konumları ve iklim koşulları nedeniyle farklılık göstermektedir. Roma, açık gökyüzü sıklığının yüksek olması sayesinde, yıl boyunca daha fazla doğal ışık alarak Paris ve Oslo'ya kıyasla avantajlı bir konumda bulunmaktadır. Bu durum, yıl boyunca doğal aydınlatmanın daha etkin bir şekilde

sağlanmasına olanak tanımaktadır. Oslo ise güneşin gökyüzündeki yüksekliğinin daha düşük olduğu bir güneş yoluna sahiptir. Özellikle kış aylarında, parlama sorunları meydana gelmektedir. Paris ise açık ve bulutlu gökyüzü koşulları arasında dengeli bir profile sahip olup, günışığı açısından Roma ve Oslo arasında orta bir seviyede yer almaktadır. Bu farklılıklar, her bir şehirde günışığı kullanımını optimize etmek için farklı tasarım stratejileri gerektirmektedir (VELUX Knowledge Centre for Daylight, 2014).

Bununla birlikte, doğal aydınlatma performansını etkileyen bir diğer çevresel unsur, yapının yer aldığı arazinin topografik özellikleridir. Arazinin eğimi, yönelimi ve mutlak yüksekliği, yapı yüzeylerine ulaşan ışınımın yönü ve miktarını doğrudan etkilemektedir. Kuzey yarımkürede güneye yönelen eğimli araziler, kış aylarında daha dik gelen güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılmasına olanak tanımaktadır. Buna karşılık, doğu veya batı yönelimli yüzeylerde mevsimsel farklılıklar nedeniyle ışınım düzeyi değişmekte, bu durum yapı yerleşimini ve cephe yönlendirmesini doğrudan etkilemektedir (Tekbıyık, 2018). Topoğrafyanın iklimsel verilerle birlikte değerlendirilmesi, doğal aydınlatmanın sürekliliği ve etkinliği açısından kapsamlı bir analiz süreci gerektirmektedir.

2.3.1.2 İklim Koşulları

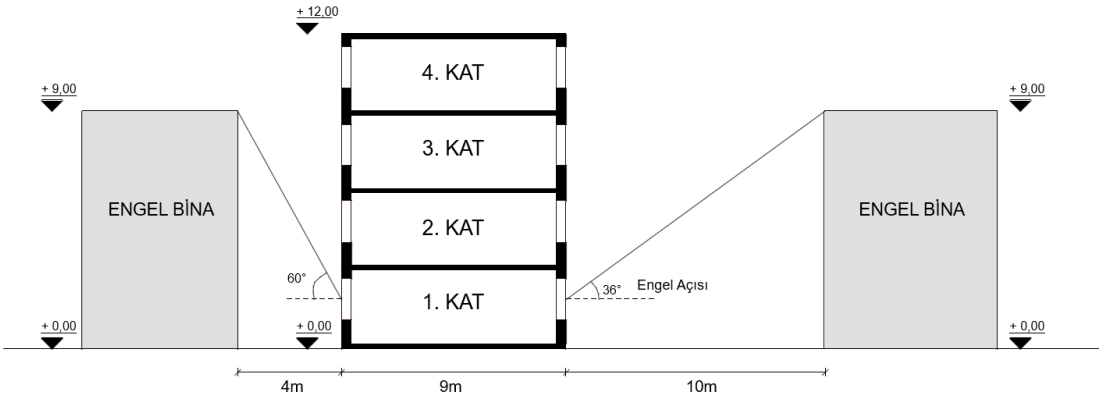
Yapının konumlandığı bölgenin sahip olduğu coğrafi ve iklimsel koşullar, günışığı tasarımını doğrudan etkileyen temel çevresel değişkenleri oluşturmaktadır. Enlem ve boylam değerleri, deniz seviyesinden yükseklik, iklime bağlı hava olayları ve güneşlenme süresi gibi parametreler, arazinin fiziksel kimliğini tanımlamakta ve tasarım kararlarını yönlendirmektedir (Çiftçi, 2023).

İklim, bina cephe tasarımında önemli bir faktördür (Mahdavinejad ve ark. 2024). İklim tipine bağlı olarak doğal aydınlatma stratejileri farklılık göstermektedir. Soğuk ve kapalı hava koşullarının hâkim olduğu bölgelerde, günışığından en üst düzeyde yararlanmak amacıyla geniş açıklıklar ve tepe pencereleri gibi saydam yüzeyler tercih edilmektedir. Buna karşılık, sıcak ve nemli iklim bölgelerinde tasarımlar, gelen ışığı kontrol altına almak ve gölgelendirme sağlamak amacıyla biçimlendirilmektedir. Bu

nedenle, uygulanacak mimari tasarımın iklimsel bağlamla uyumlu olması gerekmektedir (Lechner, 2014, akt. Çiftçi, 2023). Günışığı tasarımında iklim, bina performansını değerlendirmek için kullanılan iklim tabanlı günışığı modelleme (CBDM) yöntemlerinde ayrıca temel bir veri kaynağıdır. İklim verileri, yıllık güneş ışığı seviyelerini ve gökyüzü koşullarını simüle ederek tasarım kararlarını optimize etmekte kullanılmaktadır.

2.3.1.3 Binanın Çevresi ile İlişkisi

İklimsel koşulların yanı sıra, yapının çevresinde yer alan fiziksel engeller de günışığı performansını doğrudan etkileyen bir diğer önemli parametreyi oluşturmaktadır. Bu engeller, konumları ve boyutları doğrultusunda doğrudan güneş ışınımı ile gökyüzü parlaklığının iç mekâna erişimini sınırlamakta ve böylece iç mekânlardaki aydınlık düzeyini azaltabilmektedir. Aynı zamanda bu yüzeylerin sahip olduğu yansıtıcılık özellikleri ile yapıların yükseklikleri ve aralarındaki mesafeler, doğal aydınlatma performansını etkilemektedir (Yener 2005). Yapıların yakın çevresindeki binaların yükseklik ve konumlarına bağlı olarak günışığını engelleme derecesi "engel açısı" kavramı ile tanımlanmaktadır. Komşu yapıların hem yüksek hem de yakın konumda olması, özellikle alt katlarda doğal ışık erişimini sınırlandırmaktadır. Kentsel alanlarda artan yapı yoğunluğu nedeniyle, yapıların arasındaki mesafe ve cepheye gelen ışığın geometrik ilişkisi dikkatle değerlendirilmelidir. Bu açı, genellikle pencere açıklığının orta seviyesinden çizilen düzlemler aracılığıyla belirlenmekte ve ışık erişimini analiz etmede kullanışlı bir ölçüt sunmaktadır.



Şekil 2.9. Farklı Mesafelerdeki Engel Yapıların Günışığı Erişimine Olan Etkisi

Yapı çevresinde farklı mesafelerde konumlanan engel binalar, cepheye ulaşan günışığını sınırlayan değişken engel açıları oluşturmaktadır. Şekil 2.9'da bu duruma ilişkin tipik bir örnek yer almaktadır. Örneğin, 4 metre mesafedeki bir engel yapının ikinci katta oluşturduğu yaklaşık 60°'lik engel açısı, günışığı erişimini önemli ölçüde kısıtlarken; 10 metre uzaklıkta bulunan bir yapının oluşturduğu 36°'lik açı daha sınırlı bir gölgeleme etkisi yaratmaktadır. Bu fark, özellikle alt katların doğrudan doğal ışık alma kapasitesini azaltmakta ve buna bağlı olarak yapay aydınlatma gereksinimini artırmaktadır.

Bunun yanı sıra, engel yüzeylerinin ışık yansıtma özellikleri de iç mekânlardaki aydınlık düzeyinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, doğal aydınlatma performansının optimize edilebilmesi için engel açısı ve yansıtıcılık gibi parametrelerin erken tasarım aşamasında detaylı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir.

2.3.2 Tasarım ile Kontrol Edilebilen Faktörler

Tasarım ile kontrol edilebilen faktörler, mekanın doğal ışık ile olan ilişkisini optimize etmek ve kullanıcı konforunu artırmak amacıyla tasarımcının kontrolünde olan unsurlardır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir:

- Binanın geometrisi
- Binanın yönelimi

- Opak/saydam yüzey oranı
- Saydam yüzeylerin konumu ve özellikleri
- Hacim boyutları
- İç yüzeylerin yansıtıcılık değerleri
- Gölgeleme elamanı ve güneş denetim sistemleri

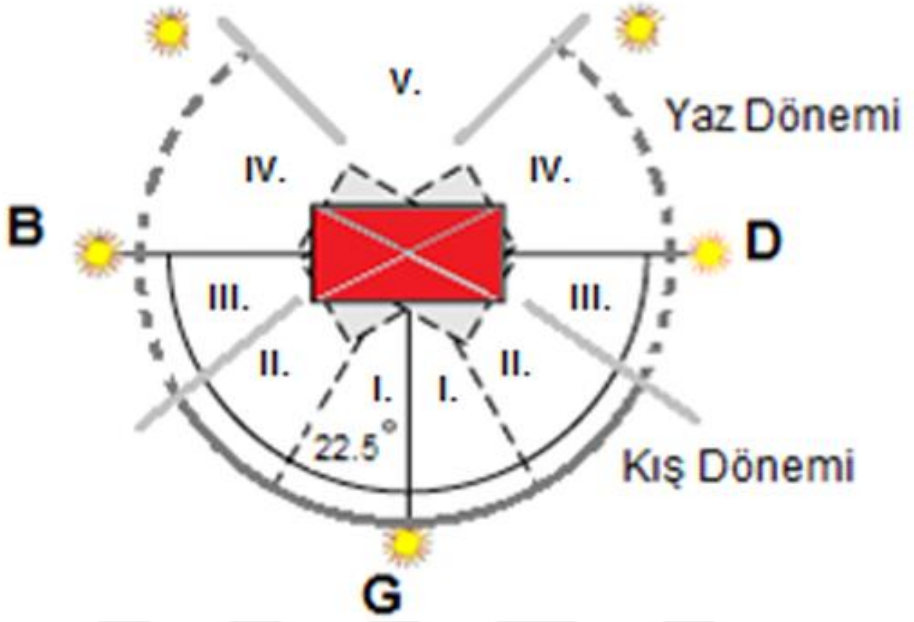
2.3.2.1 Binanın Geometrisi

Bina formu ve geometrisi, günışığından yararlanma düzeyini doğrudan etkileyen temel tasarım parametreleri arasında yer almaktadır. Cephe alanının artması, iç mekânlara ulaşan doğal ışık miktarını artırmaktadır. Ancak soğuk iklim koşullarında, ısı kayıplarını en aza indirme hedefiyle daha kompakt bina formları tercih edilmekte; bu da geniş cephe yüzeyleri aracılığıyla sağlanabilecek günışığı performansıyla çelişebilmektedir. Bu tür yapılarda, iç mekânların yeterli düzeyde aydınlatılabilmesi için avlulu veya atriumlu plan çözümleri kullanılmakta, böylece günışığının birden fazla yönden iç hacimlere ulaşması sağlanmaktadır. Atriumlar, yalnızca aydınlık düzeyini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda yapının ısıl dengesine de olumlu katkı sunmaktadır. (Kutlu, 2019).

2.3.2.2 Binanın Yönelimi

Bina yönlendirmesi, yalnızca yapının çevresel verilerle uyumunu değil, aynı zamanda enerji verimliliği ve kullanıcı konforunu doğrudan etkileyen stratejik bir tasarım kararını oluşturmaktadır. Yapının, kullanım amacı ve iklimsel özellikler göz önünde bulundurularak uygun yöne yerleştirilmesi, ısıtma ve aydınlatma ihtiyacını azaltarak enerji kazançlarını artırmaktadır. Özellikle ılıman ve soğuk iklim bölgelerinde, güneş ışınımından en yüksek düzeyde yararlanmak amacıyla yapıların güney yönüne bakacak şekilde konumlandırılması önerilmektedir. Güneye yönlendirilmiş cepheler, kış aylarında düşük açıyla gelen güneş ışığını daha etkin biçimde alarak pasif ısı kazancı sağlamaktadır. Buna karşın yapının doğu veya batı yönüne döndürülmesi, gün

içinde ışınımın sürekliliğini azaltmakta ve enerji performansını olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 2.10: Güneşin Yıl İçindeki Konumuna Bağlı Olarak Yapı Yönlendirmesinin Günışığı Alımına Etkisi

Kaynak: Kutlu, 2019.

Şekil 2.10'da, yıl boyunca güneşin farklı yüksekliklerde izlediği yörüngelere bağlı olarak cephelerin aldığı ışınım miktarları görselleştirilmekte ve yönlendirme kararlarının bu bağlamda nasıl optimize edilebileceği gösterilmektedir (Kutlu, 2019). Bu bağlamda, kuzey yarımkürede uzun cephesi güney yönüne bakan yapılar gün içinde doğrudan güneş ışınımına en çok maruz kalan bina tipleri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, özellikle yaz aylarında güney cephelerde gölgeleme elemanlarının kullanımını gerekli kılmaktadır. Öte yandan kuzey cepheler doğrudan ışınıma maruz kalmadığı için yayınık günışığıyla aydınlanmakta ve bu cephelerde gölgeleme ihtiyacı bulunmamaktadır. Ekvatora yaklaşıldıkça güneş ışınlarının geliş açısının dikleşmesi, yönlenme stratejilerinin iklimsel bağlamla uyumlu biçimde ele alınmasını daha da önemli hâle getirmektedir. Doğu-batı eksenine paralel yerleştirilen yapılar, kuzey ve güney cephelerinden sabah ve öğle saatlerinde yüksek miktarda ışınım almakta ve bu sayede doğal aydınlatma potansiyelini artırmaktadır (Öztürk, 2006).

Güney yönü, gün boyunca daha fazla güneş ışığı aldığı için doğal aydınlatma için ideal bir yön olarak kabul edilmektedir. Kuzey yönü ise radyasyona maruz kalmadan günışığı almayı sağlamaktadır. Batı ve doğu yönleri, gün içinde güneşin yatay olarak hareket etmesi nedeniyle kontrol etmesi daha zor ve istenmeyen ısı artışlarına neden olmaktadır. Ancak bu prensipler, bina konumuna, iklim koşullarına ve tasarım hedeflerine bağlı olarak değişebilmektedir. Her projenin özgün ihtiyaçları ve koşulları göz önüne alınması gerekmektedir. Binalarda maksimum günışığı kullanımı, aydınlatma, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketimini minimize etmek için kritik bir faktördür.

Bina tasarım sürecinde yapının yönelimi, mekanların tahsisi ve pencere duvar oranı gibi erken tasarım aşama kararları, sonraki tasarım adımlarında bina performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle uygun erken tasarım kararlarının alınması, yüksek performanslı ve sürdürülebilir bir bina tasarımın ayrılmaz bir parçası olmalıdır (Mostavafi ve ark. 2022; Shahbazi ve ark. 2019).

2.3.2.3 Saydam Yüzeylerin Konumu ve Özellikleri

Yapı kabuğunda yer alan saydam yüzeyler, güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmak, binalara estetik bir değer katmak ve doğal havalandırma sağlayarak işlevselliği artırmak gibi birçok önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, erken tasarım aşamasında saydam yüzeylerin bilinçli kullanımı hem enerji tasarrufu hem de bina sakinlerinin konforu ve refahı açısından büyük önem taşımaktadır.

İyi bir aydınlatma, görev alanında yeterli ışık yoğunluğu, doğru aydınlatma yönü, uygun renksel geriverim ve herhangi bir rahatsızlık yaratmayan koşullar sağlayacaktır (Abdelhakim ve ark. 2019). Tasarım aşamasında görsel konfor gerekliliklerini sağlamak ve doğru kararlar almak aynı zamanda enerji tüketiminin de azalmasına katkı sağlamaktadır. (Çelik ve Ünver, 2019; Zhang ve ark. 2017).

Gün boyunca ve yıl içerisinde güneş ışınlarının geliş açısı değişmekte olup, bu durum cepheye ulaşan ışık miktarını doğrudan etkilemektedir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu kuzey yarımkürede, güney cepheler doğrudan güneş ışınımı alma

potansiyeliyle yüksek günışığı performansı sunmakta; buna karşın doğu ve batı cephelerinde düşük açılı ışınlar nedeniyle parlama riski ve ısı kazancı artışı gözlemlenmektedir. Kuzey cepheler ise daha sabit, yayınık günışığı ile homojen bir aydınlık sağlamaktadır.

Günışığı performansını etkileyen başlıca tasarım kararlarından biri, açıklıkların yerleşim düzenidir. Açıklıkların sadece boyutu değil, hangi duvarlarda konumlandırıldıkları ve duvar üzerindeki dikey pozisyonları da iç mekâna yayılan ışığın düzgünlüğü ve dağılım kalitesi üzerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle pencerelerin tek bir duvarda mı yoksa birden fazla duvarda mı yer alacağına dair kararlar, bina tasarımının erken aşamasında verilmelidir. Görsel konforun sağlanabilmesi için yanal açıklıkların mümkün olduğunca farklı cephelerde konumlandırılması, ayrıca pencerelerin duvar üzerinde daha yüksek noktalarda yer almasıyla daha homojen bir aydınlatma elde edilmesi önerilmektedir.

Öte yandan, cephe tasarımında saydam ve opak yüzeylerin oranı ile ifade edilen saydamlık oranı, hem günışığının iç mekâna giriş düzeyini hem de cephenin mimari karakterini belirlemektedir. Saydamlık oranı; yapının bulunduğu iklim, cephe yönelimi, mekân organizasyonu ve kullanıcı aktiviteleri gibi çok sayıda etmene bağlı olarak şekillenmektedir. Uygun oranların belirlenmesi, yalnızca aydınlatma kalitesini değil, aynı zamanda doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin birlikte değerlendirilerek enerji verimliliğinin artırılmasını da mümkün kılmaktadır.

Saydam yüzeyler, gelen doğal ışığın belirli bir oranını iç mekâna ileterek aydınlatma performansına doğrudan katkı sağlamaktadır. Pencerelerin ışık geçirgenliğini belirleyen cam türü, doğrama kalınlığı ve cam yüzeyindeki kirlilik durumu gibi değişkenler, hacim içine ulaşan günışığı miktarını doğrudan etkilemektedir (Yücel 2019).

Camların günışığından yararlanma potansiyeli, temel olarak ışık geçirme çarpanı (t) ve günışığı çarpanı (D) gibi fotometrik parametrelerle tanımlanmaktadır. Camın fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişen Işık Geçirme Çarpanı (IGÇ) cama gelen toplam ışığın yüzde kaçının iç mekâna ulaştığını göstermekte; değer yükseldikçe iç mekândaki günışığı miktarı da artmaktadır. Hacim içinde ulaşılan günışığı düzeyi ise

Günışığı Çarpanı (D) ile tanımlanmakta ve yayınık gök ışığı altında iç yatay aydınlığın dış yatay aydınlığa oranını ifade etmektedir (Düzgün ve Yağmur, 2019)

Camın ideal ışık geçirgenliği, yalnızca teknik performansla değil, aynı zamanda yapının konumlandığı bölgenin iklimsel özellikleriyle de doğrudan ilişkilidir. Örneğin, kuzey enlemlerinde güneş ışınlarının daha eğik açıyla gelmesi ve yayınık ışığın hâkim olması nedeniyle yüksek geçirgenliğe sahip camlar tercih edilmelidir (Mokhtari ve ark., 2023). Buna karşılık, güney bölgelerde güneş ışınlarının daha dik gelmesi ve yoğun ışınım nedeniyle, aşırı parlaklığı ve ısı kazançlarını sınırlamak adına daha düşük geçirgenlik değerlerine sahip camlar önerilmektedir (Sezer, 2005). Ayrıca cam seçiminde yalnızca ışık geçirgenliği değil, ısı ve ses yalıtımı gibi diğer performans kriterlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Yener, 2005).

Cam yüzeylerde zamanla oluşan kirlenmeler, iç mekândaki günışığı aydınlık düzeyinde azalmaya neden olmaktadır. Bu azalma oranı, Cam Kirlilik Düzeltme Çarpanı (CKÇ) olarak adlandırılmakta ve aydınlık hesaplamalarında dikkate alınmaktadır. CKÇ değeri; yapının bulunduğu çevresel koşullar, iç mekânın kullanım amacı, cam yüzeyin eğim açısı ve temizlik sıklığı gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Taşoluk, 2014).

Pencerelerdeki net cam alanı, doğrama türü ve kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Doğrama elemanlarının artması, net cam alanını azaltarak iç mekâna giren günışığı miktarını düşürmektedir. Bu nedenle, doğal aydınlatma açısından yeterli ışık sağlanabilmesi için pencere tasarımında yeterli net cam yüzeyi bırakılmalıdır. Net cam alanının pencere açıklığına oranı, "Doğrama Kalınlık Çarpanı (DKÇ)" olarak adlandırılmakta ve ışık geçirgenliğinde dikkate alınması gereken bir parametreyi ifade etmektedir. (Taşoluk, 2014).

2.3.2.4 Hacim Boyutları

Hacim boyutları, doğal aydınlatma performansını etkileyen temel mekânsal değişkenler arasında yer almakta olup, özellikle yükseklik ve derinlik parametreleri iç mekânda günışığının yayılımını doğrudan etkilemektedir. Hacmin yüksekliği arttıkça,

zeminden yansıyan ışığın tavana ulaşana kadar katettiği dikey mesafe de uzamakta; bu da ışığın yatay düzlemde daha fazla alana yayılmasını ve derinliklere doğru ilerlemesini kolaylaştırmaktadır. Ancak hacim derinliği arttığında, doğal ışığın iç bölgelere ulaşması zorlaşmakta ve aydınlık düzeyinde azalma meydana gelmektedir. Bu düşüş, ışığın yüzeylerde maruz kaldığı çoklu yansımalar sonucu enerjisinin kademeli olarak azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, günışığından daha yoğun faydalanılması gereken alanların açıklıklara yakın, düşük aydınlık gereksinimi olan bölümlerin ise hacmin daha derin kısımlarında yer alması önerilmektedir. Derin hacimlerde yeterli aydınlık düzeyinin sağlanabilmesi için saydam yüzeylerin boyutu ve konumlandırılması da kritik rol oynamaktadır. Özellikle açıklıkların orta kot yerine daha üst seviyelere yerleştirilmesi, ışığın mekâna daha derinlemesine nüfuz etmesini sağlamakta; yatay açıklıklar ise ışığı daha geniş bir alana yayarak homojen bir aydınlatma sunabilmektedir (Mokhtari ve ark., 2023).

2.3.2.5 İç Yüzeylerin Yansıtıcılık Özellikleri

İç mekândaki yüzeylere gelen ışığın davranışı, yüzeyin yansıtma katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Bir yüzeye temas eden ışık, yüzeyde yansıma, soğurma ve geçirme olmak üzere üç temel etkileşime uğramaktadır.



Şekil 2.11: Işığın Yüzeyle Etkileşimi

Kaynak: Baker ve Steemers, 2002'den akt. Taşoluk, 2014

Opak (saydam olmayan) malzemelerde ışığın bir kısmı yüzeyden yansırken büyük bir bölümü soğurulur ve içeri geçemez (Şekil 2.11). Buna karşılık, saydam malzemelerde

ışığın bir kısmı yansırken, önemli bir bölümü yüzeyi geçerek iç mekâna ulaşmaktadır (Okutan, 2008).

Mekân içerisindeki yüzeylerin renk, doku ve malzeme özellikleri, günışığının dağılımı ve aydınlık düzeyleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle açık renkli ve yüksek yansıtıcılığa sahip yüzeyler, gelen günışığının iç hacimde daha fazla yansıyarak derin bölgelere iletilmesine katkı sağlamaktadır. Buna karşılık, koyu renkli ve düşük yansıtıcılı yüzeyler ışığın emilimini artırarak aydınlık düzeyini sınırlamakta, bu da iç mekânda homojen olmayan bir ışık dağılımına neden olabilmektedir. Ayrıca yüzeylerin temizliği ve zamanla oluşan kirlenme durumu da yansıtma performansını düşürerek aydınlatma kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Çiftçi 2023).

Ayrıca, iç yüzeylerde zamanla oluşabilecek kirlenmeler, yüzeyin açık tonlardan uzaklaşmasına ve dolayısıyla ışık yansıtma çarpanının düşmesine neden olmaktadır. Bu durum, mekânın bulunduğu coğrafi konum ve kullanım amacı doğrultusunda değişen oranlarda gün ışığı kaybına yol açabilmektedir. Bu nedenle, doğal aydınlatma tasarımında yalnızca yüzey rengi ve malzeme özellikleri değil, uzun vadede oluşabilecek yüzey kirlenmeleri de dikkate alınmalıdır.

İç mekânda bulunan yüzeylerin sahip olduğu renk ve ışık yansıtma katsayısı, günışığının mekân içerisindeki yayılımını ve aydınlık düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzeylerin yansıtıcılığı, ışığın hacim boyunca nasıl yönleneceğini belirlemekte ve görsel konforun sağlanmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Günışığı, mekâna girdikten sonra iç yüzeylerden yansıyarak hacmin derin kısımlarına ulaşmakta; açık renkli ve yüksek yansıtma katsayısına sahip yüzeyler, ışığın daha fazla dağılmasına olanak tanımaktadır. İç yüzey malzemelerinin seçiminde yansıtıcılık özellikleri dikkate alınmakta ve tasarım sürecinde bu parametreler optimize edilmeye çalışılmaktadır. Yansıtıcılığı yüksek malzemelerin kullanılması, penceresiz alanlarda daha geniş ve daha konforlu etkiler sağlanmasına yardımcı olduğu bilinmektedir (Mandala, 2019).

EN 12464-1 standardı ise iç yüzeyler için önerilen yansıtma katsayı aralıklarını belirleyerek tasarımcıya yön göstermektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları (TS EN 12464-1:2021)

Yapı Elemanı	Yüzeylerin Işık Yansıtma Katsayıları
Tavan	0.7 - 0.9
Duvar	0.5 - 0.8
Döşeme	0,2 - 0.6

Kaynak: TS EN 12464-1:2021

İç yüzey yansıtma çarpanlarına yönelik, tavan, duvar ve döşeme için TS EN 12464-1 Standartı'nda önerilen alt ve üst sınırlar olan 0.70, 0.50, 0.20 ve 0.90, 0.80, 0.60 değerleridir (TS EN 12464-1:202).

2.3.2.6 Gölgeleme Elemanı ve Güneş Denetim Sistemleri

Gölgeleme elemanları, doğal aydınlatma performansını artırmak ve iç mekânlarda görsel konforu sağlamak amacıyla kullanılan temel pasif tasarım stratejilerindendir. Pencere sistemleri kadar işlevsel öneme sahip olan bu elemanlar, iç mekâna ulaşan günışığının miktarını, yönünü ve süresini denetleyerek hem kamaşmayı azaltmakta hem de aşırı ısıl kazançları sınırlayarak enerji etkinliğine katkıda bulunmaktadır. Güneş kontrol sistemlerinin işlevi yalnızca görsel konforla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda iç ortamların termal dengesinin sağlanmasında da önemli bir rol oynamaktadır (Cerutti, 2020).

Gölgeleme sistemleri, genel olarak doğal, yapay ve gelişmiş olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Doğal gölgeleme elemanları; yapının içinde bulunduğu topografik koşullar, çevresel bitki örtüsü ve komşu yapılaşma gibi çevresel engellerden kaynaklanan pasif koruma öğelerini kapsamaktadır. Yapay gölgeleme sistemleri ise biçimsel özelliklerine göre (yatay, dikey, kafes ya da panel), yerleşim konumlarına göre (cephe içi, cephe dışı veya çift kabuk cephe arası) ve hareket

niteliklerine göre (sabit, manuel ya da otomasyon kontrollü) alt başlıklarda sınıflandırılmaktadır. Gelişmiş gölgeleme sistemleri ise teknolojik gelişmelerle ortaya çıkan; prizmatik camlar, holografik optik bileşenler, ışık yönlendirici film kaplı hareketli ışık rafları gibi yenilikçi çözümleri içermektedir (Erkan, 2024).

Güneşin yıl boyunca izlediği hareket göz önünde bulundurularak tasarlanan bu sistemler, güneş ışığının geliş açısına bağlı olarak doğrudan ya da yansıtmalı biçimde iç mekâna alınmasını düzenlemektedir. Bu sayede günün ve yılın farklı zaman dilimlerinde hem görsel ve termal konfor düzeyleri korunmakta, hem de yapıların enerji tüketimi üzerinde olumlu etkiler sağlanmaktadır. Gölgeleme elemanları bu yönüyle, sürdürülebilir mimari uygulamaların ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

GÜNIŞIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ VE DEĞERLENDİRME SİSTEMLERİ

Günışığı analizleri, mimari tasarım sürecinde doğal aydınlatma koşullarını nicel olarak değerlendirmek amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Bu analizler, günışığının mekân içindeki dağılımını zamansal ve mekânsal olarak ele almakta hem görsel konfor hem de enerji verimliliği açısından temel veriler sunmaktadır. Günümüzde bu analizler hem

geleneksel hesaplama yöntemleri ile hem de sayısal simülasyon teknikleriyle yürütülmekte olup, aşağıdaki alt başlıklarda analiz yöntemleri ve bu süreci destekleyen simülasyon araçları detaylı olarak ele alınmaktadır.

3.1 GÜNIŞIĞI ANALİZ YÖNTEMLERİ

Günışığı analizleri, başlangıçta yalnızca dış ortam koşullarını tahmin etmeye odaklanırken; zamanla bina geometrisi, malzeme özellikleri ve görsel konfor gibi iç mekân parametrelerini dikkate almanın önemi giderek artmıştır. Ayoub (2019), bu analizlerin ölçekli modeller, analitik formüller, hesaplamalı simülasyonlar ve makine öğrenimi yöntemleriyle daha kapsamlı hale geldiğini ve enerji verimliliği ile görsel konforun optimize edilmesinde önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

Günışığı analiz yöntemleri, bir yapının doğal aydınlatma performansını değerlendirmek için kullanılan çeşitli yaklaşımlardan oluşmaktadır. Hesaplama yöntemleri, genellikle statik, dinamik ve iklim tabanlı günışığı modellemesi olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler, farklı analiz ihtiyaçlarına yanıt verecek şekilde geliştirilmiş ve bina performansını daha doğru tahmin etmek için kullanılmaktadır. Her yöntem, analiz edilen zaman dilimi, kullanılan veriler ve değerlendirme metrikleri açısından farklılık göstermektedir.

3.1.1 Statik Günışığı Modellemesi

Statik günışığı modellemesi, doğal aydınlatma performansını sabit gökyüzü koşulları altında analiz eden en temel yöntemlerden biridir. Hızlı ve erken tasarım kararlarını desteklemek için kullanışlı olmakla birlikte, dinamik etkileri veya mevsimsel değişimleri dikkate almaması nedeniyle sınırlı bir analiz sağlamaktadır. Bu yöntemde en yaygın kullanılan metrik olan DF iklim değişikliğine duyarsız olması sebebiyle 'statik' bir ölçüm olarak görülmektedir (Mangkuto ve ark., 2016)

3.1.2 Dinamik Günışığı Modellemesi

Dinamik modelleme, gün boyunca ve yıl boyunca değişen güneş ışığı koşullarını analiz etmektedir. Bu yöntemde kullanılan Daylight Coefficient (DC) metodu, gökyüzünü

farklı segmentlere ayırarak her bir segmentin iç mekana katkısını hesaplamaktadır. Bu yaklaşım, statik modellere kıyasla daha gerçekçi sonuçlar vermekte ve bina tasarımı ile doğal ışık arasındaki ilişkiyi daha detaylı anlamaya olanak tanımaktadır (Le-Thanh ve ark. 2022).

Dinamik modellemede sıklıkla kullanılan metrikler arasında Günışığı Otonomisi (DA), Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ve Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI) bulunmaktadır. DA, yıl boyunca bir mekanın minimum bir aydınlık seviyesini karşıladığı süreyi ifade ederken, UDI, faydalı ışık seviyelerinin aralığını ölçmektedir. Bu metrikler, özellikle karmaşık bina geometrilerinde görsel konfor ve enerji verimliliğini optimize etmek için kullanışlı bulunmaktadır (Ayoub, 2019).

Dinamik günışığı ölçümleri (ASE, sDA, UDI) kullanıcıların tasarım, iklim ve gökyüzündeki değişiklikler ve ardından meteorolojik verilere dayalı aydınlatma değişiklikleri dikkate alınarak yıl boyunca mekan aydınlatma koşullarını ve görsel konforunu değerlendirmesine olanak tanımaktadır (Mokhtari ve ark. 2023).

3.1.3 İklim Tabanlı Günışığı Modellemesi

İklim Tabanlı Günışığı Modellemesi (CBDM) kavramı, 2000 yılında Mardaljevic (2000) ve Reinhart ve Herkel (2000) tarafından geliştirilmiş ve günışığı analizlerinde önceki yöntemlere kıyasla önemli iyileştirmeler sunmuştur (Ayoub, 2019). İklim tabanlı günışığı modellemesi, meteorolojik veri kümelerinden türetilen güneş ve gökyüzü koşullarını kullanarak çeşitli ışık miktarlarını tanımlayan bir günışığı tahmin modelidir (Mohsenin ve Hu, 2015). Yerel hava durumu verilerini kullanarak doğal ışık performansını analiz eden en gelişmiş yöntemlerden biridir. Bu modelleme yaklaşımı, bina performansını daha kapsamlı değerlendirmeyi mümkün kılmakta ve enerji verimliliği ile görsel konfor arasında dengeli çözümler sunmaktadır.

CBDM'nin temelini oluşturan Daylight Coefficient (DC) yöntemi, gökyüzünün belirli segmentlere bölünmesi esasına dayanmaktadır. Her bir segmentin iç mekana olan aydınlatma katkısı, gökyüzü koşulları ve güneşin konumu dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bu yöntem hem güneş ışığını hem de gökyüzü ışığını ayrı ayrı

değerlendirdiği için statik günışığı analizlerine kıyasla daha dinamik ve gerçekçi sonuçlar sunmaktadır. DC, bina geometrisi, yönelimi, malzeme özellikleri ve çevresel engeller gibi tasarım faktörlerini de analiz sürecine dahil ederek tasarıma uyarlanabilir bir yaklaşım sağlamaktadır. (Ayoub, 2019).

Kapalı gökyüzü modellemelerine göre CBDM'nin avantajı, yalnızca bulutlu hava koşullarıyla sınırlı kalmaması ve farklı gökyüzü durumlarını (örneğin, açık gökyüzü veya ara gökyüzü) dikkate alabilmesidir. Ayrıca, güneşin yıllık hareketlerini ve gün içerisindeki değişimlerini analiz edebilme yeteneği, günışığı sistemlerini daha gerçekçi ve detaylı değerlendirme imkanı sunmaktadır.

İklim tabanlı günışığı analizi, belirli adımlarla sistematik bir şekilde gerçekleştirilmektedir;

- İlk adımda, analiz yapılacak alanın temsilini sağlayan hesaplama noktalarının sayısı ve konumu belirlenmektedir. Bu noktalar, genellikle çalışma alanı boyunca düzenlenmiş bir sensör ızgarasıyla tanımlanmaktadır.
- İkinci adımda, analiz edilecek zaman dilimi tanımlanmakta ve genellikle yıllık bazda bir çalışma süresi belirlenmektedir. Bu süreçte, gündüz saatleri gibi aktif zaman dilimleri dikkate alınmaktadır.
- Üçüncü adımda, analiz bölgesine ait temsili bir hava durumu veri kümesi kullanılmaktadır. Bu veri seti, doğrudan normal ve dağınık yatay ışınımları içermekte olup, gökyüzü modeline entegre edilerek yılın her saati için gökyüzü parlaklık dağılımı hesaplanmaktadır.
- Dördüncü adımda, bu parlaklık dağılımı değerlerinden faydalanılarak Daylight Coefficient (DC) hesaplamaları yapılmaktadır. Bu hesaplama sonucunda, her sensör noktasında iç mekandaki aydınlatma seviyelerinin zamana bağlı değişimlerini ifade eden sürekli bir veri serisi elde edilmektedir.

Son olarak, analiz periyodu boyunca mekandaki günışığı performansını değerlendirmek amacıyla günışığı metrikleri hesaplanmaktadır. Bu metrikler, mekandaki enerji verimliliği, görsel konfor ve genel performans değerlendirmelerine yönelik kapsamlı

veriler sunmaktadır. Bu yöntem, bina tasarımında günışığının etkili kullanımını optimize etmek için önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Ayoub 2019).

CBDM, güneşin yıllık hareketleri, gölge etkileri ve farklı gökyüzü koşullarını dikkate alarak tasarım süreçlerinde daha doğru sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak, bu yöntemin uygulanması yüksek düzeyde uzmanlık ve gelişmiş simülasyon araçları gerektirmektedir (Le-Thanh ve ark., 2022)

İklime Dayalı Günışığı Metrikleri (CBDM), bina standartları açısından faydalı olsa da, hesaplamalarının yavaşlığı ve yüksek bellek gereksinimi nedeniyle tasarım araçlarına entegrasyonları sınırlıdır. Özellikle erken tasarım aşamalarında, tasarımların hızla değiştiği süreçlerde seri CBDM hesaplamaları zaman açısından verimsizdir. Bu nedenle, CBDM çıktılarının etkileşimli hızlarda üretilebilmesi ve yinelemeli tasarım süreçlerine gerçek zamanlı geri bildirim sağlayabilmesi için yeni hesaplama yöntemlerine ve platformlara ihtiyaç duyulmaktadır (Jones, 2017).

3.2 GÜNIŞIĞI SİMÜLASYON PROGRAMLARI

Mimari tasarım sürecinde, doğal aydınlatma performansının güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi, enerji verimliliği ve kullanıcı konforu açısından temel bir gereklilik oluşturmaktadır. Günışığı analizine yönelik yöntemler, zaman içinde gelişmiş ve teknolojik ilerlemelerle birlikte çeşitlenmiştir. Bu analiz yaklaşımları; grafiksel yöntemler, grafiksel olmayan yöntemler, analitik hesaplamalar, fiziksel ölçekli modeller, bilgisayar tabanlı simülasyon araçları ve makine öğrenimi temelli modeller olmak üzere altı ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Canlı, 2022). Bilgisayar tabanlı günışığı simülasyon araçları, farklı iklim koşulları, cephe geometrileri ve açıklık oranları gibi parametrelerin çok sayıda senaryoyla analiz edilmesini mümkün kılarak tasarım sürecine bilimsel bir temel sunmaktadır.

Özellikle erken tasarım aşamalarında alınan kararların büyük ölçüde sezgisel yaklaşımlara dayanması, bu kararların doğruluğunu ve güvenilirliğini tartışmalı hâle getirmektedir. Bu durum, tasarımcıları performans simülasyon araçlarını kullanmaya yönlendirmiştir. Çünkü erken aşamada yapılan hatalı bir seçim, ilerleyen süreçte

önemli tasarım sorunlarına yol açabilmektedir. Bilgisayar tabanlı bina simülasyon araçları, bu süreçte hem analizlerin doğruluğunu artırmakta hem de karar verme sürecini destekleyerek önemli bir katkı sunmaktadır. Hızlı ve güvenilir sonuçlar üretme potansiyeli sayesinde bu araçlar, bina performansının değerlendirilmesinde ve optimizasyonunda etkin bir rol üstlenmektedir (Arpacıoğlu, 2010). Bununla birlikte, erken tasarım aşamasında kullanılacak simülasyon aracının sezgisel kararları destekleyici olması, hızlı geribildirim verebilmesi ve kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması büyük önem taşımaktadır (Attia ve ark., 2012).

Geleneksel günışığı hesaplama yöntemleri, yalnızca kapalı gökyüzü koşullarını dikkate aldıkları için farklı tasarım senaryolarını değerlendirmede yetersiz kalmaktadır. Grafiksel ve analitik yaklaşımlar kapsamlı performans analizleri sunamamakta; buna karşılık, bilgisayar tabanlı simülasyon araçları yönelim, pencere türü, iç yüzey yansıtıcılığı ve iklim verileri gibi çok sayıda parametreyi dikkate alarak daha ayrıntılı değerlendirmeler yapma imkânı sunmaktadır (Canlı, 2022). Günışığı simülasyon programları, mimarların tasarım sürecinde doğal aydınlatmanın optimize edilmesine yardımcı olan önemli araçlardır. Bu programlar, doğal aydınlatmanın iç mekânlara etkisini tahmin etmenin yanı sıra enerji verimliliği ve görsel konfor hedeflerine ulaşmak için farklı tasarım seçeneklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Simülasyon temelli analizler, mimarların karar alma süreçlerini desteklemekte ve daha etkili günışığı stratejileri geliştirmelerine katkı sunmaktadır. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, mimarlar günışığı koşullarını daha hassas biçimde modelleyebilmekte ve aydınlatma performansını tasarımın erken evrelerinde optimize edebilmektedir.

Günışığı simülasyon araçlarının doğruluğuna ilişkin geçmişte var olan belirsizlikler, zamanla artan doğrulama çalışmaları sayesinde önemli ölçüde azalmıştır. Ancak Ayoub (2019), bu araçların büyük bir bölümünün hâlâ tasarımın geç aşamalarına yönelik geliştirildiğini ve erken tasarım süreciyle yeterince örtüşmediğini vurgulamaktadır. Mimarların kullandıkları araçların sınırlılıklarını tam olarak bilmeden farklı tasarım aşamalarında uygulamaları, analiz çıktılarının etkinliğini azaltmakta ve karar alma sürecinde bilgi kaybına yol açmaktadır. Bu durum, performans hedeflerinin tasarımın başlangıcında değil, çoğunlukla sonrasında dikkate

alınmasına neden olmaktadır. Simülasyon programları kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla kullanıcı arayüzleri ve girdiler geliştirilmiş olsa da, ilk nesil araçlar mimarların tasarım iş akışıyla tam anlamıyla uyumlu değildir ve genellikle "mimar dostu" olarak sınıflandırılmamıştır. Bu uyumsuzluk, mühendislerin detaylı hesaplama ihtiyaçları ile mimarların sezgisel ve genel geçer çözümlere yönelik beklentileri arasındaki denge farkından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, öğrenme kolaylığı ve teknik dokümantasyonun erişilebilirliği, günışığı simülasyon araçlarının mimarlar tarafından etkin biçimde kullanılabilmesi açısından önemli kriterler hâline gelmiştir (Attia ve ark., 2012; Ochoa et al., 2012; Reinhart and Fitz, 2006).

Günışığı performans analizinde kullanılan yazılımlar, amaçlarına, hesaplama yöntemlerine ve sürdürülebilirlik standartlarına uyum düzeylerine göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada değerlendirilen yazılımlar arasında, Radiance ve Daysim gibi fiziksel doğruluğu yüksek simülasyon motorları yer almakta olup ve ASE gibi LEED v4 kapsamında tanımlı iklim verisi tabanlı metrikleri bilimsel doğrulukla hesaplayabilmektedir. Climate Studio ve DIVA for Rhino, bu analizleri doğrudan gerçekleştirebilen, LEED v4 Daylight Credit ve EN 17037 gibi standartlarla uyumlu sonuçlar sunan kullanıcı dostu araçlardır. DesignBuilder, Radiance tabanlı günışığı simülasyon modülü aracılığıyla sDA ve ASE hesaplamalarını gerçekleştirebilmekte ve LEED v4 Daylight Credit kapsamında kullanılabilir analiz çıktıları sunabilmektedir. Benzer şekilde, for LEED v4 modülü sayesinde, LEED analizlerini doğrudan gerçekleştirmekte, sDA ve ASE değerlerini otomatik hesaplayarak standartlara uygun raporlamalar yapabilmektedir.

Velux Daylight Visualizer, AGI32, DIALux evo, Ecotect ve SPOT gibi bazı programlar ise daha çok mimari ölçekli görsel konfor analizleri veya yapay aydınlatma simülasyonları için tercih edilmekte olup, LEED kapsamında gerekli olan yıllık iklim verisi tabanlı analizleri sınırlı şekilde sunmaktadır. OpenStudio + Radiance ve COMFEN gibi açık kaynaklı ve entegrasyon odaklı yazılımlar ise, esnek senaryo testlerine olanak tanımakta ve özellikle erken tasarım aşamasında önemli bir destek aracı olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 3.1'de, bu yazılımların temel özellikleri, avantajları ve sınırlılıkları

karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.1: Günışığı Simülasyon Programlarının Karşılaştırılması

Program	Avantajlar	Dezavantajlar
Radiance	Yüksek fiziksel doğruluk, Geniş akademik kabul, Gelişmiş ışık yansıtma ve dağılım hesaplamaları	Komut satırı tabanlı, Kullanıcı dostu değil, Yüksek öğrenme eğrisi, Uzmanlık gerektirir
Daysim	Gelişmiş zaman bazlı analiz, sDA ve ASE hesaplama desteği, Radiance tabanlı	Arayüz yetersiz, Kurulumu karmaşık.
Climate Studio	Kullanıcı dostu arayüz, Hızlı analiz süresi, Grasshopper, Rhino entegrasyonu, LEED puanlaması yapması	Lisans ücretli, Sonuçlar yorum gerektirir, doğrudan yönlendirme sunmaz. Performans analizleri yüksek donanım gerektirebilir. Sadece Rhino ile çalışır.
DIVA for Rhino	Radiance ve Daysim tabanlı, Parametrik tasarımla entegredir Etkili analiz grafikleri	Geliştirici desteği sonlandı. Artık satışta değil, yerine Climatestudio geliştirildi. Yeni sistemlerle uyum sorunu.

Velux Daylight Visualizer	Kullanımı kolay ve ücretsiz Hızlı görsel sonuçlar sunar Temel günışığı analizleri için yeterli Özellikle erken tasarım aşamasında hızlı geribildirim sağlar	İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur Kısıtlı veri çıktısı Analitik detay seviyesi düşüktür Karmaşık geometrilerde sınırlı performans gösterebilir
Ecotect	Erken tasarım aşamasına uygun. Grafiksel arayüz, İklim ve ışık analizlerini birleştirir.	Geliştirici desteği sona erdi. Yeni sistemlerle uyumlu değil. Günışığı analiz kapasitesi sınırlı, İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur.
COMFEN	Kullanımı kolay ve sezgisel arayüz, Hızlı karşılaştırmalı analizler (cephe, cam, gölgeleme) Görsel grafiklerle sonuç sunumu Erken tasarım aşamasına uygun.	Günışığı analiz kapasitesi sınırlı, İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur., Sadece basit geometrilerle çalışabilir. Sürüm güncellemesi yoktur.
Design-Builder	Enerji ve ışık simülasyonunu, Kapsamlı analiz seçenekleri, 3D modelleme içerir. LEED ve BREEAM sertifikasyon süreçlerine yönelik modüller içerir.	Karmaşık arayüz, Günışığı simülasyonu için sınırlı görsel çıktı ve sezgisel analiz desteği, Sonuçlar yorum gerektirir, doğrudan yönlendirme sunmaz. Yüksek öğrenme eğrisi,

		Lisans maliyeti yüksektir Performans analizleri yüksek donanım gerektirebilir
AGI32	Fotometrik doğruluğu yüksek Yapay ve doğal aydınlatma analizleri Detaylı raporlama imkanı	İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur. Karmaşık arayüz, Mimari tasarım süreçlerine entegrasyonu zayıf,
DIALux evo	Ücretsiz Kullanımı kolay, Aydınlatma üreticileri tarafından desteklenir. Gerçek armatür veri tabanı, Geniş standart desteği,	Günışığı analiz kapasitesi sınırlı, İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur.
SPOT	Günışığı ve enerji performansı, Detaylı aydınlatma kontrol analizi	Günışığı analiz kapasitesi sınırlı, İklim tabanlı yıllık analiz (sDA/ASE) yapamaz, LEED v4 uyumu yoktur. Sınırlı kullanıcı arayüzü, Karmaşık kurulum.
IES VE (Virtual Environment)	İklim verisine dayalı gelişmiş günışığı analizi (sDA, ASE dahil) LEED v4 uyumlu raporlar üretebilir Enerji, günışığı, termal, akustik gibi çoklu performans	Yüksek maliyetli ve lisans ücretlidir Karmaşık kullanıcı arayüzü, Yüksek öğrenme eğrisi,

	simülasyonu yapılabilir BIM ile entegrasyon, Kurumsal projelerde yaygın kullanım, yüksek güvenilirlik Ayrıntılı raporlama ve gelişmiş analiz modülleri sunar.	
OpenStudio + Radiance	Radiance tabanlı, LEED v4 Günışığı Kredisi için uygun metrikler (sDA/ASE) hesaplanabilir. OpenStudio arayüzü üzerinden EnergyPlus ile entegre bina enerji analizi, Gelişmiş analiz kapasitesine rağmen açık kaynak ve ücretsiz.	Karmaşık kurulum ve kullanım, Yüksek teknik bilgi gerektirir. Öğrenme süresi uzundur; mimari tasarım odaklı kullanıcılar için zorlayıcı olabilir Arayüzü mimar dostu değildir, mühendislik temellidir.

Tablodaki karşılaştırmalı değerlendirme, her bir yazılımın sunduğu analiz türlerini, analiz kapsamlarını ve tasarım sürecine katkı düzeyini sistematik biçimde ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, özellikle LEED v4 gibi sertifikasyon sistemlerinde puanlandırma için kullanılan metrikleri ve EN 17037 gibi standartlarda belirtilen günışığı gerekliliklerini hesaplayabilen araçlar, performans odaklı analizlerde öne çıkmaktadır. Ancak bu yazılımların tümü, yalnızca mevcut tasarımı analiz etmekte; analiz sonuçlarına bağlı olarak tasarımı iyileştirmeye yönelik doğrudan, sistem tarafından üretilmiş öneriler sunmamaktadır. Bu durum, elde edilen verilerin yorumlanması ve uygun tasarım stratejilerinin geliştirilmesi sürecini tamamen kullanıcının uzmanlığına bırakmaktadır. Başka bir ifadeyle, analiz sonrası karar üretimi aşaması, yazılım desteğinden çok, tasarımcının deneyimi, teknik bilgisi ve çevresel standartlara hâkimiyetine bağlı olarak şekillenmektedir. Bu yönüyle günışığı analiz yazılımları, karar verme süreçlerini doğrudan yönlendirmekten ziyade,

tasarımcıya performans verisi sağlayan araçlar olarak değerlendirilmektedir.

3.3 GÜNIŞIĞI SİMÜLASYONU ÇIKTI PARAMETRELERİ

Mimari tasarımda simülasyon, yapıların performansını gerçek hayata yakın koşullarda test edebilmek ve tasarım kararlarının sonuçlarını önceden görebilmek, tasarımdaki eksiklikleri erken tasarım aşamalarında tespit edebilmek için kullanılan bir teknolojidir. Günışığı, enerji verimliliği, görsel konfor ve kullanıcı memnuniyeti gibi kritik hedeflere ulaşmak için simülasyonun sağladığı veri ve analizler, tasarım süreçlerini daha etkin ve bilinçli hale getirmektedir. Simülasyon, farklı senaryoları hızlı bir şekilde değerlendirmeye, tasarımdaki zayıf noktaları tespit etmeye ve kullanıcıların ihtiyaçlarına daha uygun çözümler üretmeye olanak tanımaktadır.

Günışığı alan binalarda ışık seviyesini ve dağılımını ölçen bu metrikler, mimarların doğal aydınlatmanın mekandaki etkisini anlamasına ve bu doğrultuda tasarımlarını optimize etmesine yardımcı olmaktadır.

Üç ana grupta sınıflandırılmaktadır:

- Günışığı Performans Metrikleri (ör. DF, DA, sDA, UDI, vb.),
- Parlama ve Görsel Rahatsızlık Metrikleri (ör. ASE, DGI, DGP) Görsel Rahatsızlık (sVD))
- Görüş kalitesi Metrikleri (görüş faktörü, görüş derinliği, görüş mesafesi vb.) (Ngarambe ve ark. 2022)

Aydınlatma simülasyonları konusunda karşılaşılan önemli bir sorun, piyasada çok sayıda yazılım bulunmasıdır. Bu yazılımlardan bazıları yalnızca statik simülasyonlar yapabilirken, bazıları yalnızca dinamik simülasyonlar gerçekleştirmekte, bazıları ise her iki tür simülasyonu da desteklemektedir (Bellia ve ark.2015).

3.3.1 Günışığı Performansı Parametreleri

Performans metrikleri simülasyonların etkinliğini artıran temel değerlendirme araçlarıdır. Bu metrikler, mimarlara mekanların ne kadar iyi aydınlatıldığını ve

günışığından ne kadar verimli şekilde yararlanıldığını anlamalarına yardımcı olmaktadır (Abdelhamid ve ark.2023).

3.3.1.1 Günışığı Faktörü (DF)

Günışığı Faktörü (DF), mekanın herhangi bir noktasında iç mekandaki aydınlatma seviyesinin dış mekandaki aydınlatma seviyesine oranını hesaplamaktadır (Nabil ve Mardaljevic 2005). Ancak kapalı gökyüzü altında aydınlatma dağılımı zenitten geçen dikey eksen etrafında simetrik bir yapıya sahip olduğundan, bu yaklaşım bazı dezavantajlara sahiptir. İlk olarak, simetrik gökyüzü aydınlatma dağılımı nedeniyle bina yönüne duyarsız kalmaktadır. Ayrıca, bu yöntem binanın bulunduğu konumu (Nabil ve Mardaljevic, 2005) ve dolayısıyla yerel iklim koşullarını dikkate almamaktadır (Mohsenin ve Hu, 2015).

DF, sadece bulutlu gökyüzü koşullarını dikkate almakta ve bina yönelimi veya hava durumu gibi değişkenleri göz önünde bulundurmamaktadır. Bu nedenle, hesaplama süreci hızlı olmakla birlikte, elde edilen sonuçlar gerçek dünya koşullarını yansıtmakta sınırlı kalmaktadır (Le-Thanh ve ark., 2022). Günışığını ölçmekte en yaygın kullanılan metriklerden biri olmasının temel nedeni, Daylight Factor (DF)'ün kolay ve sezgisel bir araç olmasıdır (Aksin, 2019). Ancak, DF'nin yalnızca bulutlu gökyüzü koşulları altında analiz yapması ve güneşin konumunu hesaba katmaması, bu yöntemi önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Acosta ve ark., 2016; Ekasiwi ve ark., 2018; Alwetaishi ve Benjeddou, 2021; Nabil ve Mardaljevic, 2005).

Günışığı Faktörü (DF), statik bir metrik olması sebebiyle pencere konumu ve yönü gibi tasarım unsurlarının hesaplama sonucuna etkisi olmamaktadır (Acosta ve ark., 2016). Örneğin, DF hesaplamasında güneşin hareketi, pencerenin bulunduğu yön ya da çevresel engeller gibi dinamik faktörler göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu sınırlamalar, özellikle enerji verimliliği ve bina performansı hedefleri doğrultusunda daha kapsamlı analizlere ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır (Galatioto ve Beccali, 2016).

Mardaljevic (2012), bina tasarım unsurlarının günışığı performansına etkisini dinamik ve gerçekçi koşulları dikkate alarak analiz ettiği çalışmasında bir mekandaki günışığı

faktörünün büyüklüğünü ve dağılımını belirleyen temel bina özelliklerini şu şekilde sıralamıştır;

• Mekanın boyutu ve yapılandırması.

• Cephe ve çatı pencerelerinin boyutu, dağılımı, konumu ve iletim özellikleri.

• İç ve dış yüzeylerin yansıtıcı özellikleri.

• Dış yapıların gökyüzünün görünümünü ne kadar engellediği (Mardaljevic, 2012)

Mardaljevic'in yaklaşımı bu faktörlerin binanın doğal ışık performansı üzerindeki etkisini vurgulamakta olup pencere tasarımı ve yönelimi gibi önemli tasarım DF hesaplama sonuçları üzerine etkisi olmamaktadır.

CIBSE (1999) standartlarına göre, ortalama DF değeri %2'nin altında olan alanlar "yetersiz aydınlatılmış," %2 ile %5 arasında olan alanlar "yeterli aydınlatılmış" ve %5'in üzerinde olan alanlar ise "iyi aydınlatılmış" olarak değerlendirilmektedir. (Zomorodian ve Tahsildoost, 2019).

3.3.1.2 Günışığı Otonomisi (DA)

Günışığı Otonomisi (DA), bina sahasının bulunduğu bölgenin günışığı iklimi ve cephe yönelimini dikkate alan, iklim tabanlı bir günışığı performans metriğidir. Bu metrik, belirli bir noktada aydınlatma seviyesinin belirlenen bir eşik değerin üzerinde olduğu yıllık gündüz saatlerinin yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. DA, günışığı analizlerinde mekansal performansı değerlendirmek için sıklıkla kullanılan dinamik bir yöntemdir ve doğal ışığın mekandaki etkinliğini yıllık bazda değerlendirme imkanı sunmaktadır (Bian ve Ma 2017).

3.3.1.3 Faydalı Günışığı Aydınlığı (UDI)

Nabil ve Mardaljevic (2005) tarafından geliştirilen UDI (Faydalı Günışığı Aydınlığı) paradigması, yıl boyunca saatlik meteorolojik verilere dayanarak günışığı aydınlatma seviyelerini analiz etmek ve yorumlamak amacıyla tasarlanmış bir iklim tabanlı değerlendirme yöntemidir. Bu yöntem, geleneksel statik analizlerden farklı olarak,

değişen gökyüzü ve güneş koşullarını zamana bağlı bir şekilde dikkate almakta ve yılın her saati için mutlak günışığı aydınlatma seviyelerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

UDI, bir odadaki iç günışığı aydınlatmasının bir yıl içinde belirli bir aydınlatma aralığına düştüğü zamanın yüzdesini belirlemektedir. Kısaca UDI, belirli bir aralıkta yer alan günışığı aydınlıklarının yıllık oluşumunu temsil etmektedir. Dinamik modeller arasında UDI hem üst hem de alt eşikleri sağlamaktadır (Mahdavinejad ve ark. 2024). Tablo 3.2'de görüldüğü üzere, 100 lüks ila 2000 lüks aralığındaki herhangi bir günışığı aydınlatması, mekanın aydınlatılması açısından 'faydalı' olarak değerlendirilmektedir (Nabil ve Mardaljevic, 2005).

Tablo 3.2: Yararlı Günışığı Aydınlatması Değerleri

Günışığı Aydınlatma Düzeyi (lux)	Etkisi
<100	Yetersiz aydınlatma
100-500	Tek başına veya yapay ışıkla birlikte yeterli aydınlatma
500-2000	Genellikle istenen veya tolere edilebilir aydınlatma
>2000	Görsel veya termal rahatsızlık

Kaynak: Nabil ve Mardaljevic, 2005.

Son yıllarda görsel konfora dair çalışmaların birçoğunda UDI 'nin değerlendirildiği görülmektedir (Mahdavinejad ve ark. 2024, Mokhtari ve ark. 2023, Acosta ve ark. 2016, Shahbazi ve ark. 2019, Chen ve ark. 2020, Ma'bdeh ve Matar 2020, Atthaillah ve ark. 2022).

3.3.1.4 Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA)

Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) mekanın gereksinime uygun olacak şekilde bir iç ortamdaki günışığı seviyelerinin yıllık yeterliliğidir. Mekansal dinamikleri dikkate alarak, çalışma planındaki günışığı seviyesinin yıllık çalışma saatleri boyunca yeterliliğini tanımlamaktadır (Kazanasmaz ve ark. 2016). IES, sDA300/%50'yi, bir yıl boyunca dolu saatlerin %50'si (8:00 - 18:00) için 300 lux'lük minimum aydınlatma olarak tanımlamaktadır. Bu, çalışma alanlarının %50'sinin, yıl boyunca çalışma saatlerinin %50'si için en az 300 lux doğal ışık alacağı anlamına gelmektedir (Abdelhamid ve ark. 2023). Çalışma düzleminde yıllık bazda yeterli günışığı alıp alınmadığını değerlendirmek için kullanım süresinin %50 sinde 300 luxe 300/%50 ulaşılması beklenmektedir. (Nezamdoost ve Wymelenberg, 2016). sDA doğrudan ve dolayı güneş ve gökyüzü ışığını hesaplamaktadır (Ershov ve ark. 2023).

Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) değerini maksimize etmek amaçlanmalıdır. Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) metriğinin yüksek olması yapay ışığa olan ihtiyacı düşürmekte ve bu da enerji tüketimini olumlu yönde etkilemektedir (Ershov ve ark. 2023; Kazanasmaz ve ark. 2016). Ayrıca sDA, zaman ve mekanı birleştiren kapsamlı bir performans ölçüsüdür (Korsavi ve ark. 2016).

3.3.2 Parlama ve Görsel Rahatsızlık Parametreleri

Parlama, bireylerin çok parlak yapay veya doğal aydınlatma kaynaklarından kaynaklanan, aydınlık bir ortamda görme yetisini zorlaştıran bir ışık olgusudur (Carlucci ve ark.2015). Genel olarak, parlama, "görsel alandaki parlaklık seviyesinin, gözlerin adapte olduğu parlaklıktan belirgin şekilde daha yüksek olduğu durumlarda, görsel performans ve görünürlükte rahatsızlık, dikkat dağınıklığı veya kayba neden olan bir durum" olarak tanımlanmaktadır (Iesna, 2000)

Mekanlarda yüksek aydınlatma seviyeleri sağlamak, görsel konforun sağlanması için tek başına yeterli değildir. Rahatsızlık veren parlama, kullanıcının görsel algısını bozarak fiziksel rahatsızlık verirken işlevselliği de olumsuz etkilemektedir. Görsel rahatsızlık oluşturan parlama algısı, birçok faktörden etkilenmektedir. Başlıca faktörler; parlama

kaynağının parlaklığı, kullanıcının adaptasyon seviyesi, ışık ve gölge arasındaki kontrast etkisi ile parlama kaynağının boyutu ve mekandaki konumudur (Zomorodian veTahsildoost, 2019). Ortamın genel aydınlık seviyesi ile parlama kaynağının parlaklığı arasında belirgin bir fark olması, rahatsızlık algısını artırmakta ve görsel konforu olumsuz yönde etkilemektedir.

Parlama metrikleri, bir mekandaki günışığının kullanıcılar üzerinde oluşturduğu rahatsızlığı değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu ölçümler başlangıçta, sabit bir zaman diliminde ve belirli bir görünüm noktasından parlaklığa dayalı olarak yapılan statik analizlerle (örneğin, Daylight Glare Index (DGI), Predicted Glare Sensation Vote (PGSV) ve Daylight Glare Probability (DGP) gibi) gerçekleştirilmiştir. Zamanla, bu yöntemler daha kapsamlı hale gelmiş ve günışığına bağlı rahatsızlık parlamasını yıl boyunca değerlendiren dinamik ölçüm sistemlerine dönüşmüştür. Dinamik ölçümler, sadece bir anlık rahatsızlık seviyesini değil, yıl boyunca belirli bir alanda yüksek parlama olasılığı taşıyan bölgelerin yüzdesini veya görsel rahatsızlık oranlarını tahmin edebilmektedir. Örneğin, spatial Visual Comfort Availability (sVCA) yani "mekansal görsel konfor kullanılabilirliği," yıl boyunca mekandaki görsel konforun ne kadar sürdürülebilir olduğunu analiz eden bir metriktir (Zomorodian veTahsildoost, 2019).

3.3.2.1 Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE)

ASE (Annual Sunlight Exceedance) ise, çalışma planındaki bir noktada belirli bir aydınlatma eşiğinin (örneğin, 500 lux) aşıldığı yıllık saatlerin sayısını ölçen bir metriktir. IES, ASE500'ü, bir yıl boyunca çalışma saatlerinin %2'si için 500 lux'ün üzerinde aydınlatma olarak tanımlamaktadır. Bu, çalışma alanlarının %2'sinin, yıl boyunca çalışma saatlerinin %2'si için 500 lux'ten fazla doğal ışık alacağı anlamına gelmektedir. IES LM-83-12'deki ASE eşiği LEED V4'teki ile aynıdır. ASE1000,250h'yi tanımlamaktadır. Taban alanının %10'undan fazlasının yılda 250 saatten fazla süreyle 1000 lux'ten daha fazla doğrudan almamasını gerektiren yüzde olarak tanımlanmaktadır. (Abdelhamid ve ark. 2023; Kızılörenli ve Maden 2023).

ASE metriği, güneş ışığına maruz kalmanın kontrol edilmesi ve kullanıcıların konforunun sağlanması açısından önemli bir ölçüdür. Mekanda yeterli günışığı

sağlamak önemlidir, ancak bu da kullanıcıların günışığı alımından rahatsızlık duymasına neden olabilir. Mekanda konforlu bir günışığı ortamı oluşturmak için sDA ve ASE değerleri arasında bir denge kurulması gerekmektedir (Kızılörenli ve Maden 2023).

3.3.2.2 Günışığı Parlama İndeksi (DGI)

Günışığı parlama indeksi (DGI), bir mekandaki günışığı kaynaklı parlamanın seviyesini değerlendirmek için kullanılan bir metrik olarak tanımlanmaktadır.

Algılanan rahatsızlık parlamasını tahmin etmek için kullanılan Daylight Glare Index (DGI) ve Daylight Glare Probability (DGP) gibi indeksler, genellikle dört temel fiziksel parametreye dayanmaktadır.

1) Parlama kaynağının parlaklığı, ışık kaynağından yayılan ışık akısının birim alan başına yoğunluğunu ifade etmektedir.
2) Adaptasyon seviyesi, gözlere ulaşan ışık akısının miktarı ve gözlerin bu ışık seviyesine uyum sağlama durumuyla ilgilidir.
3) Parlama kaynağının katı açısı, gözlemcinin görüş hattından algıladığı parlama kaynağının büyüklüğünü temsil etmektedir.
4) Konum endeksi, parlama kaynağının yatay ve dikey konumunun algılanan parlama üzerindeki etkisini değerlendiren bir düzeltme faktörüdür (Pierson ve ark. 2017)

DGI, belirli bir pozisyondaki rahatsızlık parlamasının bir sayı değeri ile ifade edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, farklı mekanlar veya tasarım alternatifleri arasında görsel konfor açısından karşılaştırma yapmak mümkün olmaktadır. DGI değerleri genellikle şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

$DGI < 16$: Bu aralıkta parlama algılanmamakta ve kullanıcılar açısından tam anlamıyla görsel konfor sağlanmaktadır.

$16 \leq DGI < 22$: Bu değer aralığı, kabul edilebilir düzeyde rahatsızlık yaratmakta ve kullanıcılar için tolere edilebilir bir görsel durum oluşturmaktadır.

22 ≤ DGI < 28: Bu seviyelerde belirgin düzeyde rahatsızlık yaşanmakta ve kullanıcıların görsel konforu azalmaktadır.

DGI ≥ 28: Bu değer, ciddi düzeyde rahatsızlık ve görsel performans kaybına neden olmakta, görsel deneyimi olumsuz etkilemektedir (Bellia ve ark. 2008).

3.3.2.3 Günışığı Parlama Olasılığı (DGP)

Jan Wienold, Daylight Glare Probability (DGP) değerlerini dört temel seviyede sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre:

DGP < 0,35: Parlama algılanmayan, kullanıcıların görsel konforunun tamamen sağlandığı bir durumu ifade etmektedir.

0,35 ≤ DGP < 0,4: Algılanabilir düzeyde bir parlama seviyesini temsil etmektedir. Bu seviyede, kullanıcılar hafif bir rahatsızlık hissedebilmektedir.

0,4 ≤ DGP < 0,45: Parlamanın rahatsızlık oluşturmaya başladığı bir aralık olarak değerlendirilmektedir.

DGP > 0,45: Tahammül edilemez seviyede bir parlama düzeyini ifade etmekte olup, görsel konforun ciddi şekilde etkilendiği bir durumu göstermektedir (Wienold, 2009).

3.4 Günışığı Optimizasyonu ve Karar Destek Sistemleri

Mimari tasarım süreci, yapının konumu, yönelimi, biçim ve formu gibi çeşitli parametrelerin bir arada değerlendirilmesini gerektiren dinamik ve yinelemeli bir süreçtir. Geleneksel yöntemlerde, ilk model oluşturulduktan sonra parametrelerde değişiklik yapılması gerektiğinde sürecin baştan tekrarlanması, tasarım sürecini zaman açısından maliyetli ve verimsiz hale getirmektedir (Eltaweel ve Su, 2017).

Özellikle erken tasarım aşamalarında, bina performans analizlerinin hesaplama sürelerinin uzunluğu nedeniyle genellikle ihmal edilmesi, tasarım kararlarının sezgisel yaklaşımlarla üretilmesine neden olmaktadır. Bu durum, tasarımcıların farklı alternatifleri hızlı ve etkin bir şekilde değerlendirmesine olanak tanıyan parametrik analiz ve karar destek araçlarına olan ihtiyacı artırmaktadır (Ercan ve Elias-Özkan,

2015). Günümüzde, hesaplamalı tasarım teknikleri, bu süreci hızlandırarak mimarların tasarım varyasyonlarını kolayca analiz etmelerini ve bilinçli kararlar almalarını sağlamaktadır.

Erken tasarım aşamasında parametrik teknolojilerin kullanımı, bina tasarım süreçlerini daha sistematik ve veri odaklı hale getirerek hızlı analiz ve optimizasyon imkanı sunmaktadır. Bu yaklaşım, tasarım kararlarının erken aşamada değerlendirilmesini sağlayarak daha bilinçli ve verimli çözümler geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Parametrik tasarım yaklaşımı, tasarım bileşenlerini entegre ve koordineli yöneterek süreci daha esnek ve dinamik hale getirmektedir. Grasshopper gibi yazılımlar aracılığıyla, tasarımcı herhangi bir parametrede değişiklik yaptığında, model otomatik olarak güncellenmekte ve yeniden oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, tasarım sürecine hız kazandırarak farklı alternatiflerin anında değerlendirilmesini sağlamakta ve daha verimli bir tasarım süreci sunmaktadır. (Eltaweel ve Su,2017). Parametrik tasarım, cephe açıklıklarının ve gölgelendirme elemanlarının optimize edilmesine olanak tanıyan bir araç olarak mimarlıkta giderek daha fazla kullanılmaktadır (Khidmat ve ark., 2022).

Kompleks parametrik cephelerde günışığı analizlerinin doğruluğunu değerlendirmek için yapılan bir çalışmada farklı cephe açıklık konfigürasyonları analiz edilerek UDI, sDA ve ASE metrikleri üzerinden Revit ve 3ds Max programlarında değerlendirme yapılmıştır. 3ds Max'in karmaşık parametrik desenleri simüle ederken Revit'ten daha iyi performans gösterdiği, Revit'in ise basit pencere geometrilerini simüle ederken 3ds Max'ten daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Çalışma, tasarımcıların analiz araçlarını bilinçli seçmesini destekleyen bir karşılaştırmalı değerlendirme sunmaktadır (Gomaa ve Jabi 2016).

Günışığı analizleri enerji değerlendirmeleri ve LEED derecelendirmeleri, açısından kritik bir rol oynasa da bu çalışmalar çoğunlukla bina tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarında gerçekleştirilmektedir. Bunun başlıca nedenleri, günışığı hesaplamalarının uzun sürmesi, bina cephelerindeki artan geometrik karmaşıklık ve günışığının günlük ve mevsimsel değişimlerinin dikkate alınması gerekliliğidir (Kider

ve ark. 2019). Günışığı optimizasyonuna yönelik karar destek sistemleri, tasarım sürecinin erken aşamalarında önemli bir rol oynamaktadır (Kılıç ve ark., 2025).

Günışığının potansiyelini verimli kullanmak ve görsel konforu artırmak amacıyla birçok araştırmacı, parametrik hesaplamalı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu çalışmalar, bina cephelerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerini analiz ederek, erken tasarım aşamasında tasarımcıların daha bilinçli kararlar almasına olanak tanımaktadır.

Bu bölümde, günışığı optimizasyonu ve karar destek sistemlerine yönelik güncel çalışmaların değerlendirilmesi amacıyla yapılan literatür taramasına yer verilmiştir. Özellikle parametrik tasarım araçları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar seçilmişbina cephelerinde günışığı performansını artırmaya yönelik yöntemler incelenmiştir.

Lin ve Tsay (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma, erken tasarım aşamasında günışığı performansının daha hızlı ve doğru tahmin edilmesini sağlamak amacıyla yapay sinir ağlarına (ANN) dayalı bir tahmin modeli geliştirmeyi hedeflemektedir. Model, mekânsal düzen, hacim boyutları ve açıklık oranı gibi ara özellikleri veri setine dahil ederek klasik geometri tabanlı tahminlerden daha yüksek doğruluk sağlamaktadır. Rhino-Grasshopper ortamında Ladybug ve DecodingSpaces eklentileri ile geometrik varyasyonlar üretilmiş; simülasyonlar DIVA eklentisi kullanılarak Radiance motoruyla yürütülmüştür. Eğitim ve test süreçleri Dodo ML eklentisi aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve modelin tahminleri sDA ve ASE metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, geliştirilen ANN modeli %1.7 ila %6.1 arasında sapma ile sDA ve ASE değerlerini yüksek doğrulukla tahmin edebilmiş ve geleneksel simülasyonlara kıyasla 10 kat daha hızlı sonuç üretmiştir. Bu yönüyle çalışma, tasarımcılara erken aşamada zaman tasarrufu sağlayan bir analiz aracı sunmakta ve karar verme sürecine veri temelli katkı sağlamaktadır.

ElBatran ve Ismaeel (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma, çift kabuklu cephe sistemlerinde açıklık oranı, açıklık şekli ve konumu gibi tasarım parametrelerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Bu kapsamda, parametrik bir model aracılığıyla açıklık varyasyonları sistematik olarak değiştirilmiş ve her varyant, performans metrikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Simülasyon süreci, Rhino-Grasshopper ortamında kurulmuş olup DIVA eklentisi kullanılarak RADIANCE ve DAYSIM motorları ile aydınlatma analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme, Mekânsal Günışığı Otonomisi (sDA300/50%) ve Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE1000/250) gibi iklim tabanlı dinamik günışığı metrikleri üzerinden yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, %50–60 perforasyon oranı, 40–60 cm derinlik ve 40 cm boşluk mesafesi ile elde edilen çift kabuklu cephe sistem konfigürasyonlarının sDA değerlerini iyileştirdiği ve ASE değerlerini LEED sınırlarının altında tuttuğu görülmüştür. Bu yönüyle çalışma, cephe geometrisinin detaylandırılması aşamasında günışığı verimliliğini artırmaya yönelik parametrik bir karar destek süreci sunmaktadır.

Farivar ve Teimourtash (2023) tarafından yürütülen çalışma, farklı pencere biçimlerinin ve konumlarının, üç farklı iklim bölgesine sahip şehirlerde (Hamedan, Yezd ve Bandar Abbas) günışığı performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeye odaklanmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen parametrik model, pencere geometrisini (dikey, yatay, kare) ve pencere konumlarını (alt, orta, üst) sistematik olarak değiştirmiş ve her varyasyonun performansı dinamik günışığı metrikleriyle analiz edilmiştir. Simülasyonlar Rhino-Grasshopper ortamında Honeybee eklentisi kullanılarak gerçekleştirilmiş, sDA300/50%, ASE1000/250 ve UDI100–2000 gibi metrikler ile kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır. Bulgular, üst konumdaki yatay ve kare pencerelerin, özellikle sıcak ve kuru iklimlerde, %70'in üzerinde sDA ve %55'in üzerinde UDI değerleri sağlayarak en yüksek günışığı verimliliğine sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca kare pencere formunun ASE değerlerini %14.4 düzeyine kadar düşürdüğü belirlenmiştir. Çalışma, pencere konumlandırmasının ve biçimsel varyasyonların iklim duyarlı tasarım kararları üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koyarak erken aşama tasarım sürecine katkı sunmaktadır.

Khidmat ve ark. (2022) gölgeleme sistemleri üzerinden günışığı optimizasyonuna odaklandıkları çalışmalarında, genişletilmiş metal gölgeleme elemanlarının günışığı performansına etkisini parametrik modelleme ve çok amaçlı optimizasyon teknikleriyle incelemiştir. Çalışmalarında, Ladybug ve Honeybee ile günışığı simülasyonları yapılmış, Octopus kullanılarak Yıllık Güneş Işığı Alımı'nin (ASE) en aza indirilmesi ve Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ile Faydalı Günışığı Aydınlığı'

nın (UDI) maksimize edilmesi sağlanmıştır. Optimizasyon sürecinin tasarım kararlarına entegrasyonu, LEED v4.1 kriterlerine uygun çözümler üretilmesini mümkün kılmıştır.

Hakimazari ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, yapay sinir ağları destekli bir tahmin modeli aracılığıyla bina içi günışığı performansını hızlı ve doğru biçimde öngörmeyi hedeflemektedir. Çalışmada, pencere oranı, açıklık yerleşimi, yönelim ve iç mekân geometrisi gibi parametreler varyasyona tabi tutularak geniş bir veri kümesi oluşturulmuş, bu veri seti ile eğitilen sinir ağı modeli sayesinde klasik simülasyonlara gerek kalmadan anlık tahminler yapılabilmesi amaçlanmıştır. Parametrik modeller Rhino-Grasshopper ortamında oluşturulmuş, simülasyon verileri Honeybee ile üretilmiş ve makine öğrenmesi algoritmaları Python ortamında uygulanmıştır. Performans değerlendirmesi sDA, ASE, DGP gibi iklim tabanlı günışığı metrikleri üzerinden yapılmış; modelin tahmin doğruluğu %91.7 düzeyinde saptanmıştır. Sonuçlar, ANN tabanlı modellerin özellikle erken tasarım aşamasında zaman kazandırıcı ve yönlendirici bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, klasik simülasyon sürelerinin tasarım sürecini yavaşlattığı durumlarda veri odaklı alternatif bir analiz yöntemi sunarak karar destek süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Javanmard ve Nava (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, bina kabuğu üzerinde uygulanan kaplama sistemlerinin günışığı ve enerji performansı üzerindeki etkilerini analiz ederek LEED kriterlerine uygun tasarım alternatifleri üretmeyi amaçlamaktadır. Rhino-Grasshopper ortamında geliştirilen parametrik modelde, cephe yüzeyinde yer alan açıklık oranı, konum, gölgeleme derinliği gibi parametreler varyasyona tabi tutulmuş ve her varyasyon Wallacei eklentisi kullanılarak NSGA-II algoritması ile çok hedefli şekilde optimize edilmiştir. Honeybee ve EnergyPlus simülasyon motorları aracılığıyla elde edilen analizlerde, sDA300/50% değeri %51.42'ye ulaşırken, ASE1000/250 %8.64 düzeyinde kalmış ve yıllık termal yük ise 93.67 kWh/m² seviyesine düşürülmüştür. Tasarım varyasyonları aynı zamanda Design Explorer platformunda görselleştirilmiş, böylece kullanıcılar performansa göre alternatifleri karşılaştırarak en uygun çözümü belirleme imkânına kavuşmuştur. Bu yönüyle çalışma, parametrik modelleme, optimizasyon ve görsel karar destek

sistemlerini bir arada kullanan bütüncül bir yaklaşım sunmakta ve cephe tasarımında veri temelli karar verme sürecini güçlendirmektedir.

Liu ve ark. (2024), eğitim binalarında günışığı performansı ve enerji tüketimini optimize etmek için çok amaçlı optimizasyon yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada, Çin'in farklı iklim bölgelerinde yer alan eğitim binalarında Faydalı Günışığı Aydınlığı'nın (UDI), enerji kullanım yoğunluğunu (EUI) ve günışığı parlama olasılığını (DGP) dengelemek amacıyla Wallacei eklentisi tabanlı NSGA-II algoritması kullanılmıştır. Çalışma, Çin'in beş farklı termal tasarım bölgesindeki eğitim binalarına yönelik optimizasyon stratejileri geliştirmiştir. Optimizasyon sürecinde, bina yönlenmesi, sınıf boyutları, yükseklik, açıklık oranı gibi değişkenler analiz edilerek en uygun tasarım kararları belirlenmiştir. Sonuçlar, sınıf yöneliminin 5° doğu veya 5° batı yönünde olmasının enerji tüketimi ve günışığı performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, sıcak iklim bölgelerinde pencere-duvar oranının (%50-70) artırılmasının enerji verimliliği açısından faydalı olduğu belirlenmiştir.

Kazanasmaz ve ark. (2016) tarafından yürütülen bu çalışma, Türkiye'deki derslik yapılarında farklı pencere oranları ve metalize plastik film (MPF) kaplamalarının günışığı performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında pencere açıklık oranı (WWR), cam yüzey kaplama tipi (MPF var/yok) ve yönelim gibi parametreler varyasyona tabi tutulmuş, performanslar parametrik olarak oluşturulan 27 farklı senaryo üzerinden analiz edilmiştir. Simülasyonlar EvalDRC yazılımı kullanılarak yapılmış; analizlerde sDA, ASE ve ortalama aydınlık düzeyi gibi metrikler kullanılmıştır. Sonuçlara göre, %50 WWR ve %50 MPF birleşimi ile elde edilen senaryoda %80.8 oranında sDA değeri yakalanmış ve Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) minimum seviyede kalmıştır. Çalışma, cam kaplama teknolojilerinin ve açıklık oranı seçimlerinin sınıf içi aydınlık kalitesine doğrudan etkisini ortaya koyarak eğitim yapılarında günışığı stratejilerinin daha bilinçli belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Shafavi ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, özellikle yüksek katlı konutlarda ve yan cephe koşullarında günışığı ve enerji performansını optimize etmek üzere geliştirilen makine öğrenmesi temelli bir karar destek sistemini tanıtmaktadır. Çalışmada, cephedeki açıklık boyutu, yerden yükseklik ve pencere pozisyonu gibi

değişkenler parametrik olarak modellenmiş ve bu varyasyonlara ait performans çıktıları, Python ortamında geliştirilen CatBoost algoritması ile tahmin edilmiştir. Elde edilen performans verileri daha sonra NSGA-III algoritmasıyla optimize edilerek Pareto-optimal çözümler üretilmiştir. Simülasyonlar ClimateStudio yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve analizlerde sDA, ASE, UDI-a, UDI-e ve yıllık enerji tüketimi gibi çoklu metrikler kullanılmıştır. Sonuçlar, özellikle batı cephelerinde yüksek engel koşullarında %75'in üzerinde sDA sağlanabildiğini; ancak ASE'nin %20'nin üzerine çıktığı durumlarda görsel konforun risk altına girdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, makine öğrenmesi destekli tahmin modelleri ile çok hedefli optimizasyonun birleştiği entegre bir karar destek yaklaşımı sunarak, günışığı analizlerinde yeni nesil veri temelli çözümlere örnek teşkil etmektedir.

Kider ve ark. (2019) tarafından geliştirilen Transition Portal modeli, erken tasarım aşamalarında günışığı hesaplamalarını hızlandırmak ve tasarım sürecine entegre etmek amacıyla geliştirilmiş bir simülasyon tabanlı karar destek yöntemidir. Model, bina yönlenmesi, açıklık oranları ve gölgelendirme elemanlarının günışığı performansına etkilerini hızlı ve verimli bir şekilde analiz etmektedir. Geleneksel simülasyon yöntemlerine kıyasla hesaplama sürecini optimize ederek, tasarımcıların daha fazla alternatif senaryoyu değerlendirmesine olanak tanımaktadır. Çalışmada, farklı bina yönlenmeleri ve açıklık tasarımlarının günışığı performansına etkileri değerlendirilmiş ve tasarım sürecini destekleyen sistematik bir karar destek mekanizması geliştirilmiştir.

Qingsong ve Fukuda (2016) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, ofis binalarında parametrik cephe tasarımı yoluyla günışığı performansını ve enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, pencere boyutu, gölgeleme elemanı derinliği ve açıklık oranı gibi tasarım parametreleri sistematik biçimde varyasyonlara tabi tutulmuş ve farklı tasarım alternatiflerinin performansları karşılaştırılmıştır. Simülasyon süreci Ecotect Analysis ile yapılandırılmış, yıllık enerji tüketimi ve iç mekân aydınlık düzeyleri analiz edilmiştir. Ayrıca EnergyPlus yazılımı ile bina kabuğu üzerindeki enerji performans etkileri hesaplanmış, farklı cephe konfigürasyonlarının enerji tasarrufu potansiyelleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, parametrik varyasyonlarla yapılan tasarımın enerji tüketimini düşürmede ve iç mekân günışığı kalitesini

artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, performans temelli tasarım anlayışının bina kabuğu ölçeğinde nasıl uygulanabileceğine dair önemli bir örnek sunmakta ve enerji ile günışığı optimizasyonunun bütüncül olarak ele alınmasının gerekliliğine vurgu yapmaktadır.

Kılıç ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, konut ölçeğindeki iç mekânlarda görsel konforu etkileyen temel faktörleri analiz etmek ve bu faktörleri içeren bir karar destek modeli geliştirmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada veri madenciliği tekniklerinden biri olan karar ağaçları (decision tree) yöntemi kullanılarak, açıklık alanı, yönelim, iç mekân boyutları ve mobilya yerleşimi gibi değişkenlerin günışığı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Rhino-Grasshopper ortamında oluşturulan parametrik modeller Honeybee ile simüle edilmiş, performans analizleri sDG (spatial Daylight Glare), UDI-a, view-out ve sunlight hours metrikleri üzerinden yapılmıştır. Sonuçlara göre, özellikle kuzey cephe yönelimine sahip, mobilya konumlandırması optimize edilmiş mekânlar %81 doğruluk oranıyla yüksek günışığı konforu sağlamaktadır. Bu çalışma, sadece simülasyon temelli değil, aynı zamanda makine öğrenmesi destekli analitik bir yaklaşımla iç mekânlarda kullanıcı odaklı günışığı stratejileri geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece konut tasarımında görsel konfor hedeflerine daha sistematik ve veri tabanlı biçimde ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Mashaly ve ark. (2021) tarafından geliştirilen CFStrace modeli, karmaşık fenestrasyon sistemlerinin (CFS) günışığı performans analizlerini değerlendirmek için parametrik bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Model, farklı pencere sistemlerini ve açıklık tasarımlarını analiz ederek iç mekandaki günışığı dağılımını optimize etmeye yönelik bir değerlendirme yöntemi geliştirmektedir. CFStrace, ray tracing (ışın izleme) tekniklerini kullanarak, farklı yönlenmelere sahip pencere sistemlerinin günışığını iç mekana nasıl yönlendirdiğini analiz etmektedir. Model, günışığı faktörü (DF), yararlı günışığı aydınlatması (UDI), yıllık güneş Işığı Alımı (ASE) ve Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) gibi parametreler üzerinden kapsamlı bir analiz gerçekleştirmektedir. Rhino-Grasshopper tabanlı parametrik bir yapı ile çalışan sistem, tasarım alternatiflerinin hızlı bir şekilde karşılaştırılmasını ve en uygun pencere sistemlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Çalışma, geleneksel günışığı simülasyon

yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve doğru sonuçlar üreten bir analiz yaklaşımı sunarak, erken tasarım aşamasında karar verme sürecini desteklemektedir.

Chen ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, bina cephelerinde kullanılan dış gölgeleme sistemlerinin performansını artırmak amacıyla makine öğrenmesi temelli bir optimizasyon süreci önermektedir. Çalışmada, pencere üstü çıkma mesafesi, yatay-dikey lamel açıları ve gölgeleme oranı gibi parametrik değişkenler varyasyona tabi tutulmuş ve bu varyasyonlara ait performans çıktıları CatBoost algoritması ile tahmin edilmiştir. Ardından, elde edilen veriler NSGA-II çok hedefli optimizasyon yöntemiyle analiz edilerek performansı en yüksek alternatifler belirlenmiştir. Rhino-Grasshopper ortamında oluşturulan modeller Ladybug ve Honeybee ile simüle edilmiş; analizlerde sDA, ASE, UDI, glare probability (DGP) ve enerji tüketimi gibi metrikler kullanılmıştır. Bulgulara göre, en iyi varyasyonlar %86'nın üzerinde sDA ve %22'nin altında ASE değerleri ile LEED kriterlerini karşılarken, aynı zamanda DGP ve enerji tüketimi açısından da optimize edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, dış cephe gölgeliklerinin hem görsel konfor hem de enerji verimliliği açısından çok hedefli performans kriterlerine göre tasarlanabileceğini göstererek mimari karar sürecine veri temelli katkı sağlamaktadır.

Gagne (2011), mimari tasarım sürecinde performansa dayalı günışığı analizlerinin erken aşamalarda daha etkin kullanılabilmesini sağlamak amacıyla etkileşimli bir uzman sistem geliştirmiştir. Bu sistem, kullanıcıdan başlangıç modeli ve aydınlatma hedeflerini alarak, aydınlık düzeyi ve kamaşma riskine ilişkin performansı değerlendirmekte ve tasarım değişiklikleri için öneriler sunmaktadır. Google SketchUp arayüzüyle entegre çalışan sistem, tasarım sürecine kullanıcı katılımını destekleyen bir "sanal günışığı danışmanı" olarak işlev görmektedir. Uzman sistemin karar mantığı, günışığı performansına yönelik deneysel bir veritabanı ile bulanık kural tabanlı mantık algoritmasına dayanmaktadır. Gagne'nin çalışması, etkileşimli ve hedef odaklı analizlerin tasarım sürecinde daha nitelikli ve dengeli günışığı çözümlerine ulaşmada etkili bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır.

Jakubiec (2014), günışığı alan mekânlarda görsel konfor analizine yeni bir çerçeve sunmak amacıyla üç temel araştırma hedefi belirlemiştir: görsel rahatsızlık

tahminlerinin geçerliliğini değerlendirmek, kullanıcı davranışlarını analiz etmek ve bu bulguları tasarım süreçlerine entegre edecek yöntemler önermek. Çalışmada Daylight Glare Probability (DGP) metriğinin çok çeşitli mekân ve koşullarda tutarlı sonuçlar verdiği, diğer kamaşma metriklerinin ise sınırlı geçerliliğe sahip olduğu ortaya konmuştur. Kullanıcı anketleriyle desteklenen analizlerde, görsel memnuniyetin %70'e varan oranlarda tahmin edilebildiği gösterilmiş; bu da görsel konfor analizlerinin tasarıma entegre edilebilirliğini doğrulamaktadır. Çalışmada geliştirilen "adaptive zone" modeli, kullanıcıların mekân içindeki konumlarını ve görüş yönlerini değiştirme potansiyelleri üzerinden konfor analizini detaylandırmakta ve bu model Daysim yazılımına entegre edilmiştir. Çalışma, görsel konforun tasarımda erken aşamada değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Jones (2017), mimari tasarım sürecinde doğal aydınlatma simülasyonlarının erken aşamalarda ve gerçek zamanlı olarak kullanılabilmesi amacıyla etkileşimli ve doğrulanmış bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Bu kapsamda oluşturulan Accelerad yazılımı, RADIANCE algoritmalarını grafik işlemciler (GPU) üzerinde paralel çalıştırarak simülasyon sürelerini 16 ila 44 kat arasında azaltmış, bu sayede tasarım sürecine entegre olabilecek hızda ve doğrulukta sonuçlar sunmuştur. Tezde, sistem hem HDR fotoğraflarla hem de yıllık simülasyon metrikleriyle karşılaştırmalı olarak doğrulanmış ve kullanıcı deneyimi testleri ile gerçek zamanlı geri bildirimin tasarım kalitesine olan olumlu etkisi ortaya konmuştur. Doğal aydınlatmayı yapılarda yeterli ve konforlu ışık düzeyi sağlamak amacıyla doğal ışığın kullanımı olarak tanımlayan çalışma, günışığı analizlerinin yüksek derecede paralel hesaplama kapasitesi sayesinde bina performansı simülasyonlarında da etkili bir araç olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, performansa dayalı tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşmasında, hızlı ve güvenilir simülasyonların önemini vurgulayan öncü bir katkı sunmaktadır.

Kleindienst (2010), mimari tasarımın erken aşamalarında karar alma sürecini desteklemeye yönelik, zaman temelli ve hedef odaklı günışığı analizlerine dayanan bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada tanıtılan Lightsolve aracı, yıllık verileri hızlı biçimde hesaplayarak zamansal haritalar aracılığıyla görselleştirmekte ve kullanıcıya sezgisel bir arayüz üzerinden geri bildirim sağlamaktadır. Sistem; aydınlık düzeyi

(AIE), kamaşma olasılığı (GAE) ve güneş kazanımı (SHS) gibi üç metrikle, performansı niceliksel ve konfor odaklı olarak değerlendirmektedir. Kullanıcının belirlediği hedeflere göre yönlendirici çıktılar sunan bu araç, veriyi yalnızca analiz etmekle kalmayıp, tasarım sürecine bilgi temelli katkı sağlayacak biçimde yapılandırılmıştır.

Günışığı performansını artırmaya yönelik çalışmalarda parametrik tasarım ve simülasyon teknikleri önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle sDA ve ASE gibi iklim verisine dayalı dinamik günışığı metrikleri, tasarım kararlarının performans odaklı biçimde yönlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yer alan çok sayıda çalışmada Rhinoceros–Grasshopper ortamı ile entegre çalışan DIVA, Honeybee gibi araçlar kullanılarak farklı açıklık oranları, pencere yerleşimleri ve gölgelendirme stratejileri test edilmiştir. Bu çalışmalar, parametrik yaklaşımların erken tasarım sürecinde hızlı geri bildirim sağlayan etkili karar destek mekanizmaları sunduğunu ortaya koymaktadır.

Ancak mevcut yaklaşımların çoğu, belirli bir iklim koşuluna odaklanmakta ya da yalnızca sDA, ASE, UDI gibi tekil performans kriterleri üzerinden değerlendirme yapmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin büyük bölümü, kullanıcıdan bağımsız çalışan otomatik optimizasyon algoritmalarına dayandığı için, tasarım sürecinin sezgisel ve etkileşimli doğasını yeterince destekleyememektedir. Literatürde, kullanıcı girdileriyle dinamik biçimde etkileşim kurabilen, görsel geri bildirim sağlayan ve tasarım kararlarını yönlendiren öneri sistemleriyle entegre edilmiş karar destek modelleri sınırlı sayıdadır.

Bu bağlamda, bu tez çalışması, kullanıcı etkileşimini ön plana alan ve parametrik varyasyonlardan elde edilen analiz bulgularına dayalı öneri mekanizması içeren bir karar destek modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır. Farklı cephe yönelimleri, cam geçirgenlik değerleri, iç yüzey yansıtıcılık oranları ve açıklık oranları gibi değişkenlerin oluşturduğu çok sayıda kombinasyon Honeybee eklentisi aracılığıyla analiz edilmiş; her senaryonun sDA, ASE ve UDI performans metrikleri hesaplanmıştır. Elde edilen geniş veri seti Design Explorer platformu üzerinden görsel

ve sayısal biçimde değerlendirilmiş; bu analiz süreci, öneri mekanizmasının mantıksal temelini oluşturmuştur.

Geliştirilen model, çok değişkenli performans verilerinden elde edilen karşılaştırmalı değerlendirmelere dayanan ve tasarımcının tanımladığı sınırlı sayıda parametre ile çalışarak performans analizini sadeleştiren, sezgisel ve görsel yönlendirmeler sunan bir karar destek yaklaşımı ortaya koymaktadır. Mashaly et al. (2021), Gagne (2011) ve Kleindienst (2010) gibi etkileşimli sistem öneren çalışmalardan farklı olarak bu tezde sunulan model; cephe açıklıklarının konumu, cam özellikleri, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönelim gibi çok boyutlu kriterleri birlikte değerlendirmektedir. Ayrıca Liu ve ark. (2024) ve Shafavi ve ark. (2023) gibi tam otomatik çok hedefli optimizasyon sistemlerinden ayrışarak, kullanıcıyı sürecin merkezine alan ve analiz sonuçlarını anlamlı önerilere dönüştürerek tasarım kararlarını yönlendiren bütünleşik bir platform olarak literatüre katkı sunmaktadır.

3.5 Binalarda Günışığı Değerlendirme Sistemleri

Günışığı, binalarda enerji tüketimi, kullanıcı sağlığı ve iç mekân konforu açısından kritik bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle çeşitli ülkelerde geliştirilen çevresel sertifikasyon sistemleri, yapıların günışığı performansını ölçmeye ve değerlendirmeye yönelik çeşitli kriterler tanımlamıştır. Bu sistemlerin her biri, değerlendirme yaklaşımı, zorunlu metrikleri ve simülasyon gereklilikleri açısından farklılık göstermektedir.

LEED, BREEAM ve HQE sistemleri, bina performansını farklı öncelikler üzerinden değerlendiren yaygın çevresel sertifikasyon sistemlerindendir. LEED, özellikle enerji verimliliği ve yenilikçi tasarım çözümlerine odaklanırken; BREEAM, sürdürülebilirlik ilkelerini ekolojik etki çerçevesinde daha kapsamlı bir şekilde ele alır. HQE ise yalnızca çevresel etkileri değil, aynı zamanda kullanıcıların sağlık ve konfor düzeylerini de merkeze alan bir yaklaşımla öne çıkar. Bu sistemler, iç mekân kalitesi açısından da çeşitli değerlendirmeler yapmaktadır: LEED ve BREEAM, hava kalitesi ile doğal ışık erişimi gibi faktörleri puanlamaya dâhil ederken; HQE, konfor ve yaşam

kalitesini daha bütüncül ve detaylı bir bakışla ele almaktadır (Green Design Consulting, t.y.).

Tablo 3.3'te farklı ülkelerde uygulanmakta olan günışığı değerlendirme sistemleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu karşılaştırma, günışığına ilişkin performans ölçütlerinin ülkeden ülkeye değişmekle birlikte ortak hedefin kullanıcı konforunu ve sürdürülebilirliği artırmak olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, günışığı performansına yönelik kriterler yalnızca enerji tasarrufu sağlamayı değil, aynı zamanda kullanıcıların uzun vadeli sağlık ve refahını desteklemeyi amaçlamaktadır.

Tablo 3.3: Günışığı Değerlendirme Sistemlerinin Karşılaştırması

Sistem	Günışığı Yaklaşımı	Açıklama
LEED v4 / v4.1	sDA & ASE	LEED, günışığı değerlendirmesinde iklim tabanlı metrikleri (CBDM) zorunlu kılan tek sistemdir. sDA300/50 (mekânsal günışığı otonomisi) ve ASE1000/250h (Yıllık Güneş Işığı Alımı) simülasyonla hesaplanır. Performans LEED Daylight Credit kapsamında puanlanır.
BREEAM	DF, gökyüzü görüşü	Geleneksel "Daylight Factor" (%2) yaklaşımını sürdürür. Pencere açıklığı, iç yansıtıcılık ve gökyüzü görüş açısı üzerinden günışığı kalitesi değerlendirilir. İklim tabanlı metrik kullanılmaz.
DGNB	EN 17037 tabanlı görsel konfor	Günışığı performansı için Avrupa standardı EN 17037'ye uyum aranır. Günışığı aydınlığı, dış görüş, kamaşma kontrolü ve güneşlenme süreleri proje belgelerinde raporlanır.

HQE	Görsel konfor Yaşam kalitesi	Doğrudan sayısal simülasyon zorunlu değildir. Ancak ışık düzeyi, cam oranı ve parlama kontrolü gibi kullanıcı konforunu etkileyen görsel kriterlere göre puanlama yapılır.
WELL	Sirkadiyen ışık Işığı Alımı	WELL, günışığına doğrudan değil, biyolojik etkilerine (uyku düzeni, dikkat, stres) odaklanır. Sirkadiyen aydınlık değeri ve kamaşma kontrolü ile değerlendirme yapılır.
B.E.S.T.	EN 17037 + Em zorunlu	TS EN 17037 kriterlerinden günışığı aydınlığı (Em) sağlanmak zorundadır. Buna ek olarak dış görüş, güneşlenme veya kamaşma kontrolünden en az biri daha sağlanmalıdır. Puanlamaya etki eder.
CASBEE	Dolaylı değerlendirme	Doğal ışık, iç mekân çevre kalitesi kapsamında dolaylı olarak değerlendirilir. Metrik, eşik veya simülasyon zorunluluğu yoktur.
GREEN STAR	Erişim oranı odaklı	Doğal ışık erişimi yüzdesi beyan edilir; ölçüme dayalı zorunlu analiz yöntemi bulunmaz.
BEAM Plus	Göz hizası aydınlık süresi	Göz hizasında günışığı süresi değerlendirilir. Simülasyon zorunluluğu yoktur.
PEARL	Alan yüzdesi esaslı	Yapı alanının doğal ışık aldığı oran esas alınır. Hesaplama detayları sınırlıdır.

BCA Green Mark	Enerji katkısı odaklı	Günışığı yalnızca enerji performansına katkı üzerinden değerlendirilir.

Günışığı performansının tutarlı ve ölçülebilir biçimde analiz edilebilmesi için, Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IES) tarafından 2013 yılında yayımlanan LM-83 kılavuzu, günışığı analizinde kullanılan temel metrikleri ve hesaplama yöntemlerini tanımlamıştır. Bu kılavuz, Mekânsal Günışığı Otonomisi (sDA) ve Yıllık Güneş Işığı Işığı Alımı (ASE) gibi iklim tabanlı metriklerin standartlaştırılmasını sağlamış ve özellikle LEED gibi sistemlerde kullanılabilirliği artırmıştır. LM-83'e göre bu metrikler, Tipik Meteorolojik Yıllar (TMY) verileri kullanılarak dinamik simülasyonlarla hesaplanmaktadır. Buna karşılık, WELL Bina Standardı, sDA ve ASE metriklerini doğrudan benimsememekte; bunun yerine sirkadiyen ritme uygunluk, ışık Işığı Alımı süresi ve parlama kontrolü gibi biyolojik etkiler ve görsel konfora odaklanmaktadır (Lin ve Tsay, 2021; Cerutti, 2021). Bu yaklaşım, günışığına yalnızca fiziksel bir ışık kaynağı olarak değil, insan sağlığı üzerindeki etkileri açısından da bütüncül bir bakış sunmaktadır.

Bu bağlamda, tezde oluşturulan karar destek modelinde sDA, ASE ve UDI metriklerine göre analizler yürütülmüş; tasarımcıların her bir performans göstergesine ilişkin sonuçları ayrı ayrı görebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca geliştirilen karar destek modeli, LEED günışığı kredisi alınıp alınmadığını ve kazanılan puan miktarını doğrudan göstererek tasarım sürecinin daha bilinçli ve hedef odaklı yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bu bölümde, LEED v4.1 sertifikasyon sistemi kapsamında günışığı performansına yönelik değerlendirme kriterleri ve puanlama esasları detaylı açıklanmaktadır.

3.6 LEED v4.1 Sertifikasyon Sistemi Kapsamında Günışığı Performansı

LEED çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine uygun olarak tasarlanan, inşa edilen ve işletilen binalara verilen uluslararası bir sertifikadır. LEED sertifikası, binaların enerji verimliliği, su tasarrufu, malzeme seçimi, iç mekan hava kalitesi ve çevreye duyarlılık gibi birçok farklı kriteri değerlendirerek puanlar vererek bu puanlara göre farklı sertifika seviyeleri belirlemektedir. Leed sertifika programında bir veya daha fazla mülkün değerlemesi 8 konu alanına göre gerçekleştirilmektedir;

1. Konumun altyapı entegrasyonu
2. Mülkiyet nitelikleri
3. Su verimliliği
4. Enerji + Küresel Çevresel Etkiler
5. Malzeme döngüleri + kaynak tasarrufu
6. İç mekan hava kalitesi
7. Yenilikler
8. Özellikle konumla ilgili öneme sahip kriterler için bonuslar

İç mekan hava kalitesi konusu altında görsel konfor değerlendirilmekte olup görüş kalitesi 1 puan, günışığı 3 puan almaktadır. Bina sakinlerini dış mekana bağlamak, sirkadiyen ritimleri güçlendirmek ve mekana günışığı vererek elektrikli aydınlatma kullanımını azaltmak amaçlanmaktadır (U.S. Green Building Council, t.y.)

3.6.1 Görüş Kalitesi

Görüş kalitesi, doğal veya yapma çevrenin ne kadarının görülebildiğini, bu görünümün ne kadar engelsiz olduğunu ve genel olarak manzaranın estetik değerini dikkate alan dış manzaranın niteliğini ve erişilebilirliğini değerlendiren önemli bir tasarım ölçütüdür (Alkhawaji, 2024). LEED gibi sertifikasyon sistemlerinde temel bir değerlendirme kriteri olarak kabul edilmektedir. Bina kullanıcılarının refahını ve memnuniyetini artırırken, aynı zamanda doğal ışığın daha etkin bir şekilde

kullanılmasını sağlamaktadır. Bu durum, enerji verimliliği hedeflerine ulaşılmasına da katkıda bulunarak, kullanıcı odaklı ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir tasarım anlayışını desteklemektedir. Doğal manzaralara erişim ve yüksek görüş kalitesinin psikolojik ve fizyolojik konforu olumlu yönde etkilendiği bilinmektedir (Aries ve ark. 2010). Saydam yüzeyler yalnızca günışığından yararlanmayı sağlamakla sınırlı kalmayıp, dış çevre ile bağlantı kurulmasını, çevresel yönelimin anlaşılmasını ve doğal unsurlarla etkileşimlerin güçlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bunun yanı sıra, hava koşullarındaki değişimlerin deneyimlenmesini ve gün boyunca zamanın akışının takip edilmesini de sağlamaktadır (VELUX Knowledge Centre for Daylight, 2014).

LEED v4, Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) ve Yeni Avrupa Günışığı Standardı EN 17037, binalarda istenen dış manzarayı elde etmek için tasarım yönergeleri sunmaktadır. Bu standartlar, günışığı erişimi, görüş kalitesi ve kullanıcı konforu gibi konularda rehberlik ederek, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu bina tasarımlarını teşvik etmektedir (Pilechiha ve ark. 2020).

İngiltere merkezli CIBSE tarafından geliştirilen ve görüş kalitesini değerlendiren standartlar, bir gözlemcinin mekandaki konumuna göre dış manzarayı değerlendirmek için yöntemler sağlamaktadır. Bu standart, görüş kalitesini şu dört ana faktöre dayalı olarak değerlendirmektedir:

1. **Pencere genişliği:** Manzaranın kapsamını belirlemektedir.
2. **Görüş mesafesi:** Kullanıcının dış manzarayı ne kadar derinlikte algılayabildiğini ifade etmektedir.
3. **Görüş katmanları:** Gökyüzü, manzara (örneğin, doğa veya şehir) ve ön plan (örneğin, bina önündeki alan) gibi farklı görsel katmanların görünürlüğünü içermektedir.
4. **Çevresel bilgiler:** Görüşün içeriği ve çevredeki unsurları kapsamaktadır.

CIBSE'ye göre, görüş kalitesi şu dört seviyede sınıflandırılmaktadır: kabul edilemez, kabul edilebilir, iyi ve mükemmel. (Pilechiha ve ark. 2020).

LEED v4, kullanıcıların görsel bağlantısını artırmak ve bina sakinlerinin çevre ile etkileşimini güçlendirmek amacıyla Görüş Kalitesi Quality View (QV) kriterleri

belirlemiştir. Bu kriterlere göre, işgal edilen alanın en az %75'i, görüş camından doğrudan bir dış manzara erişimi sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, bu alanlarda aşağıdaki dört görüş türünden en az ikisinin sağlanması beklenmektedir:

Görüş Hattı: Geniş bir perspektif sunarak dış çevrenin kullanıcı tarafından etkili bir şekilde algılanmasını sağlamak amacıyla görüş alanı, pencere üzerinden en az 90 derecelik yatay ve dikey açıya sahip olmalıdır.

Görünüm İçeriği: Görüşün içeriği aşağıdaki unsurlardan en az ikisini içermelidir:

- Bitki örtüsü (flora), hayvanlar (fauna) veya gökyüzü
- Hareket,
- Camın dışından en az 25 fit uzaklıktaki nesneler

Engelsiz Görüş Mesafesi: Dış çevreyle doğrudan bir görsel bağlantı kurulması için; pencere ile kullanıcı arasındaki mesafe, pencerenin zeminden yüksekliğinin üç katını aşmamalıdır.

Görüş Türü: Görüş Faktörü (View Factor - VF) değeri en az 3 olan manzaralar sağlanmalıdır. Görünümler, görünür ışık geçirgenlik çarpanı (IGÇ) %40'ın üzerinde olan camdan olmalıdır (Council 2014).

Işık Geçirgenlik Çarpanı (IGÇ), cam veya pencere üzerinden içeri giren güneş ışığının miktarını belirlemektedir. Camın ideal ışık geçirgenliği, bulunduğu coğrafi konumun iklim özelliklerine göre belirlenmektedir. Kuzey bölgelerde, güneş ışığının daha eğik açıyla gelmesi ve genellikle bulutlu bir gökyüzünün hakim olması nedeniyle, iç mekanlara daha fazla doğal ışık almak için yüksek ışık geçirgenliğine sahip camlar tercih edilmelidir (Mokhtari ve ark 2023). Buna karşılık, güney bölgelerde güneş ışığının daha dik açıyla gelmesi ve yoğun güneşlenme süresi nedeniyle, aşırı parlaklığı ve ısı birikimini önlemek için daha düşük ışık geçirgenliğine sahip camlar daha uygun olduğu belirtilmektedir (Sezer, 2005).

3.6.2 Günışığı Kredisi

Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IES) IES LM-83-12, günışığı performansını değerlendirmek için iki ölçüt önermiştir: Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA) ve Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) (Talaei ve Sangin 2024; Korsavi ve ark. 2016, Lin ve Tsay 2021). sDA ve ASE Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik (LEED) kapsamında yaygın olarak kullanılan iki metriktir (Ershov ve ark. 2023). Bina tasarımlarını değerlendirmek için ASE, sDA ile birlikte raporlanmalıdır. İki değer birlikte raporlandığında, günışığının yeterliliği ve aşırı doğrudan güneş ışığı penetrasyonu fırsatı iyi bir şekilde değerlendirmek mümkündür (Talaei ve Sangin 2024).

Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA), Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) gibi metriklerle bina performansı değerlendirilmektedir. Bu iki metrik, açık ofisler, sınıflar, toplantı odaları, çok amaçlı odalar ve kütüphaneler ya da lobiler gibi benzer görsel görevler gerektiren yaygın iş yeri ortamlarında kullanılmaktadır (Lin ve Tsay 2021). ASE, bir aşırı güneş ışığına maruz kalan alan yüzdesini belirlerken, sDA, görsel konfor ve enerji verimliliği arasında denge kurulmasını sağlamaktadır (Mohsenin ve Hu, 2015).

Tablo 3.4'te görüldüğü gibi LEED v4.1 sisteminde düzenli olarak kullanılan zemin alanı için ortalama sDA300/%50 değeri en az %40 ise 1 puan, %55 ise 2 puan, %75 ise 3 puan olarak puanlanmaktadır. sDA yıl boyunca çalışma düzlemi alanında yeterli günışığını ortaya koymaktadır. sDA, binalarda günışığının sadece zamansal değil aynı zamanda mekansal dinamiklerini de dikkate almaktadır (Kazanasmaz ve ark. 2016). sDA %55 ile %74 arasındaki sDA değerleri, mekandaki günışığının nominal olarak kullanıcı tarafından kabul edildiğini göstermektedir. Ancak %75'in üzerindeki değerler tercihli olarak tanımlanmaktadır (Lee vd., 2016; Kızılörenli ve Maden 2023; Alkhawaji, 2024).

Tablo 3.4: LEED V4 ve IES İçin sDA Değerlendirmesi

sDA 300 lux/50%	LEED v4.1 puanları	IES

sDA %40	1 puan	
sDA %55	2 puan	Kabul edilir
sDA %75 veya daha fazla	3 puan	Kabul edilir

Kaynak: Alkhawaji, 2024

Tablo 3.5'te görüldüğü üzere, ASE1000,250 metriği temel alınarak iç mekânlarda görsel konfor seviyesi üç ana kategoriye ayrılmıştır. Bu metrik, bir alanın yıl boyunca 1000 lüksün üzerinde doğrudan güneş ışığına 250 saatten fazla maruz kalan yüzdesini ifade etmektedir. Tabloya göre, bu değerin %3'ten düşük olması durumunda görsel konfor seviyesi "Kabul Edildi" olarak değerlendirilmekte; bu, kullanıcı açısından rahatsız edici parlamaların oluşmadığı, konforlu bir ortam anlamına gelmektedir. Eğer değer %3 ile %7 arasında ise, ortam "Nötr" olarak kabul edilmekte, yani belirli alanlarda kısmi aşırı aydınlanma görülse de genel konfor seviyesi korunmaktadır. Ancak ASE1000,250 değeri %10'un üzerine çıktığında, "Yetersiz" olarak değerlendirilmekte ve doğrudan güneş ışığına maruz kalan alanlarda görsel rahatsızlık yaşanabileceği, dolayısıyla gölgelendirme sistemleri veya cam özelliklerinde değişiklik gibi müdahalelerin gerekli olabileceği anlaşılmaktadır.

Her iki metrik de bir analiz alanı boyunca yıllık bir dönem için toplanan saatlik aydınlatma modellerini analiz etmek için aynı bina bilgilerini ve simülasyon metodolojisini kullanmaktadır.

Tablo 3.5: IES'ye Göre Görsel Konfor Düzeyleri

ASE 1000,250	Görsel Konfor Seviyesi
3'ten az	Kabul Edildi

7'den az	Nötr
10'dan fazla	Yetersiz

Kaynak: Lm.I,2013; Alkhawaji, 2024

Tablo 3.6'da, yılda çalışma saatlerinin en az %50'sinde minimum 300 lüks günışığını karşılayan bir alan yüzdesini (sDA300/%50 ≥ %75) ve alanın %10'undan fazlasının yılda en fazla 250 saat süreyle 1000 lüksten fazla doğrudan güneş ışığına sahip olmamasını (ASE1000,250 ≤ %10) özetlemektedir (Mahdavinejad ve ark. 2024). LEED v4.1 kapsamında puan hedefine ulaşmak için, tasarımcıların simülasyon kullanarak ASE 1000, 250h metriğinin, yıllık doğrudan güneş radyasyonunun toplam alanın %10' undan daha azında alındığını göstermesi ve simülasyonun sDA 300/50% metriği temelinde çalıştırılması gerekmektedir (Pilechiha ve ark. 2020).

Tablo 3.6: sDA ve ASE Özellikleri

	sDA	**ASE**
Analiz Dönemi	Günde 10 saat (8:00 - 18:00)	
Aydınlık eşiği	300 lux	1000 lux
Zamansal eşik	Yılda 1825 saat	Yılda 250 saat
Hedef	%55> sDA > %75	ASE < %10

LEED v4.1 kapsamında sDA ve ASE metriklerinin belirli eşik değerleri üzerinden puanlanması, tasarım sürecinde bu iki metriğin hassas biçimde optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, hedeflenen puanlara ulaşmak yalnızca simülasyonların gerçekleştirilmesiyle değil, aynı zamanda bu metrikleri etkileyen fiziksel, çevresel ve

tasarımsal parametrelerin doğru biçimde tanımlanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Parametrelerin söz konusu değişkenlere duyarlılığı, performans analizlerinde çok ölçütlü bir yaklaşım benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla günışığına ilişkin hesaplamalarda yalnızca metrik sonuçların değil, bu sonuçları etkileyen girdilerin de bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, Tablo 3.7'de sDA ve ASE'yi etkileyen parametreler sunulmuştur.

Tablo 3.7: sDA ve ASE' yi Etkileyen Parametreler

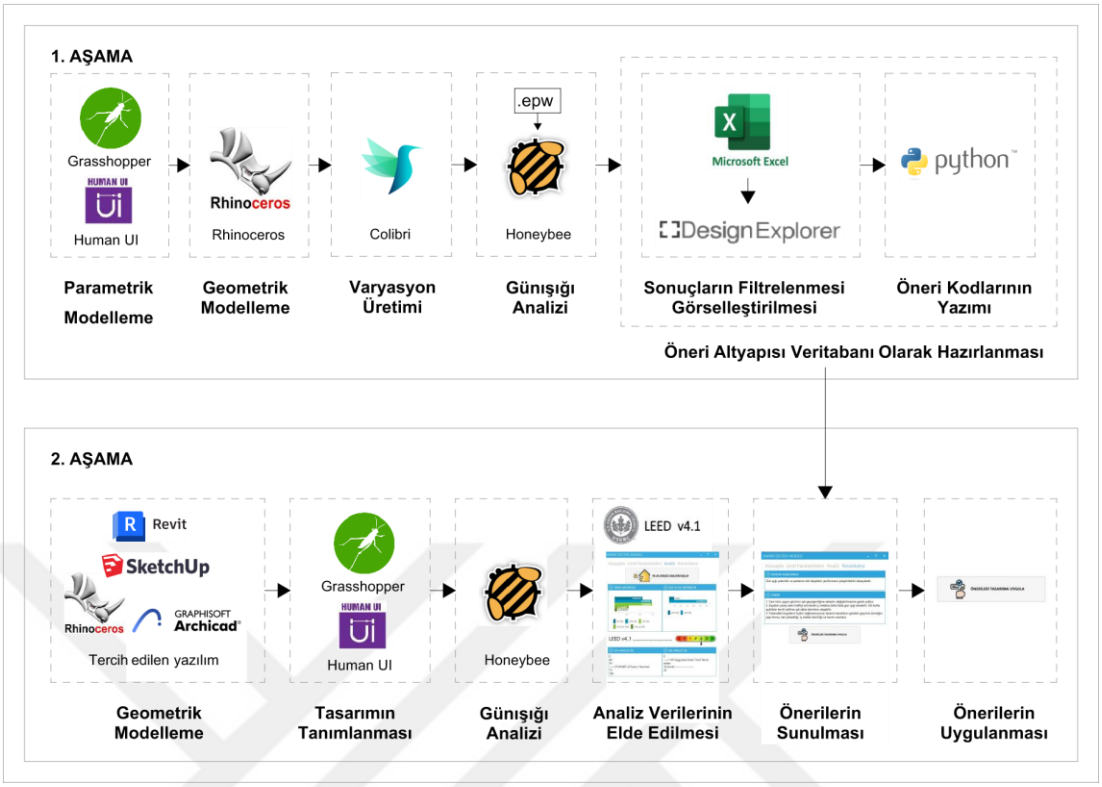
Parametre	**sDA'ya Etkisi**	**ASE'ye Etkisi**
Pencere Boyutu ve Konumu	Daha büyük ve doğru yerleştirilmiş pencereler, günışığı girişini artırır.	Geniş açıklıklar doğrudan ışık alımını artırır.
Bina Yönelimi	Güneşin konumuna uygun yönlenme günışığı verimini artırır.	Güney cephelerde doğrudan ışık nedeniyle ASE yükselir.
Camın Işık Geçirgenliği Çarpanı (IGÇ)	Yüksek IGÇ değeri, iç mekâna daha fazla doğal ışık ulaşmasını sağlar.	Yüksek IGÇ değeri daha fazla ışık geçirerek ASE'yi artırabilir.
İç Mekân Yüzey Yansıtıcılığı	Açık renkli ve yansıtıcı yüzeyler ışığın yayılımını artırır.	Yüksek yansıtıcılık kamaşma riskini artırarak etkileyebilir.
Camın Güneş Isı Kazancı Katsayısı (SHGC)	Dolaylı etkilidir, düşük SHGC ile enerji dengesi sağlanabilir.	Yüksek SHGC değeri ASE'yi artırabilir.
İç Mekan Yerleşimi	Açık plan yerleşimler ışığın etkili dağılmasını sağlar.	Dolaylı etki yapar, kamaşma kontrolünü etkileyebilir.

Gölgeleme Elemanları (Saçak, Panjur vb.)	Işık girişini engellemeden dağılımı iyileştirebilir.	Doğrudan ışığı kırarak ASE'yi düşürür.
Mekân Derinliği ve Kat Yüksekliği	Yüksek tavan ve yeterli mekân genişliği ışığın yayılımını destekler.	Derin ve düşük tavanlı mekânlarda ASE daha sınırlı olabilir.
İklim Verisi ve Gökyüzü Modeli	Analizlerde kullanılan veriler, aydınlık sürelerini etkiler.	Güneşlenme süreleri artarsa ASE de artabilir.
Çevresel Engeller	Yakındaki engeller, sDA'yı azaltabilir.	Gölgeler ASE'yi azaltabilir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ERKEN TASARIM AŞAMASINDA BİNA GÜNIŞIĞI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ

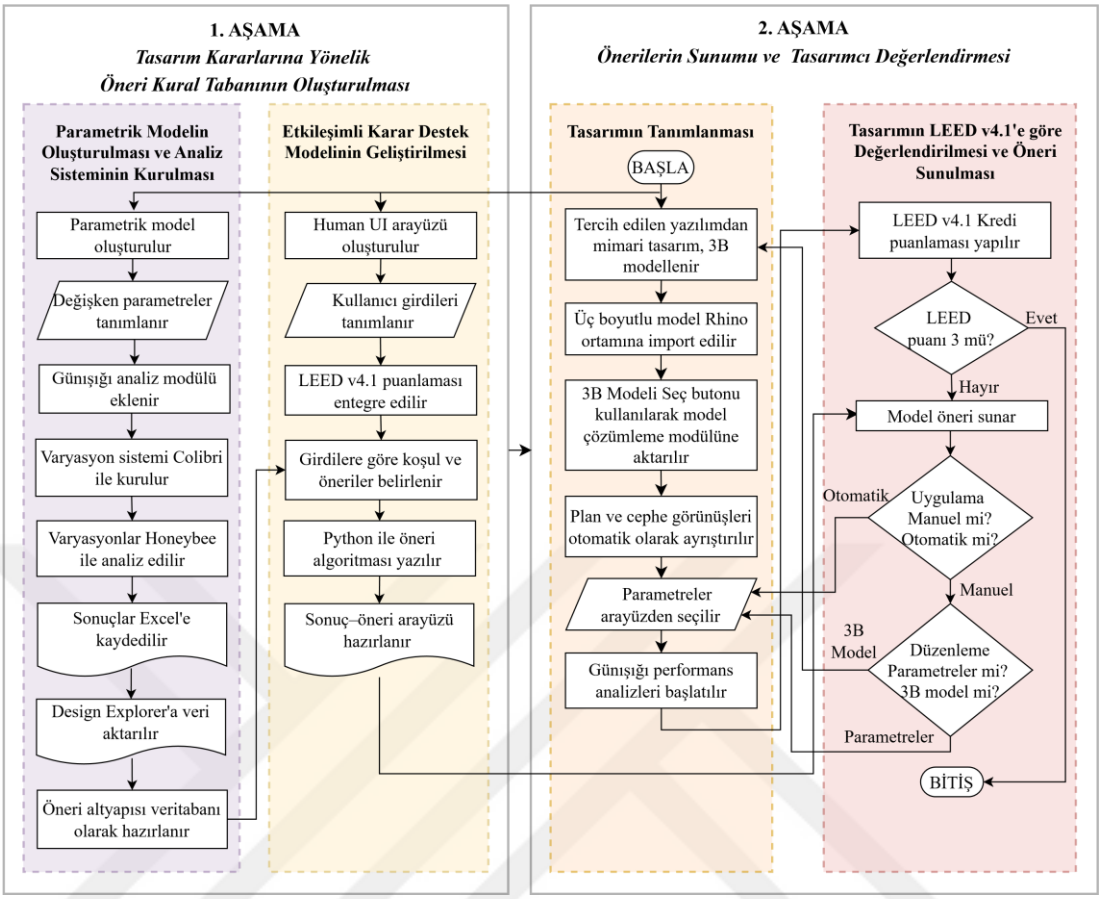
Bu çalışmada geliştirilen karar destek modeli, mimari tasarım sürecinin erken aşamasında alınan tasarım kararlarının günışığı performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve tasarımcıya yönlendirici öneriler sunmak amacıyla yapılandırılmıştır. Modelin temel hedefi, tasarımcının sDA ve ASE gibi günışığı performans metriklerini teknik düzeyde analiz etme ya da LEED v4.1 Günışığı Kredi puanlama sistemine hâkim olma gibi ileri düzey uzmanlık bilgilerine sahip olması gerekmeksizin, aldığı kararların günışığı performansı üzerindeki etkilerini hızlı ve güvenilir biçimde görmesini sağlamaktır.



Şekil 4.1: Model Sürecinde Kullanılan Yazılım Araçları ve İşlevsel Rolleri

Modelin geliştirildiği süreçte parametrik modelleme, varyasyon üretimi, günışığı simülasyonları, analiz çıktılarının değerlendirilmesi ve kullanıcı etkileşimi gibi çok sayıda bileşen iç içe yapılandırılmıştır. Bu sürecin bütüncül bir yapıda işlemesi için Rhino-Grasshopper ortamında çalışan ve birbirini tamamlayan çeşitli eklentilerden yararlanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan yazılımlar ve her birinin işlevsel rolü şekil 4.1'de özetlenmiştir.

Modelde kullanılan yazılım araçları, yalnızca geometri üretimi ile sınırlı kalmayıp, analiz girdilerinin tanımlanması, çıktıların toplanması, alternatiflerin karşılaştırılması ve öneri sunma süreçlerinde de aktif biçimde rol almıştır.



Şekil 4.2: Geliştirilen Karar Destek Modelinin Akış Şeması

Model, iki aşamalı bir yapıda kurgulanmıştır (Şekil 4.2). Birinci aşamanın temel amacı, farklı cephe varyasyonlarının sistematik olarak analiz edilmesi yoluyla, performansa dayalı öneri bilgisi üretmek ve bu bilgiyi sınıflandırılmış bir şekilde ikinci aşamada kullanılmak üzere hazır hale getirmektir. İkinci aşama ise bu öneri bilgisinin kullanıcıya sunulduğu ve analizlere dayalı geri bildirimlerin verildiği etkileşimli karar destek sürecinden oluşmaktadır.

4.1 Tasarım Kararlarına Yönelik Öneri Kural Tabanının Oluşturulması

Birinci aşamada, açıklıkların boyutu, konumu ve geometrik düzeni, cam türü, iç yüzey yansıtıcılığı (duvar, tavan, zemin) ve bina yönlenmesi gibi tasarım değişkenleri tanımlanarak Rhino–Grasshopper ortamında parametrik bir model oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, biri simetrik ve kompakt olan kare form, diğeri ise yönlenmeye

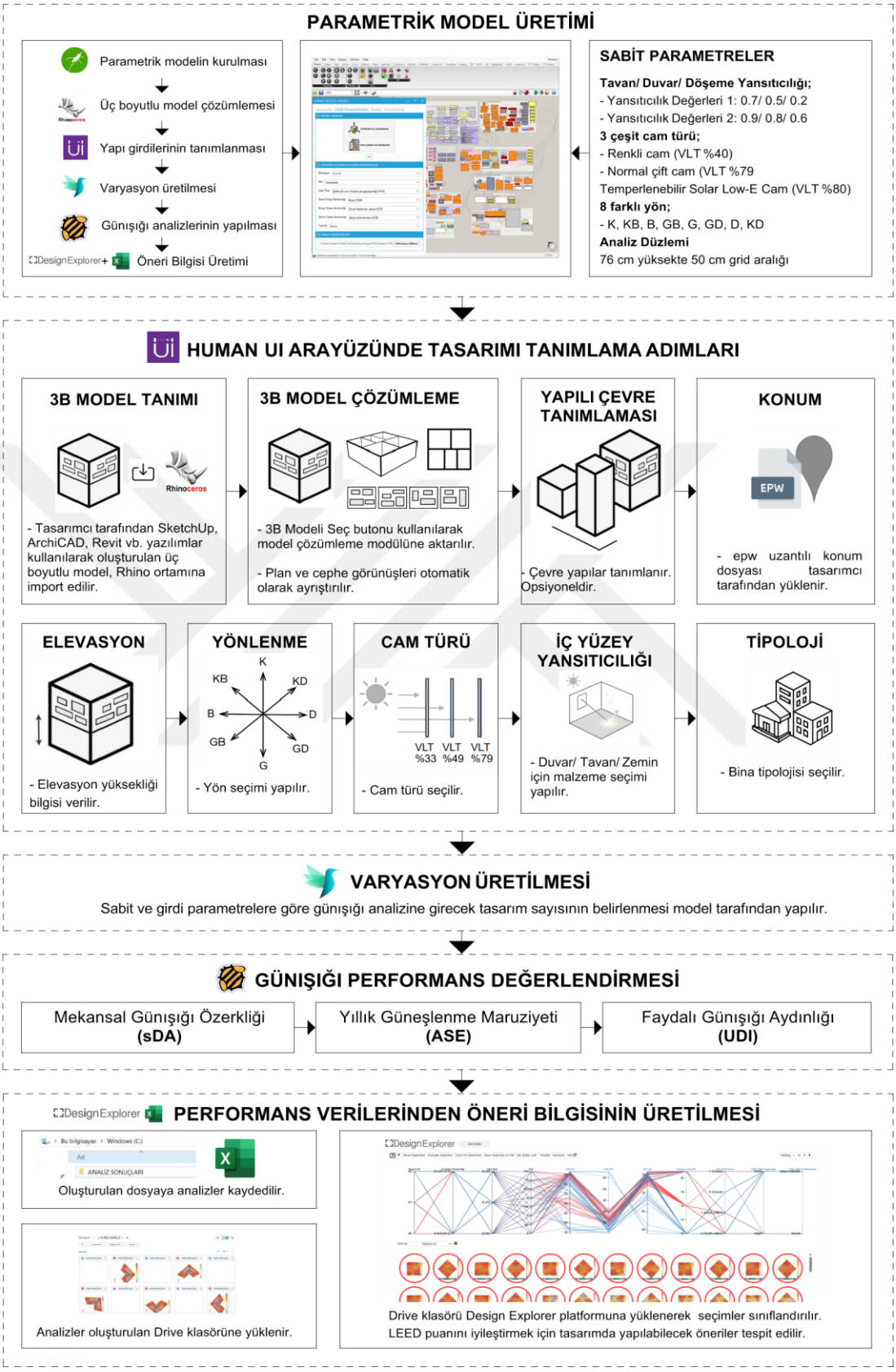
duyarlı ve günışığıyla daha karmaşık ilişki kuran karma açılı form olmak üzere iki farklı yapı kurgusu seçilmiştir. Bu iki form, hem geometrik çeşitlilik hem de günışığı performansı açısından karşılaştırmalı analiz imkânı sunmakta; aynı zamanda farklı tasarım yaklaşımlarının erken aşamada nasıl yönlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Kare form için üç farklı cephe açıklığı, karma açılı L formu içinse dört farklı cephe açıklığının olduğu varyasyonlar tanımlanmıştır. Bu varyasyonlar yalnızca açıklık oranlarını değil; açıklıkların cephe üzerindeki yerleşimini, dağılımını ve geometrik formlarını da içerecek biçimde yapılandırılmıştır.

Tanımlanan tüm varyasyonlar, Colibri eklentisi ile oluşturulmuş ve her bir senaryo günışığı analizi için Honeybee bileşeni aracılığıyla Radiance motoru kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyonlarda, sDA, ASE ve UDI metrikleri kullanılmış; performans verileri İstanbul ve Almanya/Essen'e ait .epw iklim verileri üzerinden değerlendirilmiştir. Karma açılı L formu için İstanbul, kare form için ise Essen iklim verisi seçilmiştir. Tüm analiz sonuçları Excel üzerinde organize edilmiş, ayrıca Design Explorer platformuna aktarılarak sayısal ve görsel olarak karşılaştırmalı değerlendirme yapılmıştır. Bu aşamada kullanıcıdan herhangi bir giriş alınmamış; tüm varyasyon üretimi, simülasyon ve veri sınıflandırma süreci araştırmacı tarafından yürütülmüştür. Analiz sonuçları üzerinden sDA ve ASE değerleri dikkate alınarak sekiz farklı performans durumu tanımlanmış ve bu durumlara karşılık gelen cam türü, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme koşulları belirlenmiştir. Her bir durum için uygun koşul ve tasarım önerileri eşleştirilmiş, bu öneriler ikinci aşamada kullanılmak üzere modelde tanımlanmıştır. Böylece birinci aşama, yalnızca simülasyon verisi üretmekle kalmamış, aynı zamanda ikinci aşamanın temelini oluşturan performansa dayalı öneri tabanını da hazırlamıştır. Modelin ikinci aşaması, tasarımcının belirlediği girdilere bağlı olarak çalışan etkileşimli bir arayüz aracılığıyla, ilk aşamada elde edilen analiz verilerinin sınıflandırıldığı öneri tabanının tasarım sürecine entegre edilmesini kapsamaktadır. Bu aşamada kullanıcı, analiz edilecek binanın üç boyutlu modelini tercih ettiği yazılımda (ArchiCAD, SketchUp, Revit vb.) oluşturduktan sonra Rhino ortamında içe aktarmakta (ya da Rhino'da doğrudan tasarlanmakta); ardından yönlenme, cam türü (görünür ışık geçirgenliği), iç yüzey yansıtıcılığı ve katın yerden yüksekliği bilgilerini seçerek analiz sürecini başlatmaktadır. Model, bu kullanıcı

girdilerine dayanarak Honeybee simülasyon motorunu çalıştırmakta ve ilgili varyasyona ait sDA ve ASE değerlerini hesaplamaktadır. Hesaplanan performans çıktısı, birinci aşamada tanımlanmış olan sekiz performans durumu ile karşılaştırılmakta ve eşleştirilen öneri seti kullanıcıya sunulmaktadır.

Bu arayüz Human UI bileşeni kullanılarak geliştirilmiş olup, Grasshopper ile seri iletişim kurabilme yeteneği sayesinde tercih edilmiştir. Human UI'nin kendi sınırlılıkları dahilinde geliştirilen bu yapı, tasarımcı etkileşiminin sorunsuz biçimde sağlanmasına ve performansa dayalı geri bildirimlerin etkin şekilde iletilmesine olanak tanımaktadır. Böylece kullanıcı teknik uzmanlık gerektirmeksizin performansa dayalı geri bildirim almakta; erken tasarım sürecinde nitelikli karar verme süreçleri desteklenmektedir.

Şekil 4.2'de sunulan akış şeması analiz sisteminin genel işleyişini göstermektedir. Grasshopper ortamında oluşturulan algoritma; dış duvar çizimleri, iç duvar sınıflandırmaları, açıklık düzenleri, cam geçirgenliği, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme gibi parametreler üzerinden analiz kombinasyonlarını üretmekte, Colibri aracılığıyla sıralı biçimde çalıştırılmaktadır. Colibri, çoklu girdiye dayalı tasarım alternatiflerinin otomatik olarak üretilmesini ve yönetilmesini sağlayarak, özellikle performans odaklı tasarım araştırmalarında alternatif senaryoların oluşturulması, analiz edilmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinde etkili bir araç sunmaktadır (TT Toolbox, 2021).



Şekil 4.3: Tasarım Kararlarına Yönelik Öneri Kural Tabanının Oluşturulması

Simülasyon çıktıları arasında Mekansal Günışığı Otonomisi (sDA), Yıllık Güneş Işığı Alımı (ASE) ve Yararlı Günışığı Aydınlatması (UDI) gibi iklim verisi tabanlı günışığı metrikleri yer almaktadır. Elde edilen veriler Excel tablosuna otomatik olarak kaydedilmekte ve daha sonra Design Explorer ortamına aktarılarak görsel karşılaştırmalar yapılmasına olanak tanınmaktadır (Şekil 4.3). Bu aşamada model yalnızca veri üretmeye odaklanmakta; herhangi bir öneri sunma ya da kullanıcıya yönlendirme işlevi bulunmamaktadır. Bu nedenle birinci aşama, karar destek sürecinin temelini oluşturan veri altyapısının oluşturulduğu safha olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemde araştırmacı tarafından sabit olarak tanımlanan analiz parametreler Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1: Öneri Üretim Sürecinde Kullanılan Sabit Parametreler ve Tanımlı Değer Aralıkları

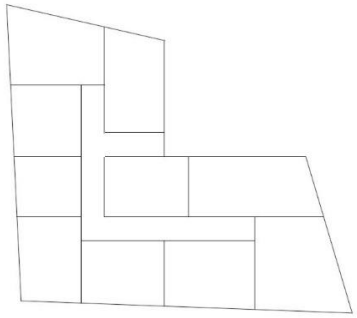
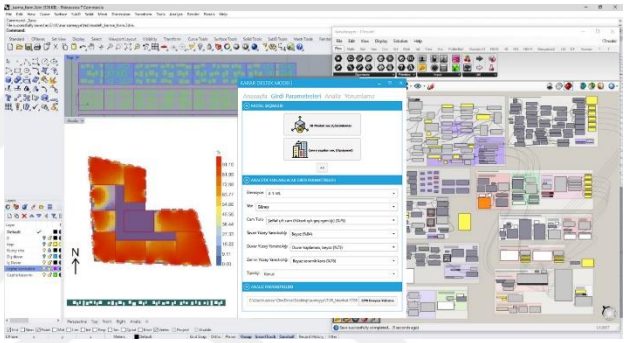
Parametre	**Tanımlanan Değerler**
Cam ışık geçirgenliği (IGÇ)	0.40 – 0.69 – 0.80
İç yüzey yansıtıcılığı	Paket 1: Duvar:0.50, Tavan:0.70, Zemin:0.20 Paket 2: Duvar:0.80, Tavan:0.90, Zemin:0.60
Yönlenme	8 farklı yön: K, KD, D, GB, G, GD, B, KB
Analiz düzlemi yüksekliği	0.76 m
Grid aralığı	0.50 m
Günışığı zaman aralığı	08:00 – 18:00

Bu sabit parametreler, birinci aşamadaki tüm analizlerde ortak olarak kullanılan ve modelin değerlendirme yapısını standartlaştıran değişkenleri içermektedir. Bu parametrelerin sabit tutulması, farklı tasarım girdilerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerinin tutarlı biçimde karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

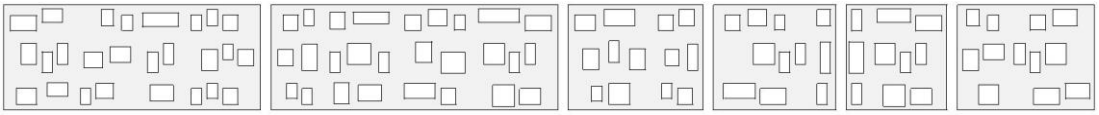
4.1.1 Tanımlanan Karma Açılı Bina

İlk analiz edilen yapı, L form plan şemasına sahiptir. Bu kırıklı yapı kurgusu, farklı yönlere bakan çok sayıda cephe yüzeyi sunarak açıklık tasarımlarının karşılaştırmalı analizine olanak tanımaktadır. Dört farklı açıklık yerleşim senaryosu uygulanmış ve bu varyasyonlar günışığı performansı bakımından değerlendirilmiştir (Tablo 4.2).

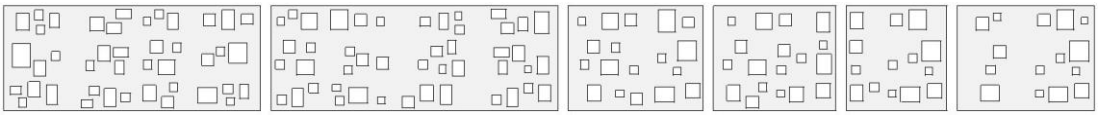
Tablo 4.2: Karma Açılı Binaya Ait Cephe Tasarım Alternatifleri

Plan izi	Analiz Süreci
	

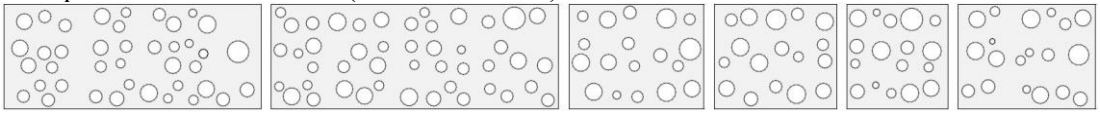
1. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:0)



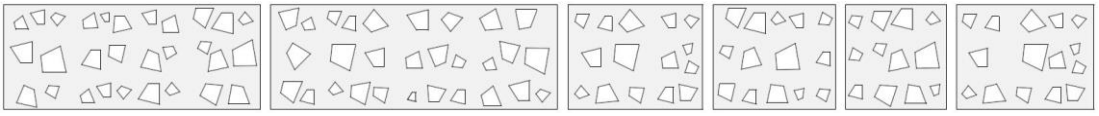
2. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:1)



3. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:2)



4. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:3)



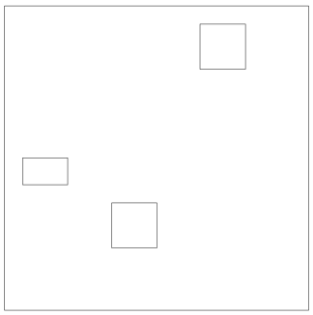
Birinci açıklık senaryosunda, cepheler farklı boyutlardaki dikdörtgen açıklıklarla serbest biçimde tanımlanmış; açıklıklar, iç mekân organizasyonuna bağlı olarak yüzeylere rastlantısal şekilde yerleştirilmiştir. İkinci senaryoda, kare ve dikdörtgen açıklıklar düşey bantlarda çeşitlilik gösterecek biçimde dağınık ancak dengeli bir düzende konumlandırılmıştır. Üçüncü senaryoda, cepheler farklı çaplarda dairesel açıklıklarla tanımlanmış; açıklıklar yüzey boyunca simetrik olmayan fakat homojen bir yayılımla dağıtılmıştır. Dördüncü ve son senaryoda ise düzensiz çokgen açıklıklar tercih edilmiş; bu açıklıklar hem yatay hem düşey düzlemde yüzeye yayılmış ve cepheye dinamik bir ifade kazandırmıştır. Tüm açıklık düzenlemeleri cephelerde aynı ilke doğrultusunda uygulanmış, elde edilen geometrik varyasyonlar parametrik model kapsamında analiz edilmiştir. İstanbul kentine ait güncel .epw iklim verisi kullanılarak yürütülen bu analizler araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu tasarım varyasyonları, açıklıkların biçimsel çeşitliliğine bağlı olarak değişen açıklık oranlarının sistematik biçimde modellenmesini ve öneri sistemine temel oluşturacak farklı günışığı performans verilerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

4.1.2 Tanımlanan Dik Açılı Bina

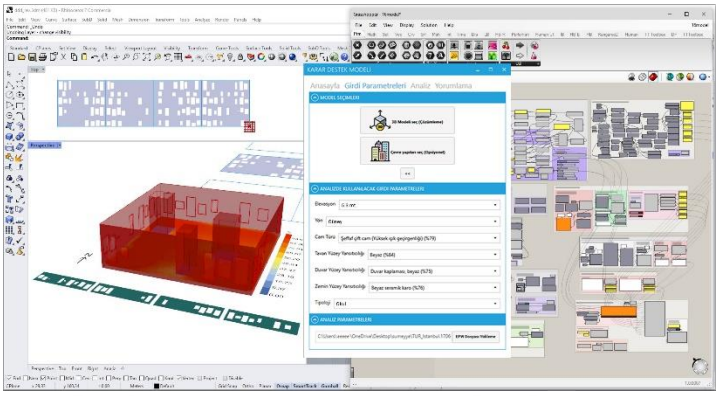
İkinci analiz senaryosu olarak kurgulanan kare plan tipolojisi, 35 × 35 metre taban oturumu ve 34 metre yüksekliğiyle sadeleştirilmiş bir kütle formu olarak modellenmiştir. Bu formun tercih edilme nedeni, simetrik yapısı ve eşit cephe oranları sayesinde açıklık yerleşimlerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerinin diğer parametrelerden bağımsız biçimde gözlemlenebilmesidir. Çalışmada yalnızca birinci kat planı referans alınmış, iç mekân konturları ve çekirdek konumları korunmuş, cephe açıklıkları ise sadeleştirilerek analize uyarlanmıştır. Böylece farklı açıklık boyutları, oranları ve konumlarının performansa etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiş; diğer tüm parametreler sabit tutularak yalnızca cephe açıklıklarının sonuçlara olan katkısı değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, tez kapsamında geliştirilen karar destek modelinin, açıklık varyasyonlarını sistematik biçimde test edebileceği kontrollü bir analiz ortamı sağlamıştır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Dik Açılı Binaya Ait Cephe Tasarım Alternatifleri

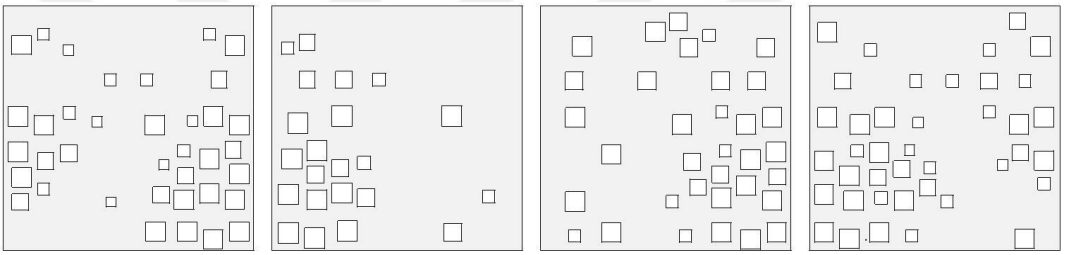
Plan izi



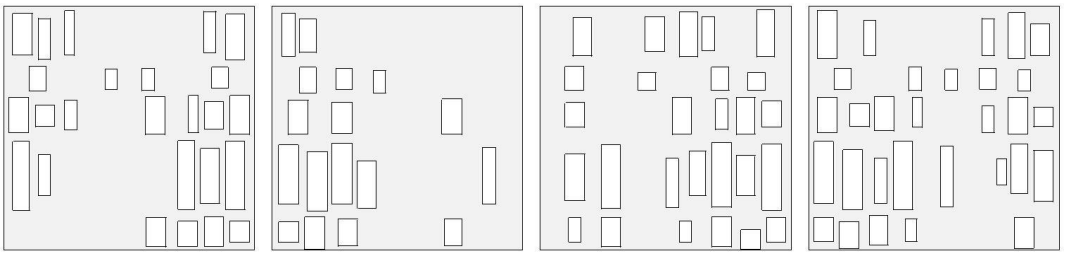
Analiz Süreci



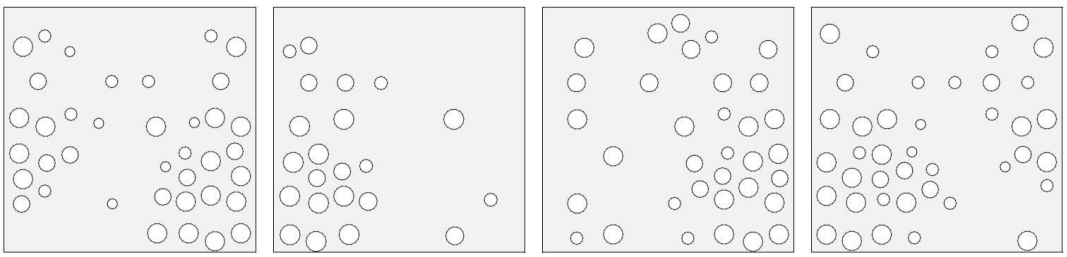
Mevcut Durum Cephe Geometrisi (TASARIM ID:0)



1. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:1)



2. Cephe Tasarım Alternatifi (TASARIM ID:2)



Analiz kapsamında üç farklı cephe tasarım alternatifi değerlendirilmiştir. İlk alternatif, mevcut bir yapının özgün cephe düzenini temel alarak oluşturulmuştur. Bu durumda, farklı boyutlardaki kare açıklıklar cephe yüzeyine düzensiz ancak görsel olarak dengeli bir biçimde yerleştirilmiştir. Cephe boyunca hem yatay hem de düşey eksenlerde rastlantısal bir dağılım söz konusudur. Söz konusu açıklık düzeni, SANAA tarafından tasarlanan Zollverein School of Management and Design adlı yapının cephe geometrisine dayandırılmış ve literatürde yer alan görsel verilere sadık kalınarak modele aktarılmıştır.

İkinci cephe tasarım alternatifinde, cephe yüzeyleri farklı boyutlardaki dikdörtgen açıklıklarla tanımlanmıştır. Açıklıklar hem yatay hem düşey doğrultuda serbest biçimde konumlandırılmış; böylece daha parçalı ve ritimsiz bir yüzey karakteri elde edilmiştir. Ancak bu biçimsel düzenlemenin amacı estetik bir değerlendirme değil, açıklıkların dağılım biçiminin günışığı performansı üzerindeki etkisini ölçmeye yönelik parametrik bir varyasyon üretmektir.

Üçüncü cephe tasarım alternatifinde ise mevcut durumda kullanılan açıklıkların konumları ve yerleşim düzeni aynen korunmuş, yalnızca geometrik formları değiştirilerek farklı çaplara sahip dairesel açıklıklar olarak yeniden tanımlanmıştır. Açıklıklar cephe yüzeyine homojen bir dağılımla ve simetri gözetilmeden yerleştirilmiştir. Bu varyasyon, yalnızca açıklık biçiminin değiştirilmesiyle form farklılığının günışığı dağılımı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Tüm alternatifler, dört cepheye eşit ilkelerle uygulanarak karşılaştırmalı analiz sürecine dahil edilmiştir. Almanya/Essen kenti için geçerli .epw iklim verisi kullanılarak yapılan analizlerde tüm varyasyonlar araştırmacı kontrolünde tanımlanmış ve simülasyon süreci parametrik olarak yürütülmüştür.

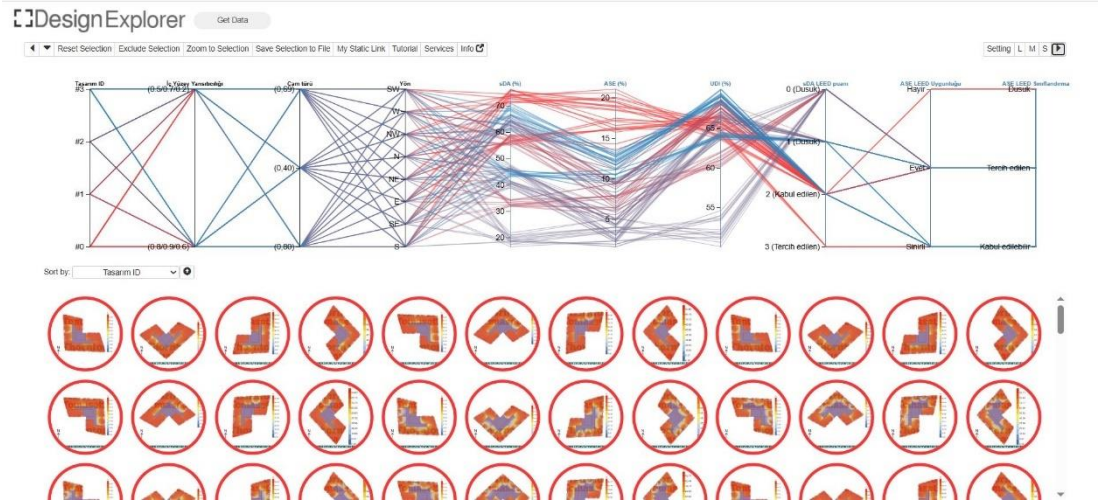
4.1.3 Günışığı Performans Analizi ve Tasarım İyileştirme Kararları

Bu bölümde, karma açılı L form ve dik açılı kare form plan tipolojisine sahip yapılar için oluşturulan parametrik varyasyonların günışığı performansları değerlendirilmiş; elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda tasarım kararlarını yönlendirmeye yönelik

öneriler geliştirilmiştir. L form yapı için, 2 farklı iç yüzey yansıtıcılık paketi, 3 farklı cam türü, 8 yönlenme seçeneği ve 4 cephe tasarımı dikkate alınarak toplam 192 varyasyon üretilmiştir (Ek 1). Kare form yapı için ise benzer parametreler ve 3 farklı cephe alternatifi üzerinden toplam 144 varyasyon oluşturulmuştur (Ek 2). Bu kapsamda elde edilen sonuçlar, cephe tasarımı, malzeme seçimi ve yönlenme değişkenlerinin günışığı performansı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamıştır.

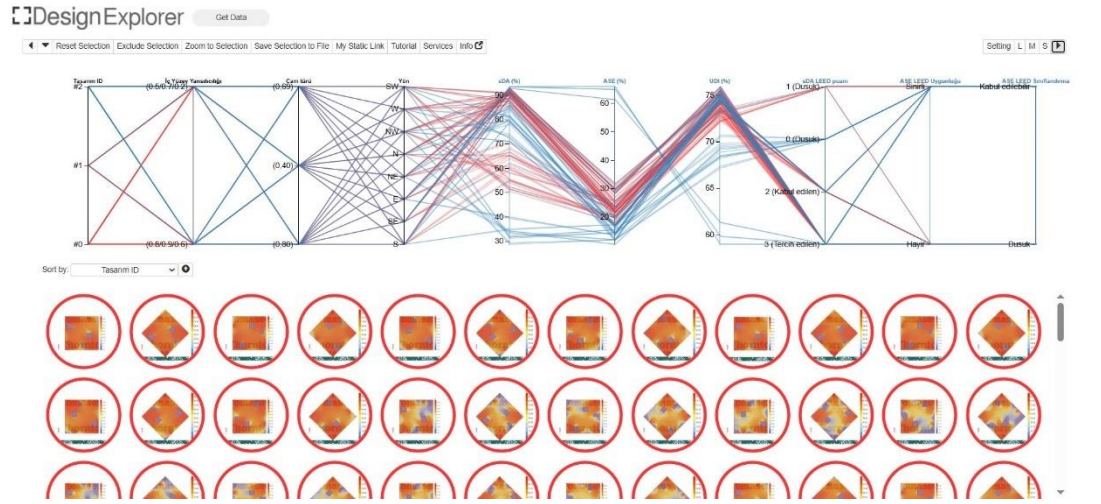
Her varyasyon için Rhino–Grasshopper yazılımında Honeybee eklentisi kullanılarak sDA, ASE ve UDI metrikleri hesaplanmış; bunun yanı sıra her tasarıma ait 2B analiz haritaları ile 3B hacimsel günışığı dağılım görselleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ilk aşamada oluşturulan klasörde birikmekte; burada 2B görseller, Excel formatındaki sayısal veriler ve diğer simülasyon çıktıları düzenlenmektedir. Ardından bu veriler Excel veri tabanı şeklinde arşivlenmiş ve aynı zamanda Design Explorer platformuna yüklenmiştir. Böylece her varyasyon, farklı parametre kombinasyonlarıyla birlikte filtrelenebilir ve karşılaştırılabilir hale getirilmiş; bu yapı üzerinden öneri tespit süreçleri yürütülebilmiştir.

Şekil 4.4'te, L form yapıya ait tüm varyasyonların Design Explorer arayüzü üzerinden görselleştirilmiş hali sunulmaktadır. Her bir tasarım varyasyonu, cam türü, yönlenme ve iç yüzey yansıtıcılığı gibi parametrelere göre Colibri eklentisi tarafından otomatik olarak oluşturulmuş; analiz sonuçları ise Design Explorer arayüzünde görselleştirilmiştir. Alt bölümde yer alan simülasyon görselleri, her varyasyonun iç mekânda sağladığı aydınlık düzeyini doğrudan görsel olarak değerlendirme olanağı tanımaktadır. Böylece sistem, hem depolama hem de paylaşım açısından düzenli bir işleyiş sağlamakta; araştırmacıya ve tasarımcıya veriye dayalı, etkileşimli seçim yapma imkânı tanımaktadır.



Şekil 4.4: Karma Açılı Binaya Ait Varyasyonların Filtrelenmeden Görünümü

Benzer şekilde, şekil 4.4'te kare form yapıya ait toplam 144 varyasyonun, herhangi bir filtreleme uygulanmaksızın görselleştirilmiş hali sunulmaktadır. Bu arayüzde de tüm varyasyonlar; sDA, ASE ve UDI performans metriklerinin yanı sıra, yönlenme, cam geçirgenliği ve iç yüzey yansıtıcılık oranları gibi tasarımsal parametrelere göre karşılaştırmalı olarak analiz edilebilmektedir.

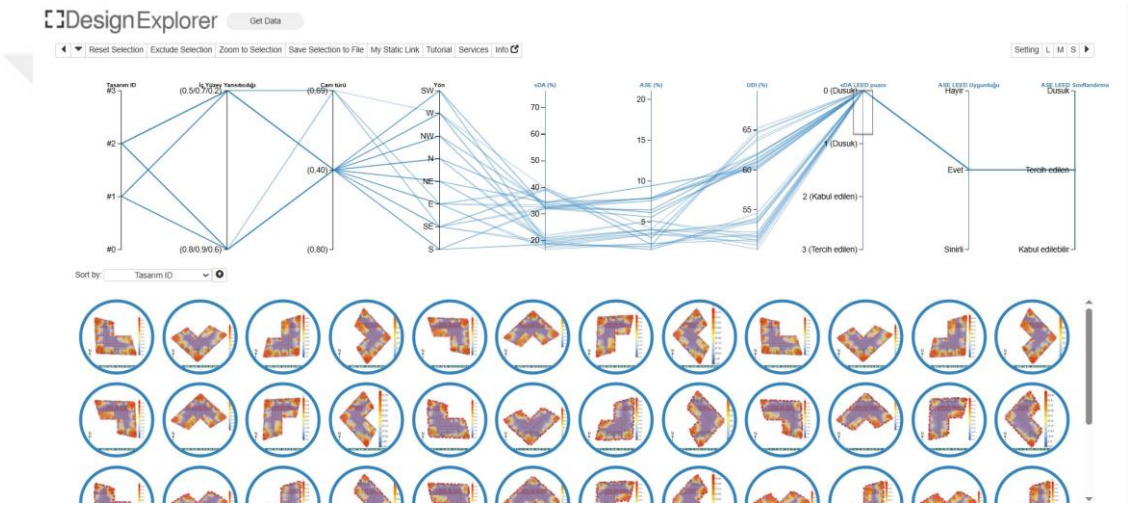


Şekil 4.5: Dik Açılı Binaya Ait Varyasyonların Filtrelenmeden Görünümü

Böylece hem L form hem de kare form yapı tipolojilerine ilişkin LEED puanlama başarıları, görsel konfor düzeyleri ve tasarım parametrelerinin etkisi, bütüncül ve veri temelli bir yaklaşımla değerlendirilebilmektedir (Şekil 4.5).

4.1.4 Karma Açılı Yapıya Ait Performans Sonuçları

LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında, $sDA_{300/50}$% değerinin %40'ın altında kaldığı senaryolar, yeterli düzeyde doğal aydınlatma sağlayamadığı gerekçesiyle puanlandırmaya dahil edilmemekte ve 0 puan ile değerlendirilmektedir (U.S. Green Building Council, t.y.). Bu doğrultuda, L form yapı için oluşturulan 192 varyasyon arasından, $sDA_{300/50}$% < %40 olan senaryolar filtrelenerek 37 tane analiz değerlendirilmiştir (Şekil 4.6).

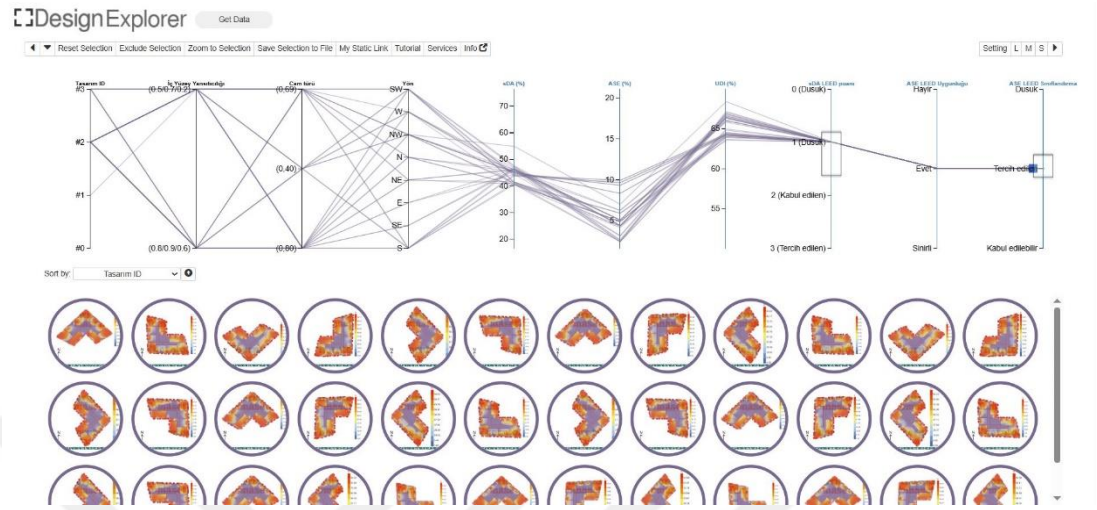


Şekil 4.6: Karma Açılı Binada 0 Puan Alan Varyasyonların Filtelenmesi

Analiz bulgularına göre, Tasarım ID: 1 ve Tasarım ID: 2 ile temsil edilen cephe açıklık varyasyonlarında; %40 ve %69 görünür ışık geçirgenliğine sahip cam türlerinin, iki farklı iç yüzey yansıtıcılığı paketi ve sekiz farklı yönlenme ile oluşturduğu tüm kombinasyonlarda sDA değerinin %40'ın altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu senaryolarda iç mekânda doğal aydınlık seviyesinin büyük ölçüde yetersiz olduğu, UDI ve ASE değerlerinin de bu yetersizliği desteklediği görülmüştür (Şekil 4.6).

Buna karşılık, %80 ışık geçirgenliğine sahip cam türüyle oluşturulan hiçbir varyasyon sDA açısından %40 eşiğinin altına düşmemiştir. Ayrıca, Tasarım ID: 0 ve Tasarım ID: 3 ile tanımlanan cephe varyasyonlarının tamamı, tüm cam türleri ve yönlenme senaryoları içinde 0 puanla değerlendirilen hiçbir sonuca sahip değildir. Bu durum,

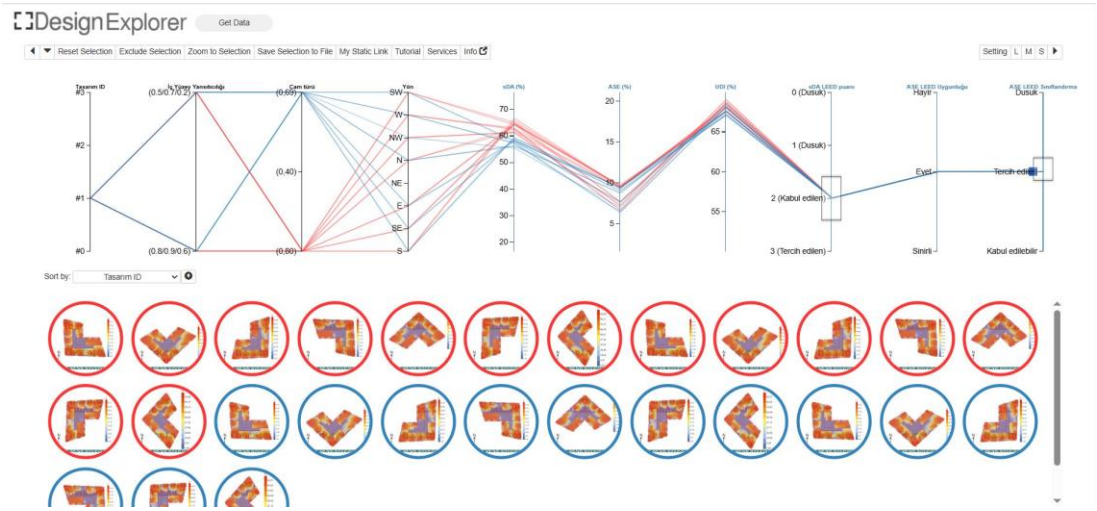
hem cephe açıklık yerleşiminin hem de cam geçirgenliğinin günışığı performansında belirleyici etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.7: Karma Açılı Binada 1 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında 40 ≤ sDA <55 aralığında kalan senaryolar 1 puanla değerlendirilmektedir. L form yapı için oluşturulan 192 varyasyon arasından bu aralıkta kalan 44 senaryo tespit edilmiştir. Ancak ASE filtresi uygulandığında bu sayı 36 senaryoya düşmektedir.

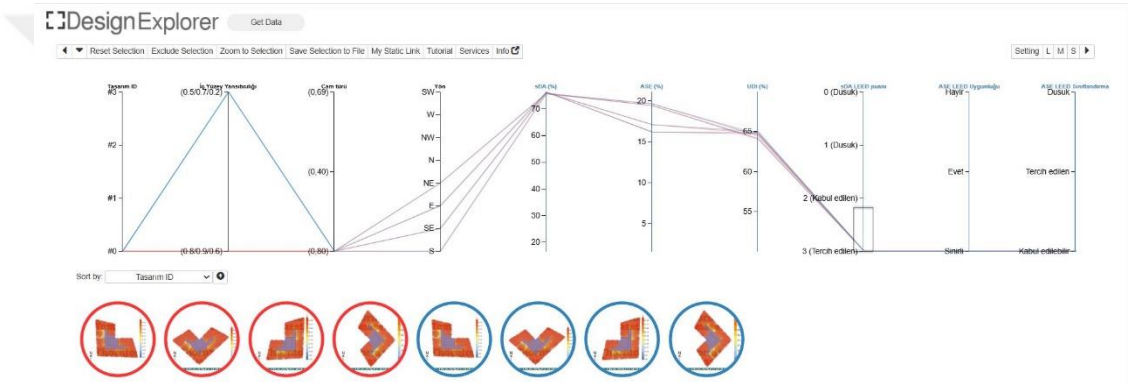
Bu varyasyonların tamamı Tasarım ID: 1, 2 ve 3 ile tanımlanan cephe açıklıklarına aittir. Tasarım ID: 0 olan varyasyonlar bu gruba hiç dâhil olmamıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.8: Karma Açılı Binada 2 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında, 55 ≤ sDA < 75 aralığında kalan senaryolar 2 puanla değerlendirilmektedir. L form yapı için bu aralıkta kalan 103 varyasyon bulunmuş; ancak ASE < 10 şartını da sağlayan ve görsel konfor açısından uygun olan yalnızca 27 senaryo filtrelenmiştir (Şekil 4.8).

Bu 27 senaryonun tamamı Tasarım ID: 1 ile tanımlanan cephe tasarım alternatifine aittir. Cam türü olarak yalnızca %69 ve %80 görünür ışık geçirgenliğine sahip camlar bu grupta yer almış; %40 geçirgenliğe sahip hiçbir senaryo bu başarıyı gösterememiştir. Sonuçlar, bu cephe varyasyonunun ve cam geçirgenliğinin birlikte yüksek performans sağladığını göstermektedir.



Şekil 4.9: Karma Açılı Yapıda 3 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

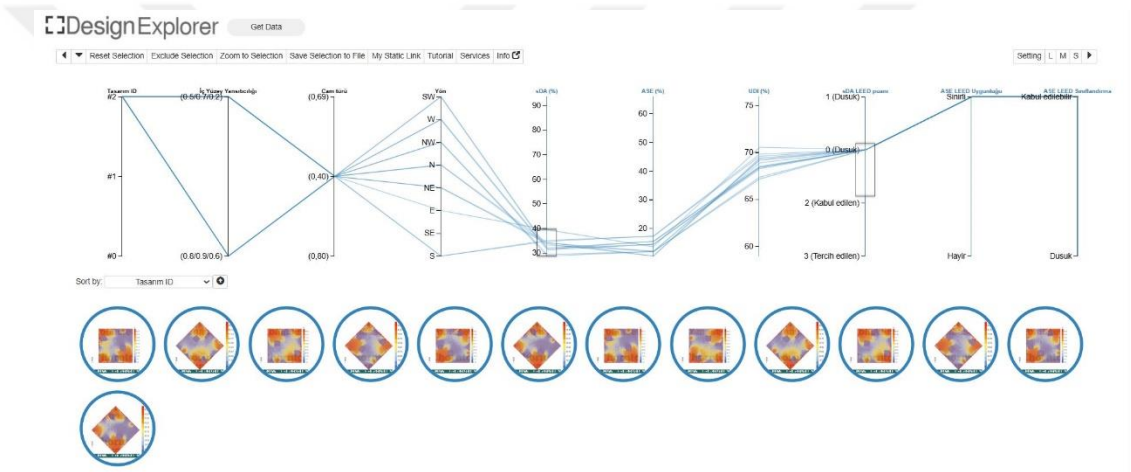
LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında, sDA ≥ %75 olan senaryolar en yüksek puan olan 3 puanla değerlendirilmektedir. L form yapı özelinde bu koşulu sağlayan 8 durum tespit edilmiş, ancak ASE < %10 kriteri sağlanamadığı için bu varyasyonların hiçbiri puan almaya hak kazanmamıştır (Şekil 4.9). İlgili senaryoların tümü Tasarım ID: 0 cephe tasarımına aittir ve %80 VLT değerine sahip cam türü ile kuzey, kuzeydoğu, güneydoğu ve güney yönlerine sahiptir. Bu kombinasyonlar yüksek günışığı girişi sağlamış, ancak ASE değerinin sınırın üzerine çıkması nedeniyle parlama riski oluşmuştur.

LEED v4.1 sistemine göre, yüksek bir sDA değeri tek başına yeterli değildir; aynı zamanda ASE ≤ %10 koşulunun sağlanması gerekmektedir. Ancak %10 ≤ ASE < %20 olduğunda pasif gölgeleme önlemleri gibi tasarımsal çözümler önerilirse, LEED bu durumu şartlı olarak kabul ederek puan verebilmektedir. Bu kapsamda, analiz edilen

varyasyonlarda cam geçirgenliğinin azaltılması, cephede pasif gölgelendirme elemanlarının tasarlanması ya da açıklık oranlarının yeniden düzenlenmesi önerilmektedir. Bu tür stratejiler, yeterli doğal aydınlık sağlarken aşırı güneşlenme ve parlama riskini azaltarak görsel konforu da artırmakta ve LEED Günışığı Kredisi kapsamında 3 puan alınması mümkün hâle gelebilmektedir (U.S. Green Building Council, t.y.)

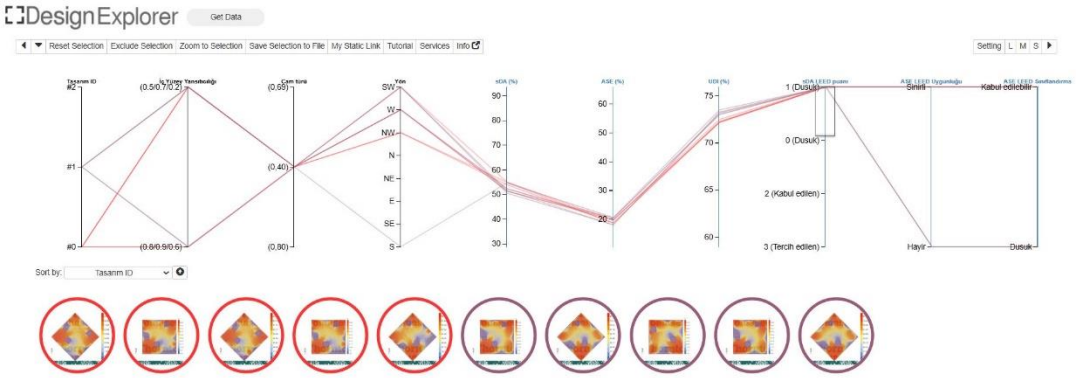
4.1.5 Dik Açılı Binaya Ait Performans Sonuçları

Dik açılı bina için oluşturulan 144 varyasyon arasından, $sDA_{300/50}\% < \%40$ olan senaryolar filtrelenmiş ve 14 adet analiz sonucu 0 puan ile değerlendirilmiştir.



Şekil 4.10. Dik Açılı Binada 0 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

Analiz bulgularına göre, bu senaryoların tamamı Tasarım ID: 2 ile tanımlanan cephe açıklık yerleşimine sahiptir. İlgili varyasyonların tümünde, %40 görünür ışık geçirgenliğine sahip cam türü kullanılmış; farklı yönlenme ve iç yüzey yansıtıcılığı kombinasyonları uygulanmasına rağmen sDA değeri %40 eşiğinin altında kalmıştır (Şekil 4.10). Bu durum, cam geçirgenliğinin düşük olduğu senaryolarda, açıklık yerleşimi ve yapı yönlenmesinin sDA üzerinde sınırlandırıcı etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, 0 puan alan senaryoların yalnızca bu cephe konfigürasyonunda görülmesi, cephe geometrisinin ve açıklık yerleşiminin günışığı performansı üzerindeki belirleyici rolünü açık biçimde göstermektedir.

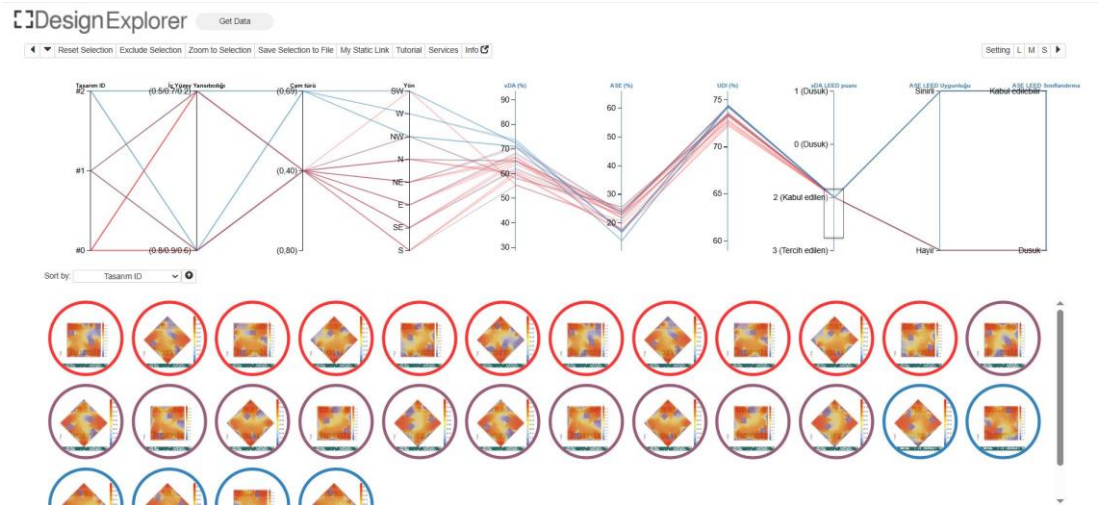


Şekil 4.11: Dik Açılı Binada 1 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

LEED v4.1 Günışığı kredisi kapsamında, $40 \leq sDA_{300/50\%} < 55$ aralığında kalan senaryolar, yeterli günışığı sağlayamasa da kabul edilebilir bir performans düzeyinde değerlendirilmekte ve 1 puan ile sınıflandırılmaktadır (U.S. Green Building Council, t.y.). Bu doğrultuda, kare form yapı için oluşturulan 144 varyasyon arasından 10 adet senaryo, bu aralıkta sDA değeri göstererek 1 puan almıştır (Şekil 4.11).

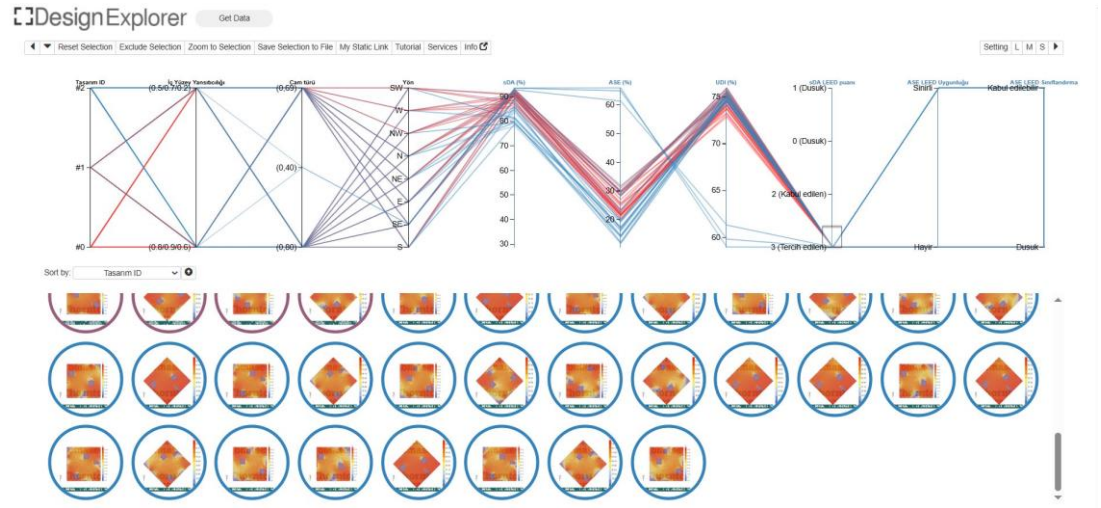
Analiz bulgularına göre, bu senaryolar yalnızca Tasarım ID: 0 ve Tasarım ID: 1 ile tanımlanan cephe açıklık yerleşimlerine aittir. Tüm varyasyonlarda %40 görünür ışık geçirgenliğine sahip cam türü kullanılmış; iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme kombinasyonları farklılık göstermektedir. Yönlenme açısından bakıldığında, bu senaryoların güneybatı, batı ve kuzeybatı yönlerine bakan cephelerde konumlandığı görülmektedir. Ancak ASE değeri hiçbir varyasyonda %10'un altına düşmemekte, dolayısıyla bu senaryolar için görsel konfor açısından parlama riski devam etmektedir.

Bu durum, görece düşük cam geçirgenliğine rağmen batı ve benzeri yönlerden gelen yoğun güneş ışığının ASE değerlerini artırdığını ve sDA değerini sınırlı düzeyde tuttuğunu göstermektedir. Sonuçlar, yönlenmenin ve açıklık yerleşiminin günışığı performansı üzerinde önemli etkiler yarattığını, ancak yalnızca cam geçirgenliği azaltılarak görsel konforun tam olarak sağlanamayacağını ortaya koymaktadır.



Şekil 4.12: Dik Açılı Binada 2 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

$55 \leq sDA_{300/50}\% < 75$ aralığında kalan 28 senaryo, 2 puan alacak şekilde filtrelenmiştir (Şekil 4.12). Ancak hiçbirinde ASE ≤ %10 koşulu sağlanmadığı için, bu varyasyonlar şartlı puanlama kapsamında değerlendirilmektedir. Bu sonuç, doğal aydınlık seviyesi yeterli olsa da parlama riskinin sürdüğünü göstermekte ve gölgeleme elemanları gibi çözümlerin gerekliliğine işaret etmektedir.



Şekil 4.13: Dik Açılı Binada 3 Puan Alan Varyasyonların Filtrelenmesi

LEED v4.1 kriterlerine göre, $sDA_{300/50}\% \geq \%75$ olan senaryolar 3 puan ile değerlendirilir (U.S. Green Building Council, t.y.). Kare form yapı için oluşturulan

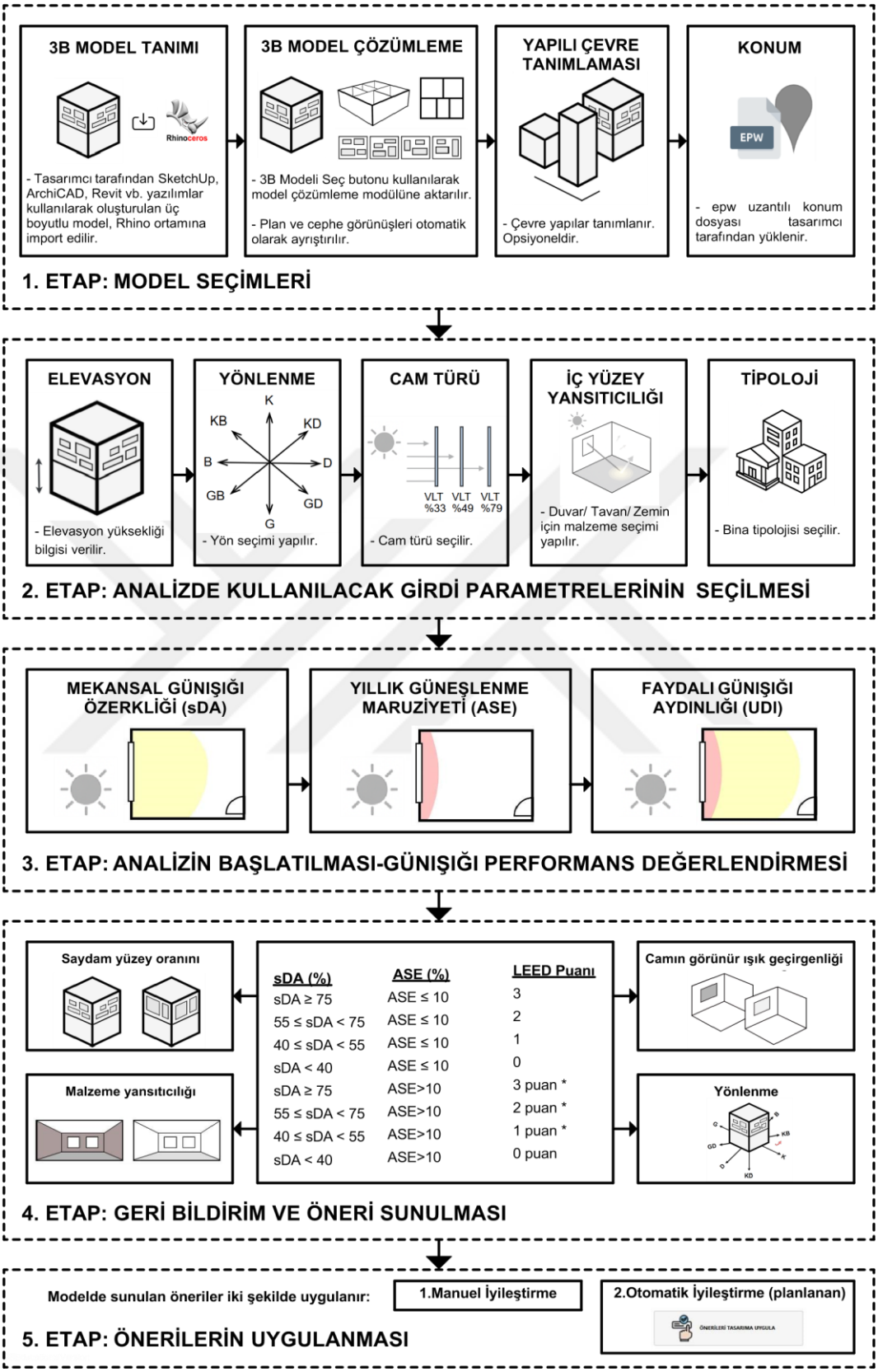
144 varyasyondan 92 tanesi bu kriteri sağlamaktadır (Şekil 4.13). Ancak bu senaryoların hiçbirinde ASE ≤ %10 koşulu karşılanmamıştır. Bu nedenle, yüksek günışığı düzeyine rağmen bu varyasyonlar yalnızca şartlı olarak 3 puan alabilmektedir. Bu sonuç, parlama riskinin sürdüğünü ve gölgeleme elemanları gibi tasarımsal önlemler olmadan tam puan alınamayacağını göstermektedir.

Yapılan analizler, sDA ve ASE kriterlerine göre çeşitli filtrelemelere tabi tutulmuş ve her senaryo grubu için günışığı performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda özellikle cam geçirgenliği, cephe açıklık yerleşimi, iç yüzey yansıtıcılığı ve yönlenme parametrelerinin doğal aydınlatma üzerinde belirleyici etkiler oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, yüksek sDA değerlerinin tek başına yeterli olmadığı, ASE değerinin sınır altına çekilmesi için ek tasarımsal stratejilere ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda, analiz sonuçlarına dayanarak geliştirilen öneriler, bir sonraki aşamada sistematik biçimde sunulacaktır.

4.2 Önerilerin Sunumu ve Tasarımcı Değerlendirmesi

Modelin ikinci aşaması, tasarımcının belirli girdiler aracılığıyla tanımladığı mimari senaryoların günışığı performansını değerlendiren, bu performansı LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında puanlayan ve sonuçlara bağlı olarak yönlendirici öneriler sunan etkileşimli bir karar döngüsü biçiminde kurgulanmıştır. Bu aşama, tasarımcıya tasarımını test etme, sonuçları değerlendirme ve elde edilen çıktılara göre tasarımını yeniden yönlendirme olanağı sağlamaktadır (Şekil 4.24).

Bu süreçte tasarımcı, tercih ettiği üç boyutlu modelleme programında tasarımını geliştirmekte ve ardından Rhino ortamına aktarmaktadır. Karar destek modelinde yer alan "çözümleme" butonu kullanıldığında plan ve cephe görünümleri otomatik olarak elde edilmekte, ayrıca kat yüksekliği bilgisi sistem tarafından doğrudan algılanmaktadır. Bu işlemin ardından tasarımcı, yönlenme, cam türü, iç yüzey yansıtıcılık değerlerini seçerek ve ve iklim verisi dosyası yükleyerek analizi başlatmaktadır.



Şekil 4.14: Model Önerilerinin Sunumu ve Tasarımcı Değerlendirme Şeması

Ayrıca modelin kullanım alanı LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında değerlendirilebilen dört ana tipoloji ile sınırlandırılmıştır: ticari yapılar (ofis, perakende vb.), konaklama yapıları (otel, yurt vb.), eğitim yapıları (okul, üniversite binaları vb.) ve konut projeleri (apartman, toplu konut vb.). Böylece model, farklı yapı türleri için erken tasarım aşamasında günışığı performansını değerlendirmeye yönelik esnek bir analiz aracı sunmaktadır.

Analiz sonucunda elde edilen sDA, ASE ve UDI değerleri modele aktarılmakta, bu değerler LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında değerlendirilerek tasarımın performans puanı hesaplanmaktadır. Eğer hedeflenen puan elde edilmezse, model tasarımcıya cephe açıklıklarının oran ve konumları, cam türü veya iç yüzey malzemelerinin yansıtıcılık değerleri gibi parametrelere yönelik yönlendirici öneriler sunmaktadır.

Ayrıca ASE değerinin %10'un üzerinde çıkması durumunda model, tasarımcıya gölgeleme elemanı kullanımını önermektedir. Ancak karar destek modeli erken tasarım aşamasına yönelik olarak geliştirildiğinden, bu aşamada doğrudan gölgeleme elemanı seçimi yapılmamakta; yalnızca gölgeleme ihtiyacına ilişkin bir uyarı verilmektedir.

Tasarımcı, modelin sunduğu öneriler doğrultusunda tasarımını manuel olarak revize ederek analizi yeniden başlatabilmektedir (Manuel İyileştirme). Gelecek aşamada ise, modelin öneri kurallarını doğrudan uygulayarak parametreleri hedef değerlere taşıması ve süreci iteratif olarak işletmesi öngörülmekte, böylece Otomatik İyileştirme seçeneğinin devreye alınması planlanmaktadır (Şekil 4.14).

4.2.1 Model Kapsamındaki Kabuller ve Sınırlılıklar

Geliştirilen modelin geçerlilik sınırlarını net biçimde ortaya koymak ve performans analizlerinin güvenilirliğini artırmak amacıyla, simülasyon sürecine ilişkin temel varsayımlar ile yöntemsel kısıtlılıklar bu bölümde açıklanmıştır. Bu yaklaşım, modelin yalnızca hangi koşullar altında geçerli olduğunun belirlenmesini değil, aynı zamanda sonuçların yorumlanabilirliğinin ve karşılaştırılabilirliğinin güçlendirilmesini

sağlamaktadır. Böylece araştırmanın kapsamı dışında kalan unsurlar tanımlanarak olası belirsizlikler azaltılmakta ve performansa dayalı çıkarımların daha tutarlı bir temele dayandırılması hedeflenmektedir. Modelin sınırlarını belirleyen varsayımlar ve kısıtlılıklar sistematik bir çerçevede sunulmuş, Tablo 4.5'te özetlenmiştir.

Tablo 4.5: Geliştirilen Modelin Kapsamındaki Kabuller ve Sınırlılıklar

No	Kabul / Sınırlılık	Açıklama
Genel Kapsam ve Sınırlar		
1	Performans kapsamı	Yalnızca doğal aydınlatma performansı değerlendirilmiştir; enerji tüketimi, ısıtma/soğutma yükleri ve termal konfor kapsam dışıdır.
2	Tasarım aşaması	Model, erken tasarım sürecinde yönlendirici bilgi üretmeyi amaçlamakta; yapısal detaylar, teknik donanımlar ve kullanıcı davranışları dahil edilmemektedir.
3	Sertifikasyon	Yalnızca LEED v4.1 Daylight kredisi temel alınmıştır; diğer sertifikasyon sistemleri kapsam dışıdır.
4	Görüş kalitesi	LEED v4.1'de yer alan "Quality Views" kredisi kapsam dışı bırakılmıştır.
5	Tipoloji	Model, LEED v4.1 Günışığı kredisi kapsamında değerlendirilebilen dört ana tipolojide kullanılmak üzere tasarlanmıştır: ticari yapılar (ofis, perakende vb.), konaklama yapıları (otel, yurt vb.), eğitim yapıları (okul, üniversite binaları vb.) ve konut projeleri (apartman, toplu konut vb.).

Geometri ve Çevresel Kabuller		
6	Geometri	Model, tek kabuklu, düz cepheli ve sade yüzey karakterine sahip yapılarda geçerlidir; eğrisel veya ikincil kabuk içeren kompleks geometriler kapsam dışıdır.
7	Çevresel koşullar	Çevredeki yapıların cephe yansıtıcılığı %20 sabit alınmış; topoğrafya düz kabul edilmiş, peyzaj ve gölge etkileri kapsam dışıdır.
8	İç mekân geometrisi	Yalnızca dış duvarlar ve iç bölücü duvarlar modele dahil edilmiştir; kolon, kiriş, niş, asma tavan vb. elemanlar kapsam dışıdır.
9	Çatı ışıklıkları	Çatı ışıklıkları (skylight) model kapsamı dışında bırakılmış, yalnızca düşey cephe açıklıkları değerlendirilmiştir.
10	Geometrik detaylar	Duvar kalınlığı, doğrama profili, pencere derinliği ve açıklık konumlandırması gibi detaylar analiz kapsamına alınmamıştır.
Analiz Parametreleri		
11	Analiz düzlemi	LEED v4.1 gerekliliklerine uygun olarak bitmiş zemin kotundan 0.76 m yükseklik sabitlenmiştir.
12	Zaman aralığı	Günışığı analizleri yıl boyunca 08:00–18:00 saatleri arasında yapılmıştır.

13	Analiz ızgarası	0.50 m × 0.50 m aralıkla tanımlanmış; LEED'in izin verdiği 600 mm sınırının altında seçilerek doğruluk artırılmıştır.
14	Kat seçimi	Kullanıcı analiz etmek istediği katı seçebilmekte; çok katlı yapılarda her kat ayrı ayrı değerlendirilebilmektedir.
15	Yönlenme	Sekiz yön seçeneği tanımlanmıştır: kuzey, güney, doğu, batı, kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu, güneybatı.
Malzeme ve Açıklık Parametreleri		
16	Cam türleri/ IGÇ	Şişecam kataloğundan %79, %49 ve %33 VLT değerlerine sahip camlar tanımlanmıştır. LEED kapsamında yalnızca %40 üzerindeki camlar değerlendirilmekte; altındakiler modelde önerilmemektedir.
17	İç yüzey yansıtıcılıkları	DIALux Evo kataloglarından seçilmiştir. Kullanıcıya 1 tavan, 5 zemin ve 5 duvar alternatifi sunulmuştur. Öneriler, TS EN 12464-1 standardındaki yansıtıcılık aralıklarına dayandırılmıştır.
18	Açıklık parametreleri	Açıklıkların parapet yüksekliği, boyutu, şekli ve oranı kullanıcı tarafından serbestçe tanımlanabilmektedir.
Simülasyon Altyapısı ve Çalışma Prensibi		
19	Simülasyon altyapısı	Rhino–Grasshopper ortamında Honeybee+Radiance motoru ile analiz yapılmıştır. İklim verileri, analiz

		yapılan bölgeye ait .epw formatındaki yıllık dosyalardan alınmıştır.
20	İçe aktarma/ Çözümleme	Tasarımcı tarafından SketchUp, ArchiCAD, Revit vb. yazılımlarda oluşturulan üç boyutlu model Rhino'ya import edilmekte; sistem çözümleme yaparak plan ve cepheleri ayrıştırmakta ve analiz geometrisini oluşturmaktadır.
21	Öneri sistemi	Açıklık yerleşimi, cam türü, yönlenme, iç yüzey yansıtıcılığı ve gölgeleme elemanlarına bağlı öneriler; sDA (≥ %75, %55–75, %40–55, <%40) ve ASE (≤ %10 / > %10) değerlerine göre tanımlanan sekiz durum tipolojisi üzerinden sunulmaktadır.
22	Optimizasyon sınırı	Model öneri üretmekte, tasarımı otomatik optimize etmemektedir. Kullanıcı önerilere göre manuel değişiklik yaparak yeniden analiz başlatmaktadır. Arayüzde öneri uygulama butonu eklenmiş olsa da henüz aktif değildir.

Bu çalışmada kullanılan Honeybee bileşeni, günışığı analizlerinde akademik geçerliliği yüksek olan ve IES LM-83 standardında tanımlanan sDA ve ASE metriklerini hesaplama yetkinliğine sahip Radiance simülasyon motorunu temel almaktadır. Radiance, LEED gibi uluslararası değerlendirme sistemlerinde önerilen iklim verisi tabanlı simülasyonlar için geçerli kabul edilmekte olup, bu nedenle modelin hesaplama altyapısı için ek bir doğrulama sürecine gerek duyulmamıştır.

Geliştirilen model yalnızca performans analizi yapmakla kalmamakta, aynı zamanda sonuçlara dayalı öneriler sunarak erken tasarım kararlarını desteklemeyi

amaçlamaktadır. Bu yönüyle model, optimizasyon aracı değil; yönlendirici bir karar destek sistemi olarak değerlendirilmektedir.

4.2.2 Modelin Parametrik Yapısı: Sabitler, Girdiler ve Çıktılar

Bu çalışmada geliştirilen model, parametrik tasarım sürecinde kullanıcı girdileri ile sabit sistem tanımlarını birlikte değerlendirerek, günışığı performans analizi gerçekleştirebilen bir karar destek altyapısı sunmaktadır. Modelin yapısı aşağıda, kullanıcı müdahalesine açık değişken girdiler, sabit tanımlı parametreler ve analiz süreci sonunda elde edilen çıktılar kapsamında üç temel grupta özetlenmiştir.

Sabit Parametreler

Bu çalışmada, analiz sürecinin tutarlılığını sağlamak amacıyla bazı parametreler kullanıcı müdahalesine kapalı olacak şekilde sabitlenmiştir. Bu tanımlar, LEED v4.1 Günışığı kredisi teknik gerekliliklerine uygun olarak belirlenmiş ve tüm senaryolarda ortak değerlendirme koşulları oluşturulmuştur. Bu kapsamda;

- Analiz düzlemi yüksekliği 0.76 m
- Grid aralığı 0.50 m
- Günışığı değerlendirme zaman aralığı 08:00–18:00 olarak sabitlenmiştir.

Girdi Parametreleri

Modelin analiz sürecinde dikkate alınan bazı parametreler, kullanıcı tarafından manuel olarak tanımlanmakta ve tasarıma özgü senaryolar doğrultusunda değiştirilebilmektedir. Bu parametreler, analiz sürecine yön veren temel girdileri oluşturmaktadır. Bu kapsamda kullanıcı tarafından tanımlanan başlıca girdiler şunlardır:

- Cephe açıklıkları tanımlanmış üç boyutlu model
- İklim verisi (.epw)
- Çevre yapılar (opsiyonel)

Bu parametreler doğrultusunda model, farklı tasarım senaryolarına uyum sağlayarak esnek bir analiz altyapısı sunmaktadır. Ayrıca modelde bazı parametreler, araştırmacı tarafından önceden tanımlanan değer aralıklarıyla sınırlı tutulmuş ancak analiz sürecinde tasarımcı tarafından seçilebilir nitelikte yapılandırılmıştır. Böylece sistem, hem analiz sürecinde kontrol edilebilirliği sağlamakta hem de kullanıcıya senaryoya uygun tercihler yapma olanağı tanımaktadır. Tablo 4.5'te bu parametreler ve tanımlanan değer aralıkları sunulmuştur.

Tablo 4.5: Modelde Tasarımcı Tarafından Seçilebilir Değerler

Parametre	**Tanımlanan Değerler**
Cam ışık geçirgenliği (IGÇ)	Şeffaf Çift Cam (%79), Solar Low-E Cam (%49), Füme Solar Low-E Cam (%33)
Tavan yansıtıcılığı	Kaba sıva beyaz %84
Zemin yansıtıcılığı	Kayın parke – wood-20 (%56), Meşe parke – wood-12 (%26), Merbau parke (%10), Gri seramik karo – tiles+06 (%17), Beyaz seramik karo (%76)
Duvar yansıtıcılığı	Beyaz boya (%84), Gri boya (%45), Kahverengi boya (%40), Kırmızı tuğla kaplaması (%10),

	Duvar kaplaması beyaz (%75)
Yönlenme	8 yön: K, KD, D, GB, G, GD, B, KB
Elevasyon (Zeminden yükseklik)	İstenilen değer girilebilmektedir.

Modelde yer alan bu parametreler, araştırmacı tarafından önceden tanımlanan değerlerle sınırlı olmakla birlikte, geliştirilebilir ve çeşitlendirilebilir bir yapıya sahiptir. Cam türleri, iç yüzey malzemeleri, yönlenme, elevasyon bilgileri, belirli aralıklarla tanımlanmış olsa da; sistemin parametrik altyapısı sayesinde bu sayıların artırılması, yeni malzeme seçeneklerinin eklenmesi veya farklı yönelme senaryolarının tanımlanması mümkündür. Böylece model hem güncel analiz ihtiyaçlarını karşılamakta hem de ileride farklı projelere veya kullanıcı tercihlerine göre genişletilebilecek modüler bir esneklik sunmaktadır.

Modelin Çıktıları

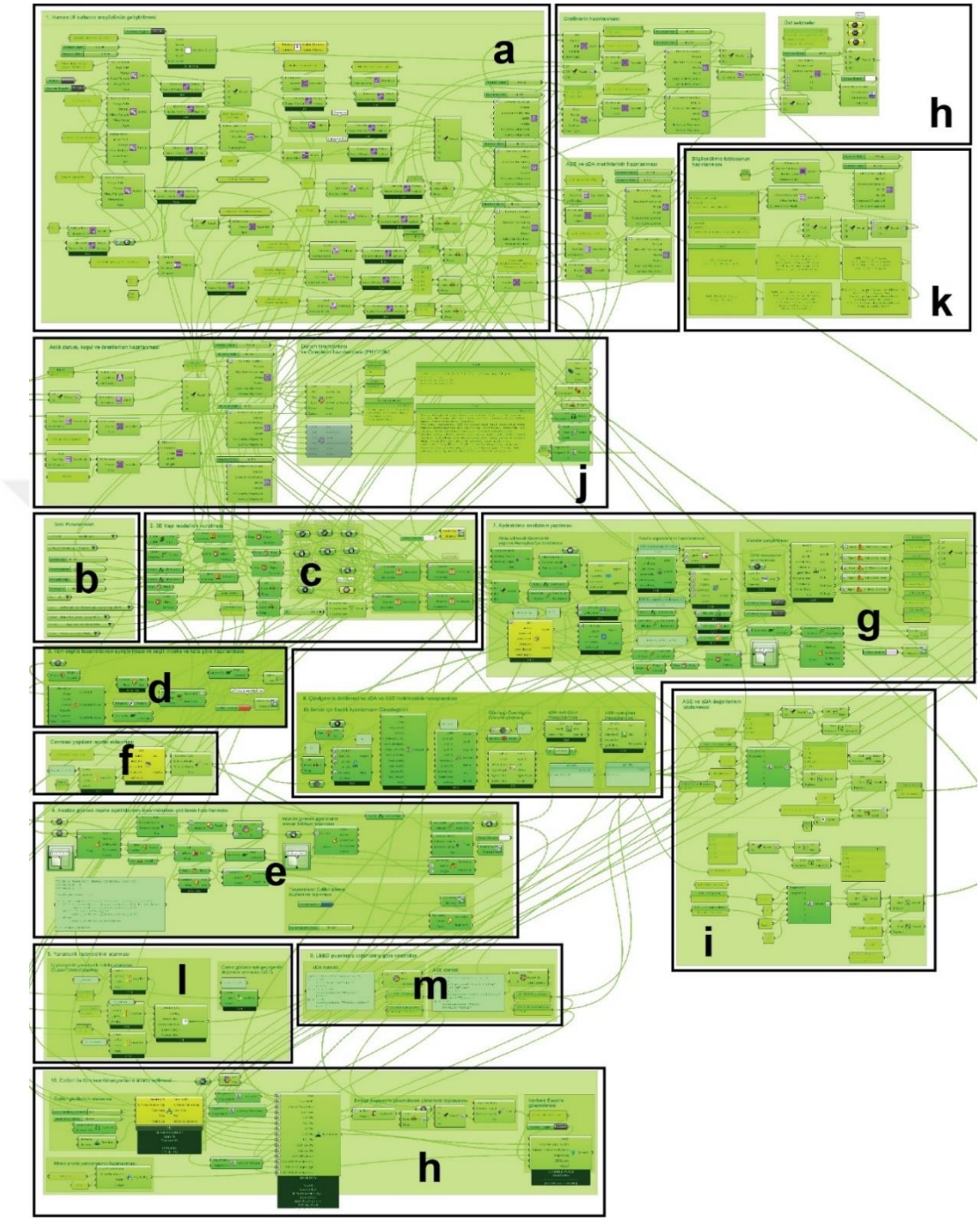
Modelin ikinci aşamasında, tasarımcı tarafından belirlenen bir tasarım senaryosu analiz edilmekte ve günışığı performansı hem temel metrikler hem de LEED v4.1 Günışığı Kredisi bağlamında değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle DA, cDA, UDI, UDI_low ve UDI_up iklim verisi temelli metrikler hesaplanmakta; bu metrikler, iç mekânda ışık dağılımının nicel yapısını ve görsel konfor düzeyini ortaya koymaktadır. Ardından, model tarafından hesaplanan sDA ve ASE değerleri, LEED v4.1 Günışığı Kredisi değerlendirme sistemine entegre edilerek analiz edilmekte; bu doğrultuda, elde edilen metrikler üzerinden puanlama gerçekleştirilmekte ve tasarımın LEED kapsamındaki günışığı puanı kullanıcıya açık bir biçimde bildirilmektedir.

Model bu analizle birlikte yalnızca mevcut durumu değerlendirmekle kalmamakta, aynı zamanda yeterli puanın sağlanamadığı durumlarda karar destekleyici öneriler de

üretmektedir. Model tarafından sunulan öneriler; iç yüzey yansıtıcılık katsayıları (duvar, tavan, zemin), seçilen cam türünün görünür ışık geçirgenliği, binanın yönlenmesi, gölgeleme elemanı ve saydam yüzeylerin oran ile konumları gibi temel tasarım parametreleri dikkate alınarak geliştirilmiş, sekiz farklı durum kapsamında sınıflandırılmıştır. Bu öneriler doğrultusunda tasarımcı, mevcut durumda tasarımını manuel olarak revize ederek modeli başa döndürmekte ve yeniden analiz gerçekleştirmektedir (Manuel İyileştirme). Gelecek aşamada ise, modelin bu önerileri otomatik olarak uygulaması, parametreleri hedef değerlere taşıması ve analizi yinelenen bir döngü içinde yeniden çalıştırması planlanmaktadır (Otomatik İyileştirme). Bu süreç, hedeflenen günışığı performans düzeyine ulaşılana kadar sürdürülebilir biçimde kurgulanmıştır. Böylece model, yalnızca analiz yapan değil; aynı zamanda tasarım kararlarını yönlendiren, geri bildirim veren ve performans bazlı iyileştirme süreçlerini destekleyen etkileşimli bir karar mekanizması olarak yapılandırılmıştır.

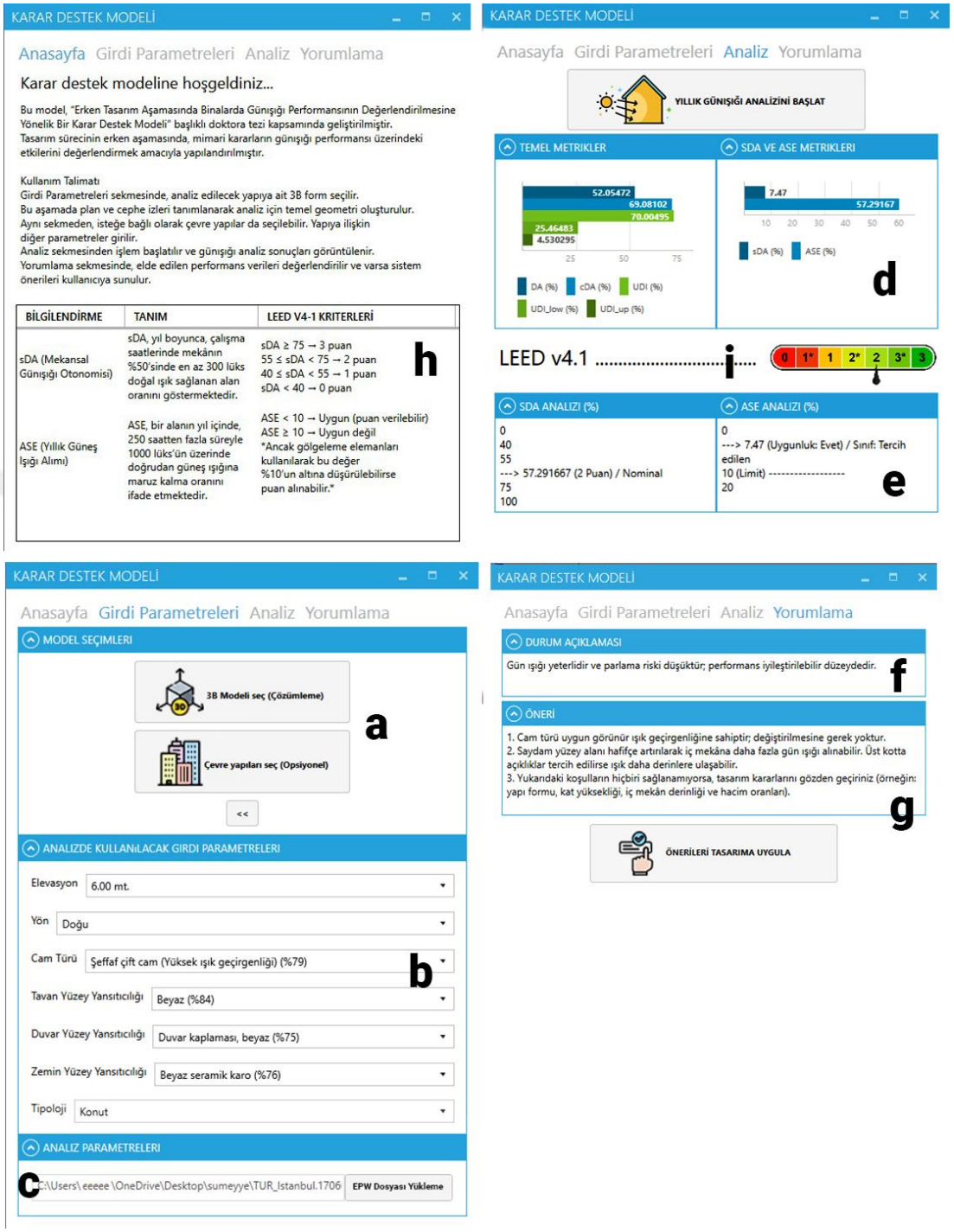
4.2.3 Modelin Geliştirilmesi ve Karar Destek Yapısının Kurulması

Geliştirilen Karar Destek Modeli, tasarım girdilerinin tanımlanmasından analiz sürecinin yürütülmesine ve sonuçların değerlendirilmesine kadar uzanan çok aşamalı bir yapıda kurgulanmıştır. Modelin bu yapısı, yalnızca performans çıktılarının elde edilmesini değil, aynı zamanda tasarım sürecinin erken evrelerinden itibaren kararların sistematik olarak test edilmesini ve yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece tasarım kararlarının günışığı performansı üzerindeki etkileri bütüncül biçimde incelenebilmekte, farklı senaryolar arasında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılabilmekte ve her aşamanın bir sonraki adımı besleyecek şekilde entegre edilmesi sağlanmaktadır. Bu yaklaşım, modelin hem analitik doğruluğunu hem de tasarımcıya sağladığı karar desteğini güçlendirmektedir.



Şekil 4.15: Modelin Grasshopper3D Üzerinde Görünümü

Model, Rhino–Grasshopper3D platformu üzerinde yapılandırılmış olup, Honeybee eklentisi ile günışığı analizlerini gerçekleştirmekte; Human UI modülü aracılığıyla kullanıcıdan sınırlı sayıda girdi alarak analiz sürecini başlatmakta ve sonuçları görsel ve sayısal olarak sunmaktadır. Öneri üretme süreci ise GHPython bileşeninde yazılan özel Python kodlarıyla sağlanmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.16: Human UI Kullanıcı Arayüzündeki Tüm Sekmelerin Görünümü

İlk olarak geliştirilen karar destek modeli, Human UI kullanıcı arayüzü ile (Şekil 4.15; Şekil 4.16a) tasarımcıdan sınırlı sayıda girdi alarak analiz sürecini başlatmakta ve sonuçları görsel ve sayısal olarak sunmaktadır. Modelin çalışması, kullanıcıdan alınan girdilere dayalı olarak sıralı ve etkileşimli biçimde ilerlemektedir.

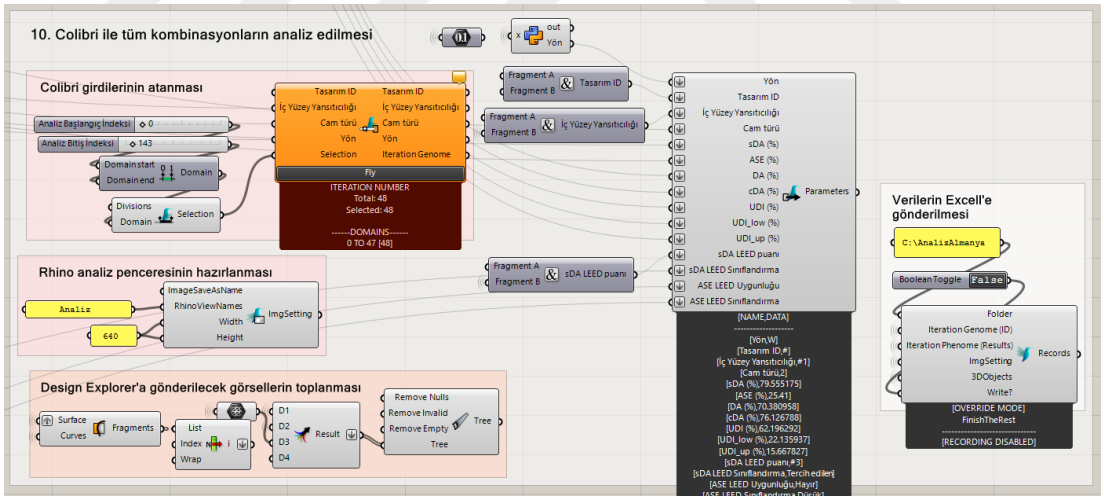
Kullanıcıdan öncelikle farklı yazılımlar (ArchiCAD, SketchUp, Revit vb.) aracılığıyla oluşturduğu 3B modeli Rhino ortamına aktarılması beklenmektedir (Şekil 4.15a; Şekil 4.16a). Seçilen model çözümleme bileşenleri tarafından işlenmekte, ardından plan ve cephe izleri otomatik olarak ayrıştırılmaktadır. Bu aşamada kullanıcıdan yön bilgisi, cam türü, iç yüzey yansıtıcılık değerleri ve analiz parametresi gibi girdiler alınmaktadır (Şekil 4.16b). Model, bu girdiler doğrultusunda yapı kütlesinin cephelerini XY düzlemine açmakta ve her bir cepheyi mekânsal bağlamı korunarak kullanıcının izlenimine sunmaktadır. Açıklık yerleşimleri modele varsayılan olarak tanımlı gelmekte, ancak tasarımcı Rhino ortamında bu açıklıkların konum ve boyutlarını değiştirebilmekte ve güncellenen düzenlemeler Human UI arayüzü aracılığıyla analiz sürecine gerçek zamanlı olarak dahil edilmektedir (Şekil 4.15d,e; Şekil 4.16a).

Bu işlemlerin ardından, analiz edilmek istenen katın zemin düzlemine (XY = 0) göre yüksekliğini ifade eden elevasyon bilgisi kullanıcıdan talep edilmektedir. Bu veri, özellikle çok katlı yapılarda her katın günışığına erişim düzeyinin farklılaşabileceği durumlar için analitik doğruluğu artırmaktadır. Elevasyon tanımlandıktan sonra, modelin günışığı hesaplamalarını doğrudan etkileyen cam türü, duvar, tavan ve zemin yüzeylerinin yansıtıcılık değerleri kullanıcıdan Human UI arayüzü aracılığıyla alınmaktadır. Bu yüzey yansıtıcılık değerleri, iç mekândaki ışık dağılımını belirlediğinden analiz sonuçları üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Şekil 4.15l; Şekil 4.16b).

Devamında, yapının yönelimi kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Rhinoceros3D çalışma alanın Y yönü kuzeyi ifade etmektedir. Bu özellik, özellikle kuzey, doğu veya batı yönlerinde açıklık yerleşimlerinin etkisini değerlendirmek açısından önem taşımaktadır (Şekil 4.15c). Ayrıca model, analiz yapılacak yapının çevresel bağlamla etkileşimini değerlendirebilmek amacıyla, kullanıcıya çevredeki yapıların üç boyutlu geometriler olarak modele eklenmesine imkân tanımaktadır. Tanımlanan çevre yapılar için, analizlerin denetlenebilirliği ve karşılaştırılabilirliği açısından tüm dış yüzeylerin yansıtıcılık değeri sabit %20 olarak kabul edilmiştir. Böylece çevresel etkiler sadeleştirilmiş ancak hesaba katılmış bir şekilde analiz sürecine dahil edilmiştir (Şekil 4.15f; Şekil 4.16b).

Son olarak kullanıcıdan, yapının bulunduğu coğrafi konum ve iklim koşullarını sisteme tanıtmak amacıyla .epw formatındaki iklim verisi dosyası yüklemesi istenmektedir. Bu dosya, yıllık bazda saatlik güneş ışınımı, bulutluluk durumu ve coğrafi koordinatlar gibi iklimsel verileri içerdiğinden, analiz sürecinin doğruluğu açısından kritik bir girdidir. Tüm bu parametrelerin tanımlanmasının ardından kullanıcı, Human UI arayüzünde yer alan **'Yıllık Günışığı Analizi Başlat'** butonunu seçerek simülasyon sürecini başlatabilmektedir (Şekil 4.15g; Şekil 4.16c). Bu işlem ile birlikte, tanımlanan tüm girdiler modele entegre edilmekte ve günışığı performansı yıllık bazda değerlendirilmek üzere simülasyon motoru tarafından hesaplanmaktadır.

Bu işlemlerin her birinde model, kullanıcıya Rhino ekranı üzerinden görsel geri bildirimler sağlamaktadır. Parametre girişlerine bağlı olarak analiz sonuçları, renk skalalarıyla görselleştirilmiş aydınlık düzeyi haritaları aracılığıyla kullanıcıya sunulmaktadır. Bu sayede kullanıcı, her bir tasarım girişinin etkisini analiz öncesinde ve sonrasında doğrudan gözlemleyebilmekte; böylece tasarım kararları ile performans çıktıları arasında görsel bir ilişki kurabilmektedir.



Şekil 4.17: Colibri ile Geliştirilen Arka Plan Modülünden Görünüm

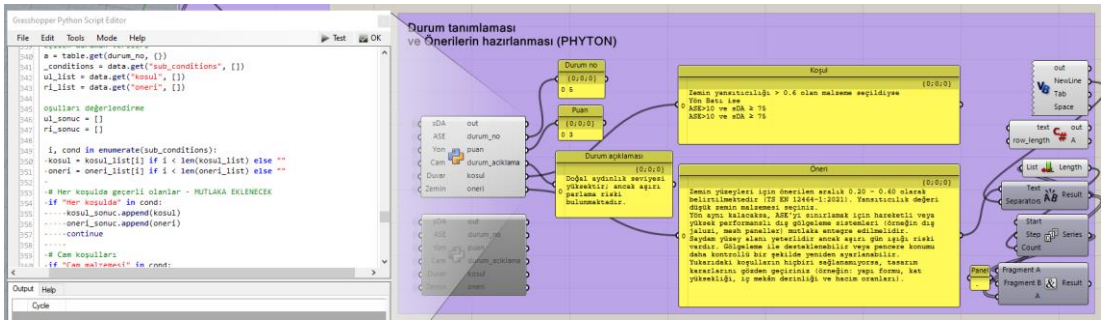
Modelin bu temel çalışma akışı içerisinde, önceki bölümlerde de açıklanan ve yalnızca sistem düzeyinde çalışan bir arka plan modülü de yer almaktadır (Şekil 4.17). Bu modül, 3b modellerin plan ve cephe çözümlemesini otomatize edilmesinin ardından çeşitli parametrik kombinasyonlarla alternatif varyasyonların sistematik biçimde üretilmesini sağlamaktadır. Amaç, farklı plan ve cephe düzenlemeleri üzerinden çok

sayıda doğal aydınlatma senaryosu oluşturarak bu varyasyonları analiz etmek ve elde edilen sonuçları modelin veri altyapısına kaydetmektir. Bu aşama, kullanıcı arayüzünde görünür değildir ve tasarımcıya doğrudan açık bir işlem adımı olarak sunulmamaktadır. Ancak bu veritabanı, sonraki aşamalarda kullanıcı tarafından yapılan tasarım seçimlerinin performans sonuçlarıyla karşılaştırılmasını mümkün kılmakta ve doğal aydınlatma bağlamında eksik görülen yönlerin tespit edilerek öneriler geliştirilmesine temel teşkil etmektedir (Şekil 4.15h).

Human UI arayüzündeki "Yıllık Günışığı Analizi Başlat" butonu aktif hale geldikten sonra analiz sürecini başlatabilmekte; ardından Rhino ekranında DA (Günışığı Otonomisi) verilerine dayalı olarak elde edilen aydınlık düzeyi haritası izlenebilmektedir. Bu harita, iç mekânda yıl boyunca ne kadar süreyle yeterli günışığı sağlandığını renk kodlarıyla görselleştirmekte ve tasarımın doğal aydınlatma açısından güçlü ve zayıf bölgelerinin kolayca tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

Buna ek olarak, Human UI arayüzünde analiz sonrası otomatik olarak aktifleşen "Analizler" sekmesi, kullanıcı tarafından girilen parametreler doğrultusunda hesaplanan (Şekil 4.15m; Şekil 4.16d-e) tüm performans çıktılarının grafiksel biçimde sunulduğu bölümdür. Bu sekmede kullanıcıya ilk olarak DA, cDA, UDI_low, UDI_up, sDA ve ASE gibi temel günışığı metriklerine ilişkin sonuçlar sunulmakta; her bir metrik için eşik değerlere göre görselleştirilmiş grafikler aracılığıyla performans düzeyleri yorumlanabilir hâle getirilmektedir (Şekil 4.15h; Şekil 4.16d).

Bu sekmenin hemen altında, LEED v4.1 kriterlerine göre sDA ve ASE metriklerinin alt ve üst sınırlarına göre görselleştirildiği ve yorumlanabilir grafiklerin yer aldığı bir değerlendirme bölümü sunulmaktadır (Şekil 4.16e). Bu bölümde, sDA değerine göre elde edilen LEED puanı ve alanın günışığına erişim düzeyi görselleştirilmekte; aynı şekilde ASE metriği için de kabul edilebilir sınırların üzerindeki aşırı güneşlenme durumları işaretlenmekte ve uygunluk kontrolleri kullanıcıya açık biçimde gösterilmektedir. Böylece mevcut tasarımın LEED puanlamasına göre hangi aralıkta yer aldığını ve puan elde etme potansiyelini doğrudan izleyebilmektedir (Şekil 4.15i; Şekil 4.16e).



Şekil 4.18: Model Üzerinde Durum Tanımlaması ve Önerilerin Hazırlanması İçin Geliştirilen Phyton Kodlamasından Bir Görünüm

Modelin önemli işlevlerinden biri, bu analiz sonuçlarına dayanarak LEED v4.1 kriterlerine göre yapılandırılmış bir yorum ve öneri sistemini devreye almasıdır. Bu amaçla geliştirilen sistemsel yapı içerisinde, yaklaşık 419 satırlık bir Python kodu çalışmakta (EK 3); bu kod aracılığıyla öncelikle sDA ve ASE değerlerine göre bir ön durum değerlendirmesi yapılmakta, ardından bu değerlere göre yapı sekiz farklı performans sınıfına ayrılmaktadır. Her bir sınıfın içinde ise yapının tanımlı tasarımsal ve yapısal parametreleri (örneğin açıklık oranı, yansıtıcılık değerleri, yönlenme) dikkate alınarak ikinci düzey sınıflandırmalar gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.18; Şekil 4.15j).

Python kodları tarafından oluşturulan ilk çıktı, "Durum Açıklaması" başlığı altında kullanıcıya sunulmakta olup, analiz metrikleri ile yapısal veriler birlikte değerlendirilerek tasarımın mevcut günışığı performansı hakkında niteliksel bir yorum üretilmektedir (Şekil 4.15j; Şekil 4.16f). Örneğin, belirli bir senaryo için şu şekilde bir ifade üretilebilmektedir:

"Doğal aydınlık seviyesi yüksektir; ancak aşırı parlama riski bulunmaktadır."

Bu açıklama, tasarımcının yalnızca sayısal verilere değil, doğrudan yoruma dayalı bir geri bildirime ulaşmasını sağlayarak karar alma sürecini desteklemektedir.

Python kodu ile elde edilen ikinci çıktı ise, arayüzde "Öneri" başlığı altında sunulmakta ve modelin daha önce oluşturduğu veri tabanından yararlanılarak, yapının mevcut tasarımsal ve yapısal parametrelerine göre LEED başarısını artırmaya yönelik iyileştirme önerileri geliştirilmektedir (Şekil 4.15j; Şekil 4.16g). Bu öneriler, her bir

yapıya özgü parametre seti dikkate alınarak oluşturulmakta ve doğrudan kullanıcı tanımlı girdilerle ilişkilendirilmektedir. Örneğin, iç mekânda kullanılan zemin kaplamasının düşük yansıtıcılık değerine sahip olduğu ve bu nedenle sDA değerinin yetersiz kaldığı bir durumda model şu şekilde bir öneri sunabilmektedir:

"Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek zemin malzemesi seçiniz." Benzer şekilde, aşırı günışığına maruz kalan bir senaryoda model, *"Doğal aydınlık seviyesi yüksektir; ancak aşırı parlama riski bulunmaktadır."* şeklinde uyarı sunarak hem tasarımsal (örneğin açıklık yerleşimi, yönlenme) hem de yapısal (örneğin malzeme özellikleri) düzeyde yönlendirme sağlamaktadır.

Tüm bu sürecin kullanıcı tarafından daha sağlıklı anlaşılabilmesi amacıyla arayüze "Anasayfa" başlığı altında ayrı bir sekme daha eklenmiştir. Bu bölümde, kullanıcı model hakkında bilgilendirilmekte ve kullanma talimatları yer almaktadır. Ayrıca sDA ve ASE metriklerinin tanımları, eşik değerleri, LEED v4.1 puanlama aralıkları ve değerlendirme kriterlerine ilişkin açıklayıcı bilgiler kullanıcıya sunulmaktadır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6: Modelde Sunulan Bilgilendirme

Metrik	**Tanım**	**LEED v4.1 Değerlendirme Kriteri**
sDA (Mekansal Günışığı Otonomisi)	sDA, yıl boyunca, çalışma saatlerinde mekânın %50'sinde en az 300 lüks doğal ışık sağlanan alan oranını göstermektedir.	sDA ≥ 75 → 3 puan 55 ≤ sDA < 75 → 2 puan 40 ≤ sDA < 55 → 1 puan sDA < 40 → 0 puan
ASE (Yıllık Güneş Işığı Alımı)	ASE, bir alanın yıl içinde, 250 saatten fazla süreyle 1000 lüks'ün üzerinde doğrudan güneş ışığına	ASE < 10 → Uygun (puan verilebilir) ASE ≥ 10 → Uygun değil

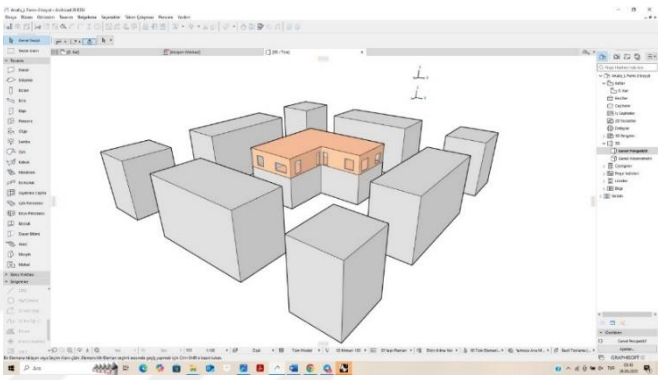
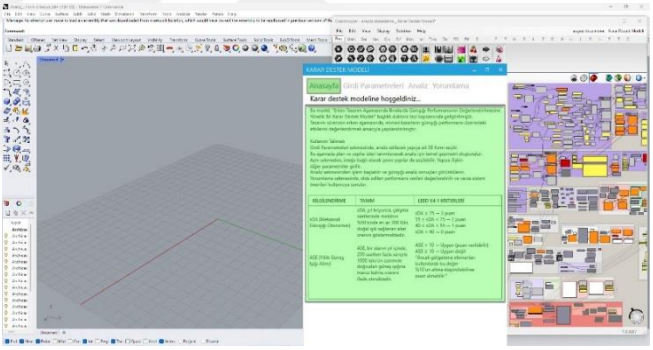
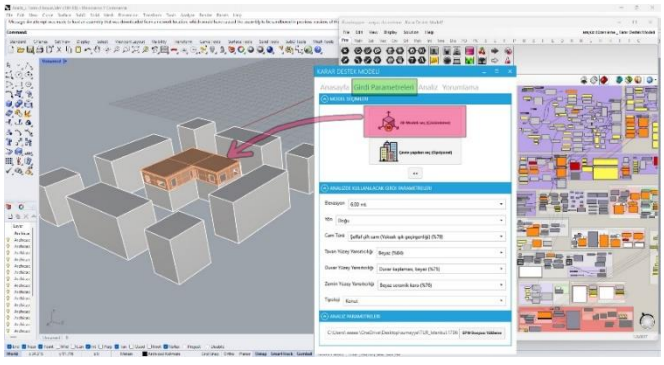
	maruz kalma oranını ifade etmektedir.	*Ancak gölgeleme elemanları kullanılarak bu değer %10'un altına düşürülebilirse puan alınabilir.

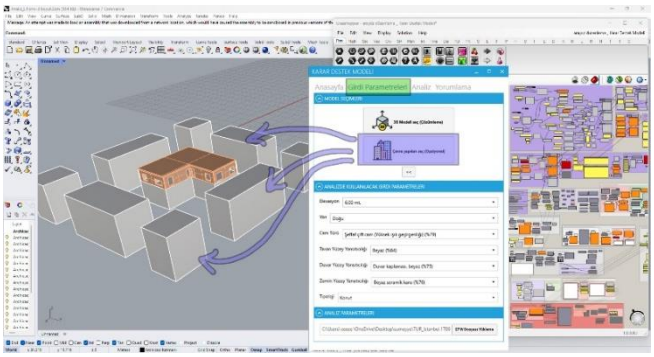
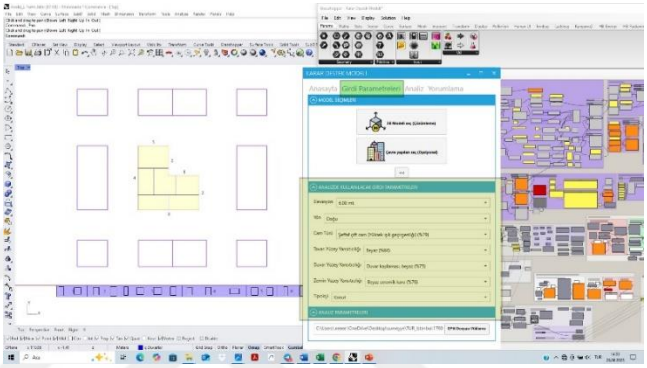
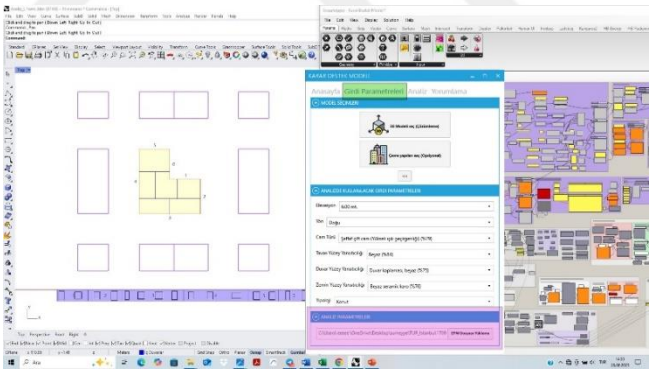
Bu bilgilendirme modülü, özellikle performans değerlendirme sonuçlarının yorumlanması ve öneri sisteminin mantığının kavranması açısından kullanıcıya destek sağlamaktadır (Şekil 4.16h).

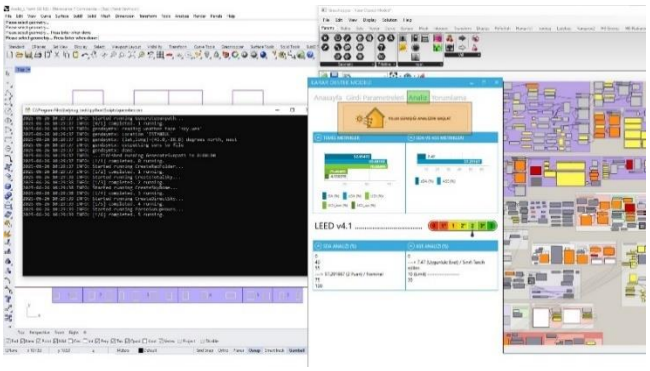
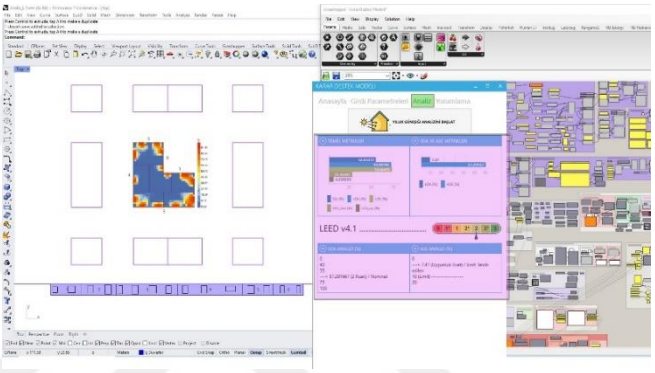
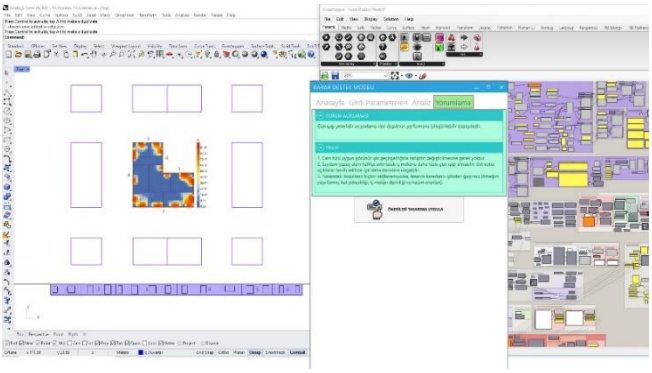
4.3 Tasarım Senaryolarının Model Tabanlı Analizi

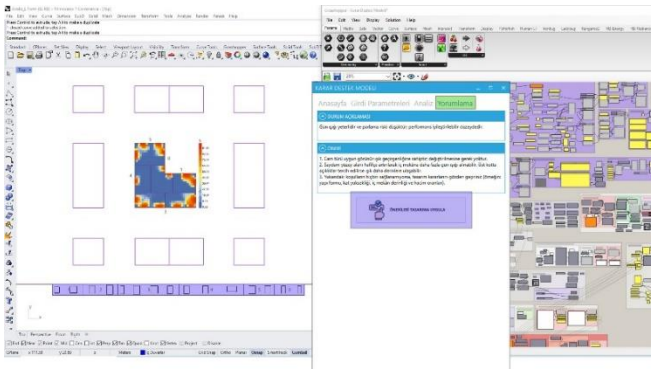
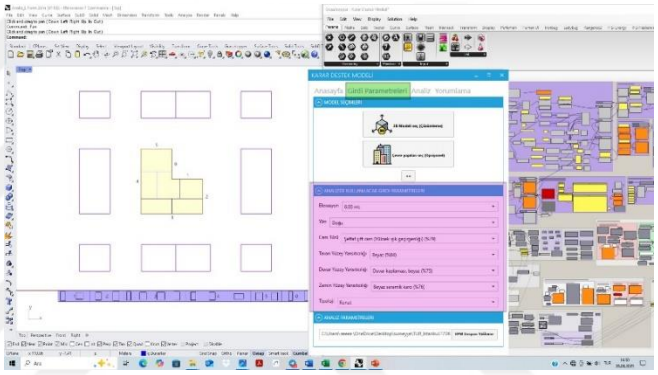
Bu bölümde geliştirilen modelin analiz kapasitesi, örnek iki kütle üzerinde test edilerek değerlendirilmektedir. Belirli tasarım girdilerinin tanımlanmasının ardından sistematik bir işlem akışı izlenmekte ve günışığı performansına ilişkin metrikler elde edilmektedir. Süreç, tasarımcının öncelikle çalışılacak yapının üç boyutlu tasarımını oluşturması ve Rhino ortamına aktarması (ya da doğrudan Rhino'da modellemesi) ile başlamaktadır. Model bu 3B geometrik veriyi çözümleyerek plan ve cepheleri ayrıştırmakta, ardından analiz için gerekli parametreler tanımlanmaktadır. Kullanıcı arayüzünde elevasyon (ilgili katın bina giriş kotundan itibaren yüksekliği), yön, cam türü ve iç yüzey yansıtıcılık değerleri (duvar, zemin, tavan) girilmekte; bu girdiler doğrultusunda model tarafından sDA, ASE ve UDI gibi performans göstergeleri hesaplanmaktadır. Bu göstergeler, farklı tasarım senaryoları arasındaki günışığı performans farklarını ortaya koymakta ve tasarım kararlarının nicel olarak test edilmesine olanak sağlamaktadır. Tablo 4.7'de analiz sürecine ait işlem adımları özetlenmekte, takip eden bölümlerde ise elde edilen veriler değerlendirilerek tasarıma yönelik öneriler geliştirilmektedir. Bu uygulama, modelin gerçek bir senaryoda nasıl işlediğini, tasarımcı girdilerini nasıl işlediğini ve performans çıktıları üzerinden karar destek mekanizmasını nasıl yönlendirdiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Tablo 4.7: Modelin Uygulama Aşamaları

Sıra	İşlem Tanımı	Arayüz Görünümü
1	Analize girecek mimari yapının Autocad, Sketchup, Archicad, 3DsMax gibi bir modelleme yazılımında 3B olarak modellenmesi	
2	Modelin Grasshopper3D ortamında başlatılması ve anasayfası üzerinden kullanıcıya tanıtımı	
3	3B mimari tasarımın Rhinoceros3D'ye aktarımı ve Human UI üzerinden seçilerek analize uygun hale getirilmesi için temel çözümlelerinin yapılması	

4	3B engel yapıların Human UI üzerinden modele tercihen tanıtılması	
5	Analizde kullanılacak parametrelerin belirlenmesi: elevasyon bilgisi, cam türü, tavan/duvar/zemin malzemeleri (yansıtıcılık değerleri) ve yapı tipolojisi	
6	.epw iklim dosyasının Human UI üzerinden seçilerek modele yüklenmesi	

7	“Yıllık Günışığı Analizini Başlat” butonunun aktifleştirilerek analizin başlatılması	
8	Analiz sonuçlarının elde edilmesi: sDA, ASE, UDI, DA ve cDA verilerinin hesaplanması; LEED v4.1 Günışığı Kredisi puanlamasının elde edilmesi	
9	LEED v4.1’e göre değerlendirme yapılarak yetersiz durumlarda öneriler sunulması	

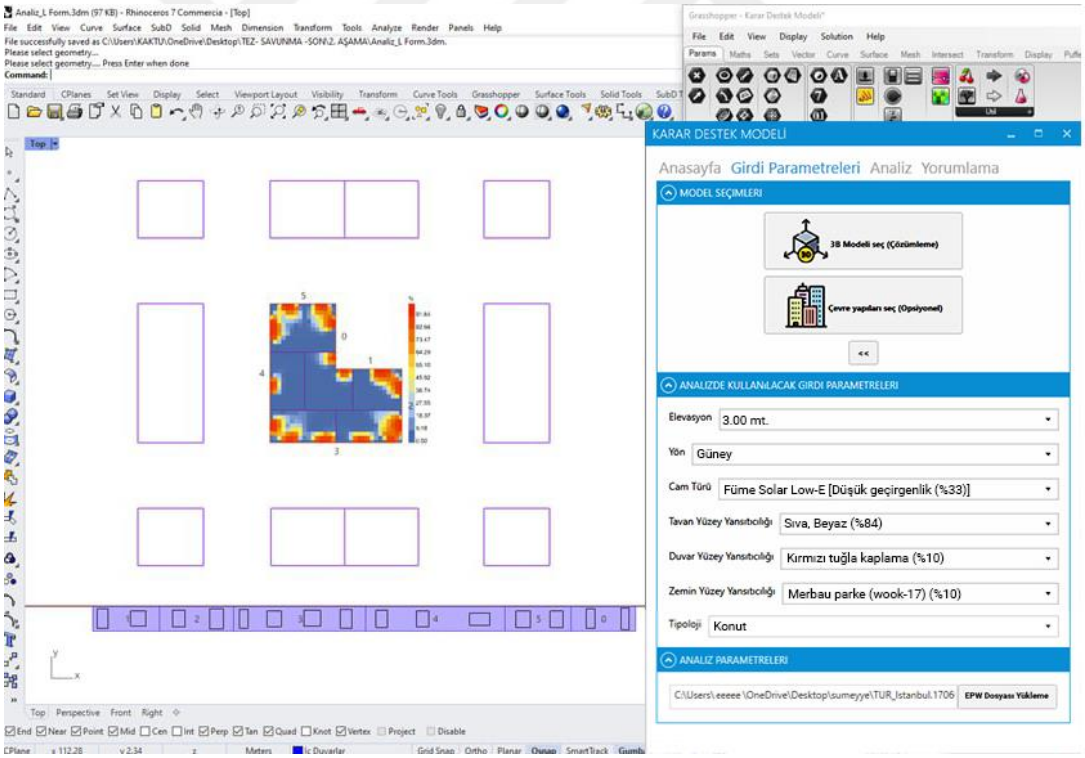
10	Puanlama ve değerlendirme sonrası ortaya çıkan öneri parametrelerinin model üzerinde tercihen otomatik olarak uygulanması (Geliştirilme aşamasındadır.)	
11	LEED puanının yetersiz olduğu durumlarda, tasarımcının parametreleri değiştirerek analizi yenilemesi ya da modeli kendi programında düzenleyip tekrar Rhinoceros'a import ederek parametreleri yeniden seçip analizi başlatması	

Devam eden bölümde günışığı performansının kullanıcı girdilerine bağlı olarak nasıl değiştiği sistematik biçimde incelenmiştir. L form ve dikdörtgen form iki bina örneği üzerinden yürütülen analizlerde cam geçirgenliği, iç yüzey yansıtıcılığı, açıklık yerleşimi ve boyutları ile farklı katlarda engel yapı yüksekliğinin etkisi ayrı ayrı sınanmıştır. Her senaryoda başlangıçta düşük günışığı performansı gösteren bir durum analiz edilmiş; ardından modelin öneri sistemi aracılığıyla ilgili tasarım parametreleri iyileştirilerek yeniden değerlendirme yapılmıştır. Bu yaklaşım, geliştirilen modelin yalnızca mevcut durumu değerlendirmekle kalmayıp aynı zamanda tasarım döngüsü içinde çözüm önerileri sunarak performansı artırabildiğini ortaya koymaktadır.

Böylece LEED v4.1 Günışığı Kredisi çerçevesinde en yüksek puanı hedefleyen tasarım alternatiflerine kullanıcıyı yönlendiren etkileşimli bir karar destek süreci tanımlanmaktadır.

4.3.1 L Form Binanın Günışığı Performansı ve İyileştirme Süreci

"Analiz kapsamında kullanılan L form yapı, estetik veya mimari kaygılar güdülmeden, yalnızca performans analizi için oluşturulmuş basitleştirilmiş bir kütle örneğidir. Yapıya ait plan düzeni yalnızca analiz sürecini test etmek ve modelin karar destek kapasitesini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Çevresel etkiyi test etmek üzere, yapının 8 metre uzağında konumlandırılmış ve 12 metre yüksekliğe sahip engel yapılar tanımlanmıştır. Bu koşullar altında model çalıştırılmış, günışığı performans metrikleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

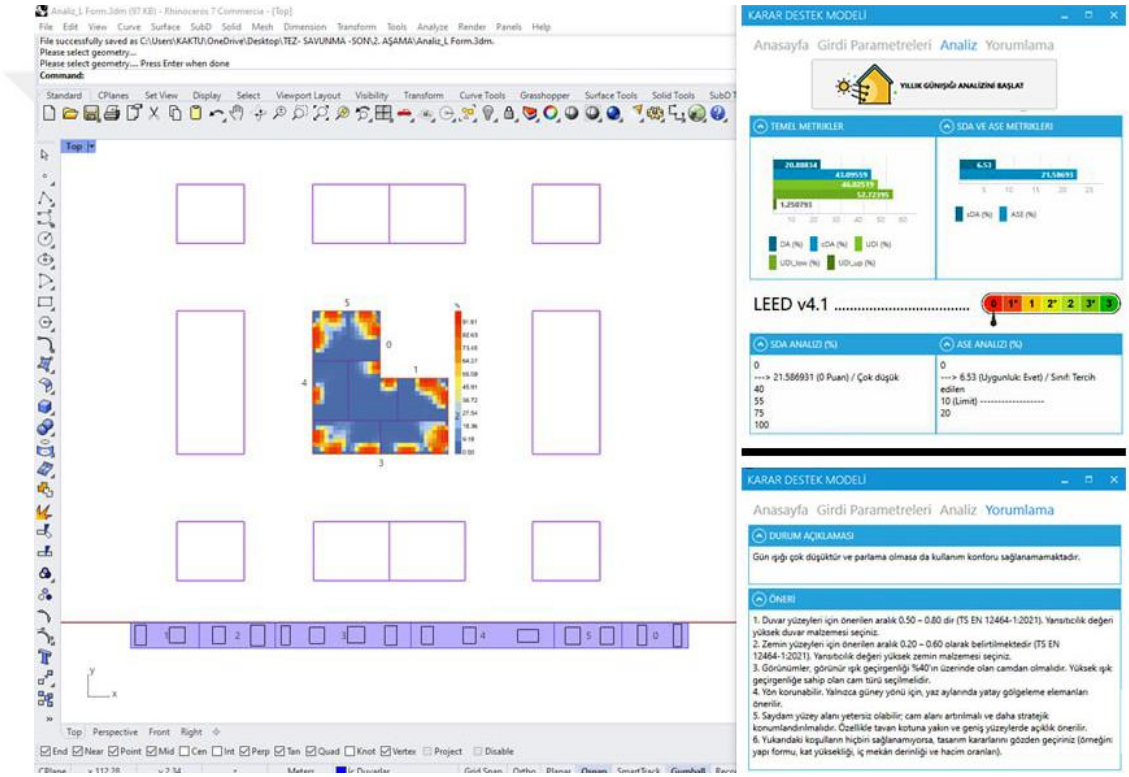


Şekil 4.19: Kullanıcı Girdilerinin Tanımlanması ve Analizi: L Form

Bu senaryoda bina, güney yönelimine sahip olacak şekilde konumlandırılmış ve %33 ışık geçirgenliğine sahip Füme Solar Low-E cam kullanılmıştır. İç mekân yüzey özellikleri incelendiğinde; tavan oldukça yüksek yansıtıcılığa (%84) sahip olmasına

rağmen, duvar (%10) ve zemin (%10) yansıtıcılık değerleri oldukça düşüktür. Bu parametre kombinasyonu, iç mekâna ulaşan doğal ışığın dağılımını sınırlamış ve yüzey yansımalarını zayıflatmıştır (Şekil 4.19).

Yıllık günışığı analizinde sDA oranı %21.58 olarak ölçülmüş ve bu değer, LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında 0 puan ile değerlendirilmiştir (Şekil 4.31). ASE değeri %6.5 ile 10% eşiğinin altında kalarak parlama riski oluşturmamaktadır. Ancak bu düşük ASE değeri, iç mekânın aşırı aydınlık olmasından değil; yetersiz ışık girişi nedeniyle aydınlık riskinin oluşmamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.20: LEED V4.1 Değerlendirmesi ve Öneri Sunumu: L Form

LEED puanı alınamayan bu senaryoda Şekil 4.20'de görülen sistem tarafından önerilen iyileştirmeler şunlardır:

1. Duvar yüzeyleri için önerilen aralık 0.50 – 0.80 dir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek duvar malzemesi seçilmelidir.

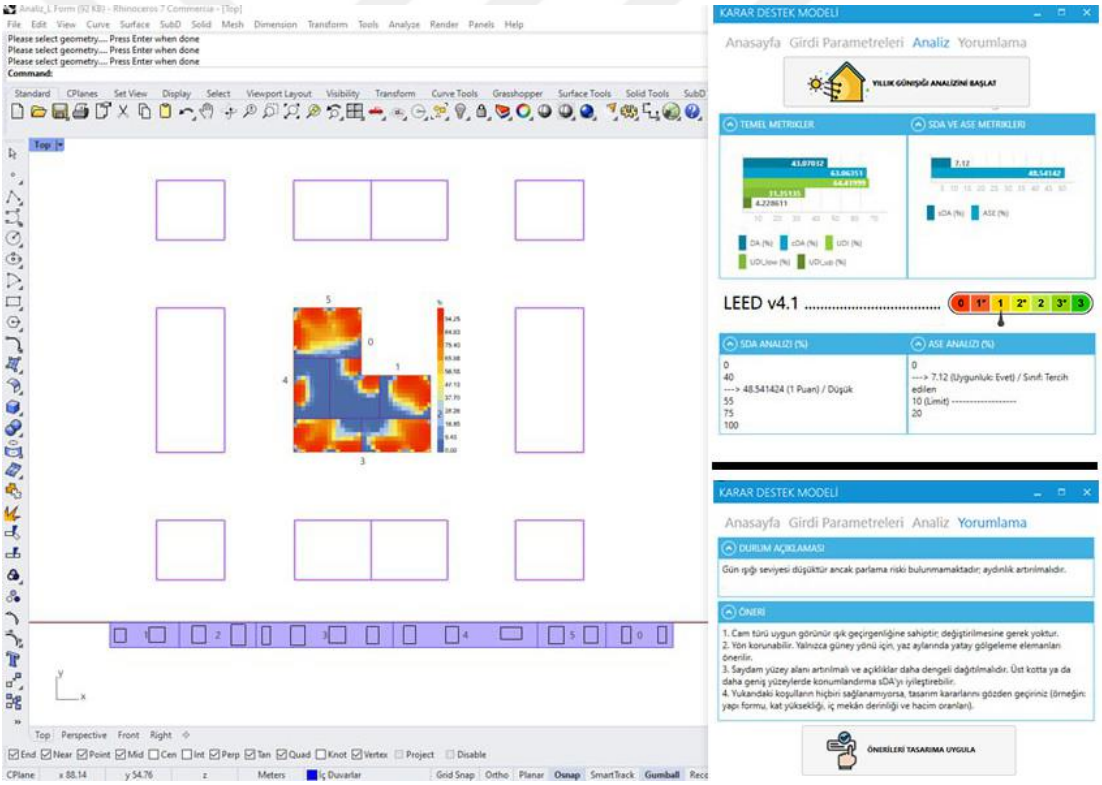
2. Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek zemin malzemesi seçilmelidir.

3. Görünümler, görünür ışık geçirgenliği %40'ın üzerinde olan camdan olmalıdır. Yüksek ışık geçirgenliğe sahip olan cam türü seçilmelidir.

4.Yön korunabilir. Yalnızca güney yönü için, yaz aylarında yatay gölgeleme elemanları önerilir.

5.Saydam yüzey alanı yetersiz olabilir; cam alanı artırılmalı ve daha stratejik konumlandırılmalıdır. Özellikle tavan kotuna yakın ve geniş yüzeylerde açıklık önerilir.

6. Yukarıdaki koşulların hiçbiri sağlanamıyorsa, tasarım kararlarını gözden geçirilmelidir (örneğin: yapı formu, kat yüksekliği, iç mekân derinliği ve hacim oranları).



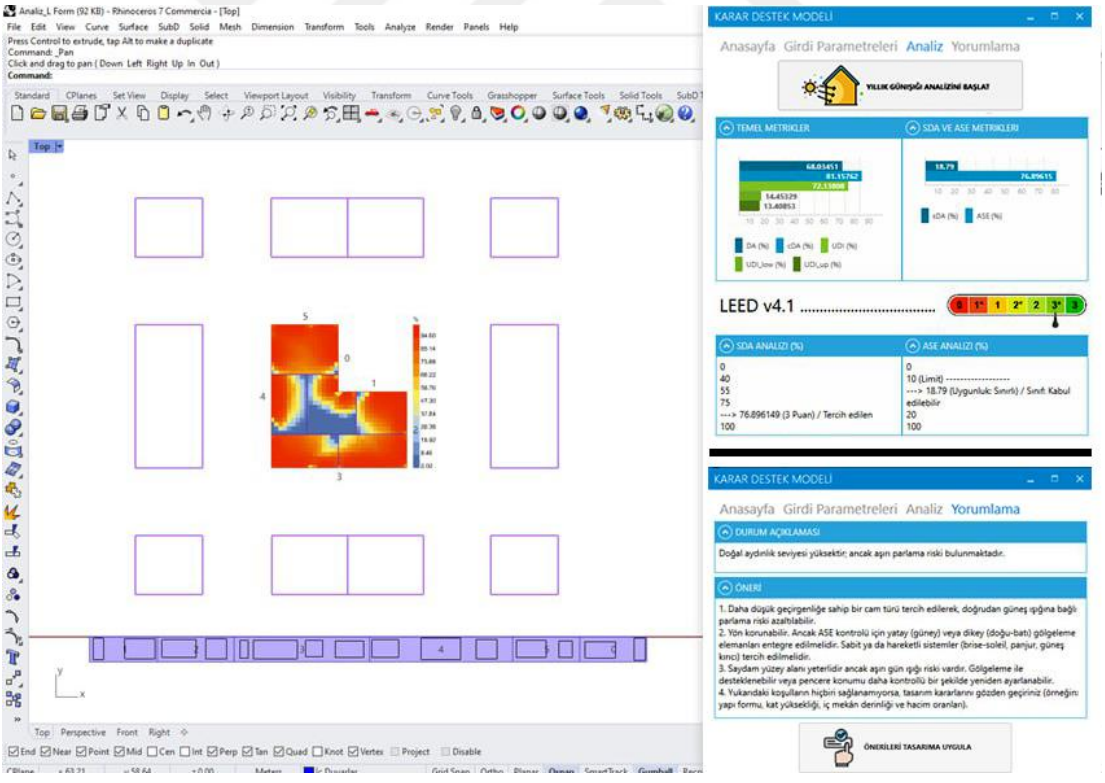
Şekil 4.21: L Form için Yüzey Yansıtıcılık Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi

Verilen bu öneriler çerçevesinde aynı cephe tasarımı korunmuş; yalnızca cam türü ve iç yüzey malzemeleri değiştirilmiştir. Cam geçirgenliği %33'ten %79'a çıkarılmış

(Füme Solar Low-E yerine Şeffaf Çift Cam), duvar yansıtıcılığı %10'dan %75'e, zemin yansıtıcılığı ise %10'dan %56'ya yükseltilmiştir.

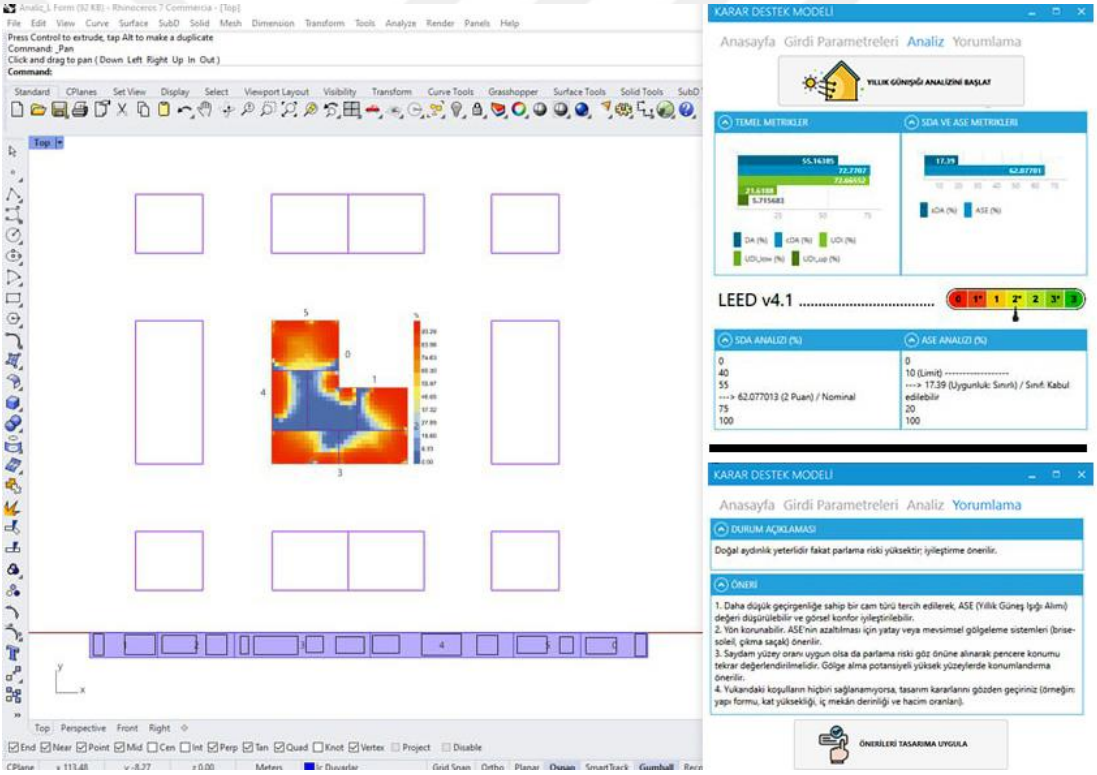
Yapılan analizde, sDA değeri %21.58'den %48.5'e çıkarak önemli bir aydınlık artışı sağlanmıştır. ASE değeri %6.53'ten %7.12'ye yükselse de hâlâ LEED sınırı olan %10'un altındadır (Şekil 4.21). Böylece, yapı içi görsel konfor artırılmış ve LEED Günışığı Kredi puanı 0'dan 1 puana yükselmiştir.

Analiz sonucunda sistem, cam türü ve yönlenme parametrelerinin uygun olduğunu belirterek bu girdilerin sabit tutulabileceğini ifade etmiştir. Buna karşılık, yalnızca yatay gölgeleme elemanlarının eklenmesi yönünde öneride bulunulmuştur. Ayrıca, saydam yüzey alanının artırılması veya açıklıkların daha dengeli biçimde dağıtılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu doğrultuda, bir sonraki aşamada sistem tarafından sunulan önerilere uygun olarak cephe açıklıklarının yerleşimi ve boyutları yeniden düzenlenecek ve analiz süreci tekrarlanacaktır.



Şekil 4.22: L Form için Cephe Önerisinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi

Sistem tarafından bir önceki analiz sonucunda sunulan öneriler doğrultusunda cephe açıklıklarının boyutları ve yerleşimleri yeniden düzenlenmiş ve analiz süreci tekrarlanmıştır. Yeni analiz sonucunda sDA değeri %76.9' a ulaşmış ve bu sayede LEED v4.1 Günışığı Kredisi kapsamında 3 puan alınmaya hak kazanılmıştır. Ancak aynı senaryoda ASE değeri %18.79'a yükselmiş ve bu durum, aşırı parlama riskinin ortaya çıktığını göstermektedir (Şekil 4.22). Sonuç olarak, açıklıkların artırılması ve doğru konumlandırılması sayesinde günışığı performansı artırılmış; ancak parlama riskinin yönetimi için ek önlemler alınması gerektiği ortaya konmuştur. Sistem bu riske karşı, daha düşük geçirgenliğe sahip cam türlerinin tercih edilmesi ve yatay-dikey gölgeleme elemanlarının uygulanması yönünde öneriler sunmuştur.



Şekil 4.23: L Form Cam Türü Önerisinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi

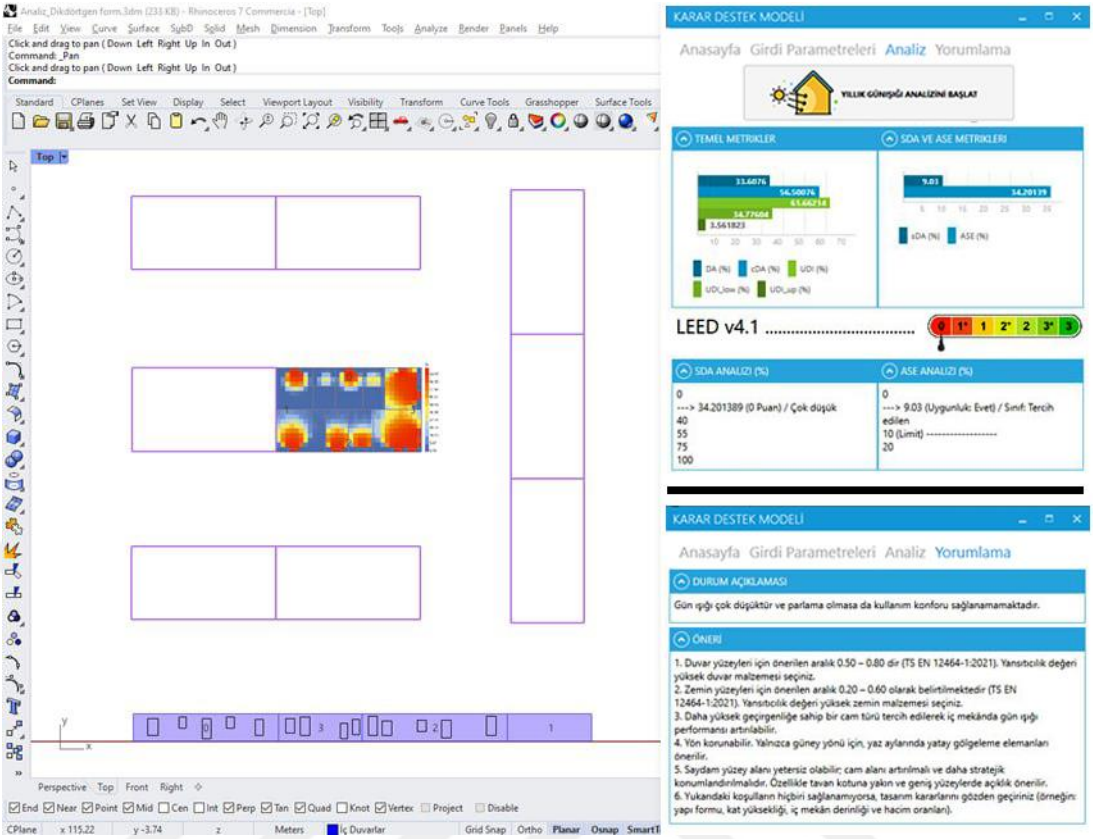
Bu öneriye bağlı olarak, bir sonraki aşamada yalnızca cam türü değiştirilmiş ve modele %49 IGÇ değerine sahip orta geçirgenlikte bir cam tanımlanmıştır (Şekil 4.23). Diğer tüm parametreler sabit tutulmasına rağmen, sDA değeri %76.9'dan %62.07'ye düşmüş ve LEED puanı 3'ten 2'ye gerilemiştir. Bu sonuç, cam türünün görünür ışık

geçirgenliği açısından doğal aydınlık performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Bu sonuç, günışığı performansında sadece açıklık yerleşimi ve yönlenmenin değil; cam geçirgenliği ve yüzey yansıtıcılıklarının da doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Uygun cam türü ve iç yüzey malzemeleriyle, aynı cephe geometrisinde dahi ciddi bir performans iyileştirmesi elde edilebileceği görülmüştür.

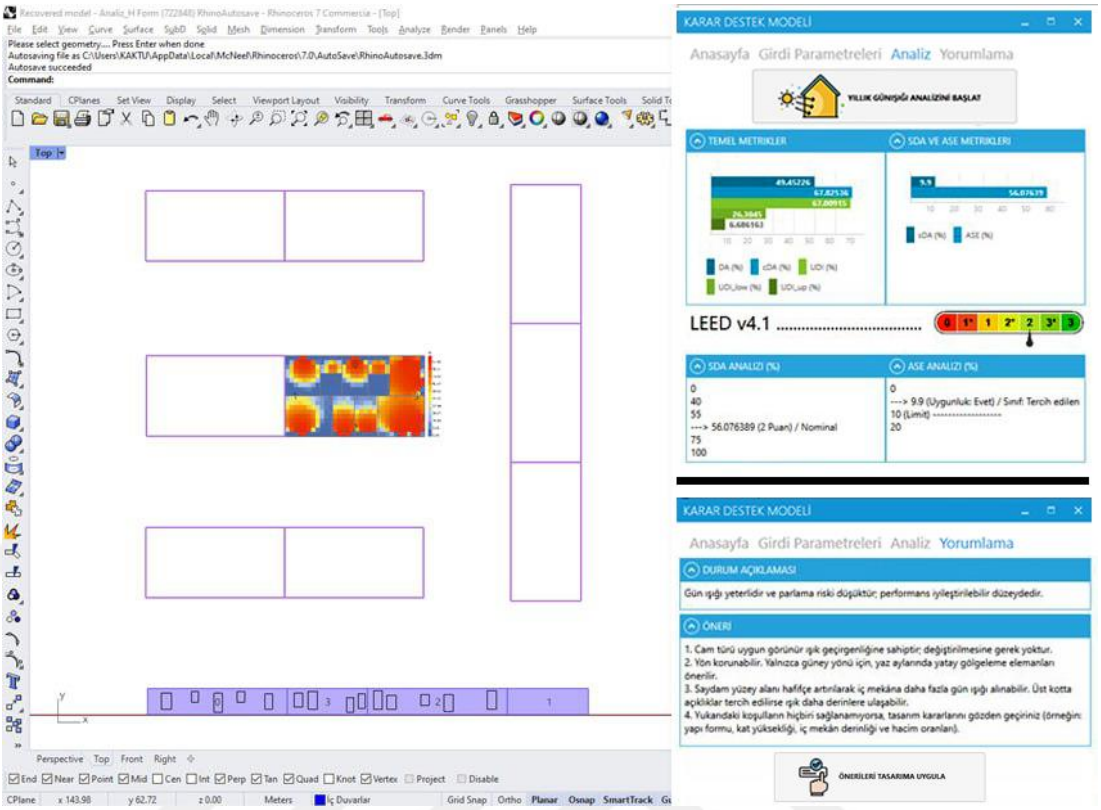
4.3.2 Dikdörtgen Form Binanın Günışığı Performansı ve İyileştirme Süreci

Bu analizde, üç cephesi açık ve bir cephesi bitişik olarak konumlandırılmış dikdörtgen formlu yapının, 3 m kat yüksekliğine sahip ve bina giriş kotundan itibaren 9 m elevasyonda bulunan katı değerlendirilmiştir. Ayrıca binanın çevresine, 10 m mesafede ve 12 m yüksekliğinde engel yapılar tanımlanmıştır. Girdi parametreleri olarak %49 geçirgenliğe sahip Solar Low-E cam, %84 tavan, %40 duvar ve %17 zemin yansıtıcılığı değerleri kullanılmıştır. Yıllık günışığı analizi, İstanbul epw dosyasıyla gerçekleştirilmiş ve sDA, ASE, UDI çıktıları üzerinden LEED v4.1 Günışığı puanı hesaplanmıştır.



Şekil 4.24: LEED V4.1 Değerlendirmesi ve Öneri Sunulması: Dikdörtgen Form

Gerçekleştirilen analiz sonucunda, yapının yıllık günışığı performansı sDA değeri %34.20 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.24). Bu değer, LEED v4.1 Günışığı Kredi sistemine göre %40 eşik değerinin altında kaldığı için 0 puan olarak değerlendirilmiştir. Aynı analizde ASE ise %9.03 olarak elde edilmiştir; bu durum, aşırı güneşlenme riskinin düşük seviyede olduğunu ve iç mekânda parlamanın sınırlı kaldığını göstermektedir. Ancak genel olarak, günışığı seviyesi oldukça düşük olup kullanıcı konforu sağlanamamaktadır.

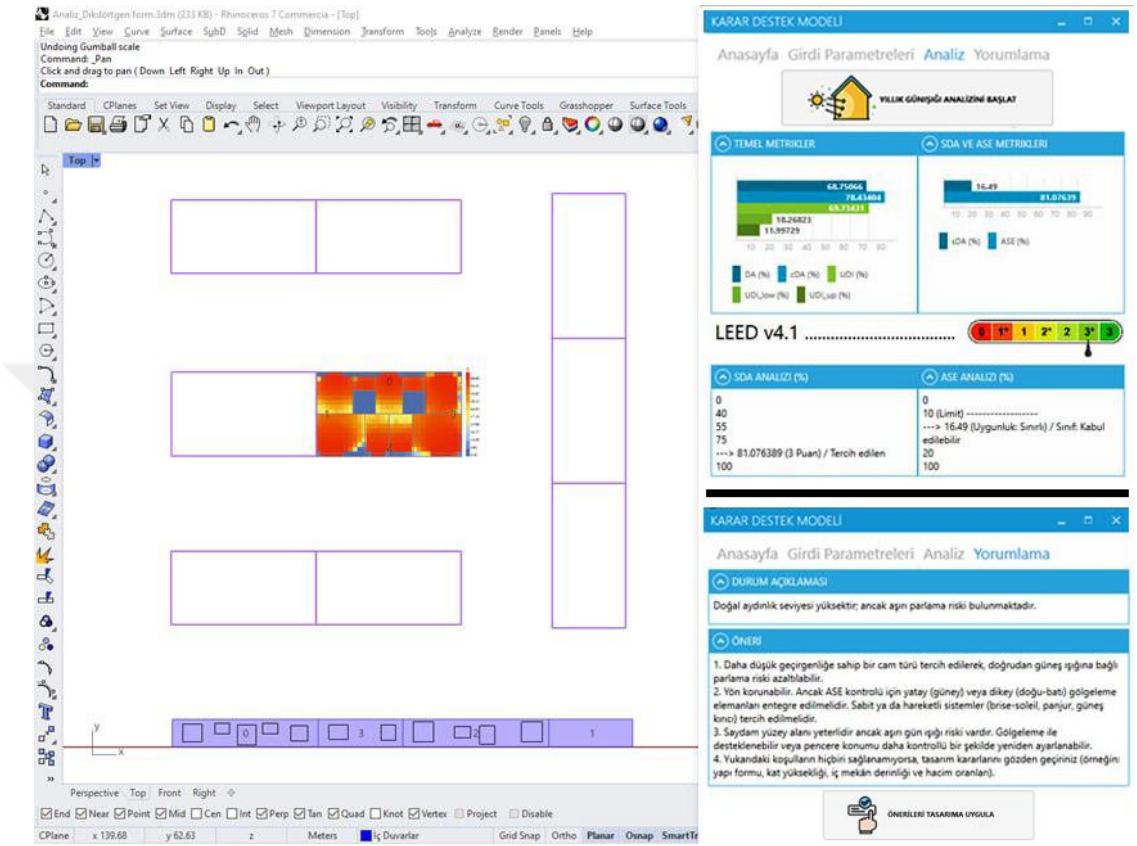


Şekil 4.25: Dikdörtgen Form İçin Yansıtıcılık Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi

İlk analiz sonucunda sDA değerinin %40 eşiğinin altında kalması nedeniyle, modelin öneri sistemi devreye alınmış ve çeşitli iyileştirme önerileri sunulmuştur. Bu doğrultuda oluşturulan yeni analiz senaryosunda, yalnızca cam türü ve iç yüzey malzemeleri değiştirilmiş; cephedeki açıklık yerleşimi ve oranı korunmuştur. Girdi parametreleri şu şekilde güncellenmiştir: cam türü olarak %79 görünür ışık geçirgenliğine sahip şeffaf çift cam tercih edilmiş, duvar yüzeyinde %75 yansıtıcılığa sahip beyaz duvar boyası, zemin yüzeyinde %26 yansıtıcılığa sahip meşe parke ve tavanda ise önceki gibi %84 yansıtıcılığa sahip beyaz boya kullanılmıştır.

Analiz sonucunda $sDA_{300/50}$% değeri %56.07 olarak hesaplanmış ve bu değer %55–%75 aralığında yer aldığından LEED v4.1 Günışığı Kredi sistemine göre 2 puan elde edilmiştir (Şekil 4.25). Aynı senaryoda $ASE_{1000/25}$% oranı %9.9 ile %10 sınırının altında kalmış ve aşırı güneşlenme riski bulunmadığı görülmüştür. Günışığı yeterliliği sağlanmış, parlamaya bağlı konforsuzluk oluşmamıştır. Bu sonuçlar, yalnızca

malzeme ve cam türü gibi parametrelerde yapılan değişikliklerin, açıklık yerleşimi sabit tutulsa bile, günışığı performansını anlamlı biçimde iyileştirebildiğini göstermektedir.



Şekil 4.26: Dikdörtgen Form İçin Cephe Tasarım Önerisinin Değerlendirilmesi ve Yeniden Analizi

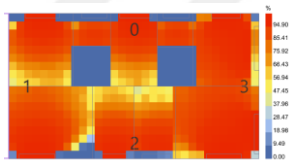
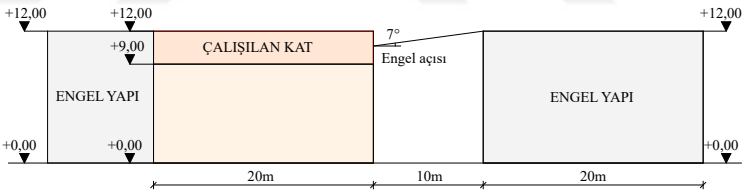
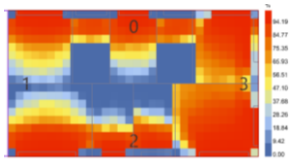
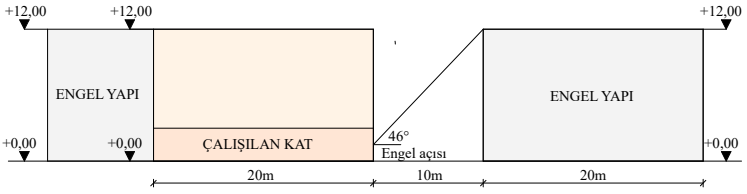
Bu senaryoda, önceki analizde kullanılan cam türü (%79 geçirgenliğe sahip şeffaf cam) ve iç yüzey malzemeleri (tavan %84, duvar %75, zemin %26 yansıtıcılık) sabit tutulmuş; yalnızca cephedeki açıklıkların konumu ve boyutları yeniden düzenlenmiştir. Diğer analiz parametreleri (kat elevasyonu: 9 m, engel mesafesi: 10 m) aynen korunmuştur.

Yapılan düzenleme sonucunda $sDA_{300/50}$% değeri %81.07'ye ulaşmış ve yapı, LEED v4.1 Günışığı puanlamasında en yüksek seviye olan 3* puanı almıştır (Şekil 4.26). Çünkü $ASE_{1000/25}$% değeri %16.49 ile %10 sınırının üzerinde kalmış; bu durum, doğal aydınlık seviyesinin yüksek olmasına rağmen aşırı parlama riski taşıdığını

göstermektedir. Bu nedenle analiz çıktısında, yatay veya dikey yönlü gölgeleme elemanlarının tasarıma entegre edilmesi önerilmiştir. Elde edilen bu sonuç, açıklık yerleşimi ve boyutlarının günışığı performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu aşamada, binanın analiz edilecek katın yerden yüksekliği değiştirilerek doğal ışık üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı binada, elevasyonu 0 m ve 9 m olan iki farklı kat değerlendirilmiştir (Tablo 4.8). Diğer tüm parametreler sabit tutulmuştur: cam türü %76 geçirgenliğe sahip şeffaf cam, tavan yansıtıcılığı %84, duvar %75, zemin %26'dır. Yapı güney yönüne yerleştirilmiş olup cephe açıklık geometrisi şekil 4.24'te gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Tablo 4.8: Engel Yüksekliğinin Günışığına Etkisi

Durum 1	sDA: 81.07	ASE: 16.49	LEED puanı: 3*
			
Durum 2	sDA: 58.50	ASE: 10.59	LEED puanı: 2*
			

.

Durum 1’de elevasyon yüksekliği 9m olarak belirlenmiş ve bu durumda sDA %81.07, ASE %16,49 olarak hesaplanmış; bina LEED v4.1 kapsamında 3* puan almıştır. Durum 2’de, katın elevasyon yüksekliği 0 olarak ayarlanmış ve aynı yapı, aynı koşullarda sDA %58.50, ASE %10.59 değerleriyle 2* puanla değerlendirilmiştir.

Bu analiz, engel yüksekliğinin oluşturduğu engel açısının günışığı performansı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Engel yapı yüksekliği arttıkça gökyüzü görüşü azalmış, iç mekâna ulaşan ışık seviyesi düşmüş ve kullanıcı konforu azalmıştır. Bu sonuç, tasarım sürecinde yalnızca iç mekân parametrelerinin değil, çevresel yapılaşma koşullarının da erken aşamada değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mimari tasarım süreci, yalnızca estetik ve işlevsel çözümler üretme pratiği değildir; aynı zamanda kullanıcı konforunu, çevresel sürdürülebilirliği ve performansa dayalı kararları da içeren çok yönlü bir değerlendirme sürecidir. Özellikle günışığı performansı, bu sürecin hem enerji verimliliği hem de görsel konfor açısından temel belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak tasarımın erken evrelerinde, bu performansın ölçülmesi ve karar vericiye anlamlı geri bildirim sunulması, hem mevcut simülasyon araçlarının teknik karmaşıklığı hem de sezgisel olmayan yapıları nedeniyle çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu bağlamda, mimarın yalnızca birkaç tasarım girdisi ile doğal aydınlatma performansını değerlendirebildiği, geri bildirim alarak kararlarını yeniden şekillendirebildiği ve bunu yaparken teknik uzmanlık gereksinimi olmadan süreci yönetebildiği bir sistem ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu tez çalışması, söz konusu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilmiş; mimari erken tasarım sürecine entegre edilebilecek, kullanıcı dostu bir arayüz ile günışığı performansını analiz eden ve LEED v4.1 Günışığı Kredisi kriterlerine göre puanlama yaparak tasarımcıyı yönlendiren bir karar destek modeli sunmuştur. Rhino–Grasshopper ortamında geliştirilen bu model, Honeybee, Colibri, Human UI ve Python bileşenleriyle desteklenmiş hem sayısal hem görsel çıktı sunabilen bir sistem olarak yapılandırılmıştır. Modelin temel amacı, sınırlı sayıda tasarım girdisiyle simülasyon gerçekleştirmek, bu girdilere göre puanlama yapmak ve yetersiz performans durumlarında kullanıcıya tasarım önerileri sunarak süreci döngüsel hale getirmektir.

Bu bağlamda, modelin ilk aşamasında Colibri eklentisi ile farklı yönlenme, açıklık boyutu, cam türü ve yüzey yansıtıcılığı parametrelerinin sistematik varyasyonları oluşturulmuş; bu varyasyonlara ait analizler Honeybee aracıyla gerçekleştirilmiştir. Ardından elde edilen sonuçlara göre sekiz farklı performans durumu sınıflandırılmış ve her durum için özel koşul–öneri eşleşmeleri tanımlanmıştır. Söz konusu öneriler, GH-Python aracılığıyla Human UI arayüzüne entegre edilerek, analiz sonucunda tasarımcılara otomatik biçimde sunulmaktadır. Böylece sistem, yalnızca performansı

ölçmekle kalmamakta, aynı zamanda eksik kalan senaryolar için eyleme geçirilebilir öneriler üretmekte ve kullanıcıyı bir sonraki tasarım kararına yönlendirmektedir.

Bu öneri sisteminin kurulmasının ardından, modelin tasarımcı etkileşimli ikinci aşamasına geçilmiş ve elde edilen önerilerin hangi durumlarda geçerli olduğunu test etmek amacıyla performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, farklı yapı formları ve yerleşim kararları [ayrık konumlanmış L form ve tek cephesi bitişik dikdörtgen form] ile cam türleri (%79, %49 ve %33 ışık geçirgenliğine sahip), yönlenmeler (K, KD, D, GD, G, GB, B, KB) ve iç yüzey malzemelerinin yansıtıcılık değerleri parametreler olarak tanımlanmış ve bu değişkenler üzerinden günışığı analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde, aynı cephe tasarımı korunarak yalnızca cam geçirgenliği değiştirildiğinde dahi sDA ve ASE değerlerinde kayda değer farklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Örneğin, %79 geçirgenliğe sahip cam malzemesi ile sDA değeri %76.9'a ulaşarak 3* LEED puanı alınabilirken (Şekil 4.22), aynı açıklık yerleşimi ve aynı diğer girdiler ve %49 IGÇ değerine sahip cam türüyle yapılan analizde sDA %62,07'ye gerilemiş ve bu senaryo 2 puanla değerlendirilmiştir (Şekil 4.23). Bu sonuçlar, yalnızca cam geçirgenliği ya da yüzey yansıtıcılığı gibi tekil parametrelerin bile günışığı performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Yine aynı analizlerde, sDA değeri yükselirken ASE'nin de arttığı ve bu durumun aşırı parlama riskine işaret ettiği senaryolar belirlenmiş; sistem bu senaryolarda cam geçirgenliğini azaltmayı veya gölgeleme elemanları kullanmayı önererek tasarımcıya yönlendirme sağlamıştır. Dolayısıyla geliştirilen model, yalnızca analiz çıktıları üreten bir yazılım aracı olmanın ötesine geçmekte; erken tasarım kararlarını yönlendiren, performansa dayalı geri bildirimler sunan bütünleşik bir rehber sistem işlevi görmektedir.

Dikdörtgen formlu yapıya ait analizlerde ise, sistemin öneri mekanizmasının yönlendiriciliği test edilmiştir. İlk senaryoda %49 geçirgenliğe sahip cam ve düşük yansıtıcılığa sahip iç yüzey malzemeleri kullanılmış; bu koşullarda sDA değeri %34.2 olarak hesaplanmış ve yapı LEED v4.1 Daylight puanlamasında 0 puan almıştır (Şekil 4.24). Ardından modelin sunduğu öneriler doğrultusunda, cam geçirgenliği %79'a, iç

yüzey yansıtıcılıkları ise daha açık renkli ve yüksek yansıtıcılığa sahip malzemelerle değiştirilmiştir. Açıklık yerleşimi bu senaryoda korunmuştur. Bu düzenleme sonucunda sDA değeri %56.07'ye ulaşmış, ASE değeri %9,9 olarak gerçekleşmiş ve senaryo 2 puanla değerlendirilmiştir (Şekil 4.25).

İzleyen adımda, cam türü ve iç yüzey malzemeleri sabit bırakılmış; yalnızca cephe açıklıklarının konumu ve boyutu optimize edilmiştir. Bu senaryoda sDA değeri %81.07 ile en yüksek puan aralığına ulaşmış ve yapı 3 puan almıştır. Ancak ASE değeri %16.49 ile %10 sınırının üzerinde kalmış, bu da iç mekânda aşırı parlama riskini beraberinde getirmiştir (Şekil 4.26). Sistem bu durumda, tasarımcıya gölgeleme elemanlarının cepheye entegre edilmesini önermiştir. Bu sonuç, yalnızca malzeme veya cam türü değil, açıklık yerleşimi gibi mimari kararların da günışığı performansı üzerinde doğrudan belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Son analizler, aynı bina içerisinde farklı kat kotlarının günışığı performansında belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Üst kotta (9 m) yapılan değerlendirmede sDA değeri %81,07, ASE değeri %16,49 olarak hesaplanmış ve yapı LEED v4.1 kapsamında 3* puan elde etmiştir. Buna karşılık, zemin katta (0 m) gerçekleştirilen analizde sDA %58,50'ye düşmüş, ASE ise %10,59'a gerilemiş ve yapı yalnızca 2* puanla değerlendirilmiştir. Bu fark, üst katlarda gökyüzü görüş açısının genişlemesi sayesinde günışığının iç mekâna daha etkin ulaştığını; zemin katta ise çevresel engeller nedeniyle performansın sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, cephe tasarımlarının değerlendirilmesinde yalnızca genel bina formu değil, kat bazlı konumlanmanın da dikkate alınması gerekmektedir. Geliştirilen model, yalnızca iç parametrelere değil, çevresel engel etkilerine karşı da duyarlı bir değerlendirme sunarak bütüncül bir karar destek aracı olarak işlev görmüştür.

Model, tasarımcıdan yapı yönlenmesi, cam türü, iç yüzey malzeme özellikleri ve çevredeki engel yapıların konumu ile .epw formatında iklim verisinin yüklenmesini talep etmektedir. Bu sınırlı veri girişine rağmen model, analiz sürecini otomatik olarak başlatmakta ve sonuçları hem sayısal (sDA, ASE, UDI) hem de görsel çıktılar şeklinde sunmaktadır. LEED Günışığı Kredisi puanlaması kapsamında yeterli skor elde edilemediği durumlarda, sistem tasarımcıya öneriler geliştirerek iyileştirme yönünde

yeni tasarım döngülerini tetiklemektedir. Bu yapı sayesinde model, sezgisel kullanıcı etkileşimi ile bilimsel analizleri birleştiren yönlendirici bir karar destek aracı olarak işlev görmekte; performansa dayalı tasarımın erken aşamada etkin biçimde yönlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu doğrultuda, geliştirilen modelin mimari tasarım sürecinde önemli bir boşluğu doldurduğu ve erken aşamada karar alma süreçlerini hem hızlandırdığı hem de niteliksel açıdan desteklediği sonucuna varılmıştır. Modelin sunduğu öneri sistemleri, performansın yetersiz olduğu durumlarda tasarımcıya rehberlik etmiş; varyasyonlar arasında karşılaştırma imkânı sunarak yönlendirici bir karar mekanizması oluşturmuştur. Modelin LEED v4.1 kriterlerine doğrudan entegre biçimde çalışması, uluslararası standartlarla uyumlu sonuçlar üretmesini sağlamış ve sürdürülebilir tasarım hedeflerine katkıda bulunmuştur.

Gelecek çalışmalarda, bu modelin kapsamı daha da genişletilerek iç mekân termal konfor analizleriyle entegre edilebilir; gölgeleme sistemlerinin dinamik simülasyonları modele dâhil edilebilir. Ayrıca, BIM tabanlı platformlarla entegrasyon ve makine öğrenmesi algoritmalarının öneri sistemine eklenmesiyle sistemin karar üretme kapasitesi artırılabilir. Cam türleri, yüzey malzemeleri ve yönlenme kombinasyonlarının daha fazla detaylandırılması, sistemin doğruluk ve esneklik düzeyini artıracaktır. Böylelikle model, profesyonel uygulamalar ve akademik araştırmalar için kapsamlı bir karar destek sistemi haline getirilebilir.

Bu tez kapsamında geliştirilen karar destek modeli, erken tasarım sürecinde mimari günışığı performansının değerlendirilmesi ve performansa bağlı tasarım önerilerinin otomatik olarak sunulması amacıyla yapılandırılmıştır. Ancak model, belli varsayımlar ve sınırlayıcı koşullar altında kurgulanmıştır. Gelecekte yürütülecek çalışmalar, modelin hem kapsamını genişletmek hem de mevcut yapısını daha gelişmiş analiz kabiliyetleriyle bütünleştirmek bakımından önemli potansiyeller barındırmaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki geliştirme alanları önerilmektedir:

1. **İç Yüzey Malzeme Türlerinin ve Yansıtıcılık Değerlerinin Genişletilmesi**

Çalışma kapsamında tavan, duvar ve zemin yüzeyleri için sınırlı sayıda malzeme tipi tanımlanmış ve bu malzemeler belirli yansıtıcılık katsayılarına göre modellenmiştir.

Gerçekte ise iç yüzey malzemelerinin yansıtma karakteristikleri çok daha geniş bir spektrumda değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, modelin gelecekte daha fazla sayıda malzeme türü ile entegre edilebilir hale getirilmesi, analiz sonuçlarının gerçeklik düzeyini artıracak ve kullanıcıya daha fazla tasarım alternatifi sunacaktır.

2. **Cam Türü ve Görünür Işık Geçirgenliği (IGÇ) Aralığının Genişletilmesi**

Modelde cam yüzeyler yalnızca üç farklı IGÇ değeri ile temsil edilmiştir. Ancak gerçek uygulamalarda IGÇ değerleri %10 ila %90 arasında değişen çok sayıda cam alternatifi mevcuttur. Gelecek çalışmalarda farklı cam türlerinin (örneğin kaplamalı, çift katmanlı, reflektif, renklendirilmiş camlar) optik özellikleri dikkate alınarak daha hassas bir simülasyon altyapısı oluşturulması önerilmektedir.

3. **Enerji Tüketimi ve Termal Konfor Kriterlerinin Model Yapısına Dahil Edilmesi**

Bu tez kapsamında analizler yalnızca aydınlatma performansı ile sınırlandırılmıştır. Ancak cam geçirgenliği ve yüzey yansıtıcılığı gibi parametreler, binanın toplam enerji tüketimi ve iç mekân termal konforu üzerinde doğrudan etkilidir. Bu bağlamda, gelecekte geliştirilecek modellerde enerji tüketimi (ısıtma-soğutma yükleri) ile ısıl konfor indekslerinin (PMV, PPD vb.) entegre edilmesi, çok boyutlu performans değerlendirmesi açısından önem arz etmektedir.

4. **Modelin Gerçek Proje Ortamlarında Test Edilmesi ve Profesyonel Geri Bildirimlerle Geliştirilmesi**

Model, bu çalışma kapsamında teorik bir çerçevede geliştirilmiş ve akademik senaryolar üzerinden test edilmiştir. Ancak mimari tasarım sürecinde modelin ne ölçüde kullanılabilir olduğu, profesyonel tasarımcıların (mimarlar, iç mimarlar, danışmanlar) katılımıyla yürütülecek deneysel çalışmalarda değerlendirilmelidir. Bu amaçla sektör profesyonelleriyle yapılacak odak grup görüşmeleri ve pilot uygulamalar, modelin kullanıcı deneyimi bağlamında iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

5. **Farklı Geometrik Kütlelerin, Konsol ve Girinti-Çıkıntı Gibi Mimari Unsurların Analize Dahil Edilmesi**

Model, yalnızca düz cepheli ve simetrik yapı geometrilerine uygulanacak şekilde sınırlandırılmıştır. Ancak çağdaş mimarlıkta konsol, kademeli cephe, galeri boşlukları veya girinti-çıkıntı gibi üçüncü boyut etkileri yaygın biçimde kullanılmaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu tür morfolojik karmaşıklıkların modelleme sürecine entegre edilmesi, hem performans tahminlerini daha hassas hale getirecek hem de modelin mimari pratikle olan uyumunu güçlendirecektir.

6. **LEED Görünüm Kriterinin Değerlendirme Kapsamına Eklenmesi**

Bu çalışmada yalnızca LEED v4.1 Günışığı Kredi başlığındaki sDA ve ASE göstergeleri dikkate alınmıştır. Ancak aynı kategori altında "Quality Views" gibi pencere yüksekliği, görünüm kalitesi ve manzara kriterlerini içeren ek alt başlıklar da bulunmaktadır. Modelin gelecekte bu kriterleri de analiz edebilir hale getirilmesi, LEED kapsamında daha bütüncül bir değerlendirme sağlamasına olanak tanıyacaktır.

7. **Topografik Verilerin ve Peyzaj Öğelerinin Tanımlanabilir Hale Getirilmesi**

Modelde analizler düz zemin koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Ancak eğimli araziler, binaların günışığı alım kapasitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Ayrıca, ağaçlar, bitkiler ve diğer doğal engeller de gölgeleme ve manzara üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Gelecekte modelin topografik veri ile çalışabilir hale getirilmesi ve çevresel öğelerin parametrik olarak tanımlanması, analizlerin sahaya özgü olarak özelleştirilmesine olanak sağlayacaktır.

8. **Otomatik İyileştirme Mekanizmasının Geliştirilmesi**

Mevcut modelde tasarımcı, öneriler doğrultusunda manuel değişiklikler yaparak süreci yeniden başlatmaktadır. Gelecek çalışmalarda, modelin öneri kurallarını doğrudan uygulayarak parametreleri hedef değerlere taşıması ve süreci yinelenen döngüler halinde kendiliğinden çalıştırması planlanmaktadır. Böylece model, yalnızca analiz ve öneri sunan değil, aynı zamanda tasarım parametrelerini kendisi optimize eden daha ileri düzeyde bir karar destek aracına dönüşecektir.

KAYNAKÇA

Abdelhamid, Y. M. S., Wahba, S. M., & ElHusseiny, M. (2023). The Effect of Parametric Patterned Façade Variations on Daylight Quality, Visual Comfort, and Daylight Performance in Arc hitecture Studio-Based Tutoring. Journal of Daylighting, 10(2), 173-191

Abdelhakim, M., Lim, Y. W., & Kandar, M. Z. (2019). Optimum glazing configurations for visual performance in Algerian classrooms under mediterranean climate. Journal of Daylighting, 6(1), 11-22.

Acosta, I., Campano, M. Á., & Molina, J. F. (2016). Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. Applied energy, 168, 493-506.

Aish, R. ve Marsh, A. (2011). An integrated approach to algorithmic design and environmental analysis. Proceedings of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 149-155.

Aksin, F. N. (2019). *Yapı kabuklarının günışığı ve enerji bağlamında eniyilenmesinde parametrik modelleme ve evrimsel algoritma kullanımı* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Alagöz, M. (2020). Güneş verileri bağlamında optimum yapı kabuğu tasarımı odaklı bir yöntem önerisi (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Türkiye. https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/38ca7109-2661-45b6-9ab5-3712e95c8b9a

Alkhawaji (2024) Dynamic Façade Optimization Considering Daylighting and Visual Comfort, Yüksek Lisans Tezi

Alwetaishi, M., & Benjeddou, O. (2021). *Impact of window to wall ratio on energy loads in hot regions: a study of building energy performance. Energies 14 (4): 1080.*

Aries, M. B., Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of environmental psychology*, *30*(4), 533-541.

Arpacıoğlu, Ü. T. (2010). Günışığı Öncelikli Fiziksel Çevre Tasarım Destek Modeli (Doktora Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Arpacıoğlu, Ü., Çalışkan, C. İ., Şahin, B., & Ödevci, N. (2020). Mimari Planlamada, Günışığı Etkinliğinin Arttırılması için Kurgusal Tasarım Destek Modeli. Tasarım+ Kuram Journal, 16(29), 53.

ASHRAE. (2024). *ANSI/ASHRAE Standard 209-2018 Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. ANSI/ASHRAE Standard - 209.

Ashrafian, T., & Moazzen, N. (2019). The impact of glazing ratio and window configuration on occupants' comfort and energy demand: The case study of a school building in Eskisehir, Turkey. Sustainable Cities and Society, 47, 101483.

Atthaillah, A., Mangkuto, R. A., Koerniawan, M. D., Hensen, J. L., & Yuliarto, B. (2022). Optimization of daylighting design using self-shading mechanism in tropical school classrooms with bilateral openings. *Journal of Daylighting*, *9*(2), 117-136.

Attia, S., Gratia, E., De Herde, A., & Hensen, J. L. (2012). Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and buildings*, *49*, 2-15.

Ayoub, M. (2019). 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. *Solar Energy*, *194*, 360-390.

Ayoub, M. (2020). A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings. *Solar energy*, *202*, 249-275.

Balkan, S. A. (2024). *Yapay zekâ destekli görsel düşünmenin erken tasarım evresinde*

yaratıcı bilişsel süreçlerle ilişkisinin incelenmesi [Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi].

Bellia, L., Pedace, A., & Fragliasso, F. (2015). The impact of the software's choice on dynamic daylight simulations' results: A comparison between Daysim and 3ds Max Design. *Solar Energy, 122*, 249-263.

Bellia, L., Cesarano, A., Iuliano, G. F., & Spada, G. (2008). Daylight glare: a review of discomfort indexes. *Visual quality and energy efficiency in indoor lighting: today for tomorrow*, *31*.

Berköz, E., Aygün, Z. Y., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Ak, F., … Küçükdoğu, M. (1995). Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, Tübitak, INTAG201.

Bian, Y., & Ma, Y. (2017). Analysis of daylight metrics of side-lit room in Canton, south China: A comparison between daylight autonomy and daylight factor. *Energy and Buildings, 138*, 347-354.

Canlı, İ. (2022). *Urban Scale Prediction of Indoor Daylighting Illumination for Sustainable Buildings* (Master's thesis, Middle East Technical University (Türkiye)).

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and sustainable energy reviews*, *47*, 1016-1033.

Canbay Türkyılmaz, Ç. (2010). *Mimari tasarım eğitiminde erken tasarım evresinde bilginin dönüşümünün irdelenmesi ve bir model önerisi* [Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].

Cerutti, E. A. (2020). Parametric facade modelling for visual comfort optimization and overheating mitigation: A new workflow for Advancing Net Zero competition (Unpublished master's thesis). Architecture Urban Planning Construction Engineering School, Politecnico di Milano.

CIBSE, L. (1999). Daylighting and window design. *London: The Chartered Institution of Building Services Engineers*.

Council, U. G. B. (2014). LEED v4 for building design and construction. *USGBC Inc*, *332*.

Çavuşoğlu, Ö. H. (2013). *Mimarlık eğitim programında uzaktan eğitim yöntemi / Distance education method in architecture education programme* [Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi].

Çelik, K., & Ünver, F. R. (2019). Eğitim yapılarında sürdürülebilir aydınlatma tasarımı yaklaşımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 49-64

Cengiz, S. (2021). Mobil Ortamda 3D Eskiz Programlarının Erken Tasarım Evresinde Kullanımının Mimarlık Öğrencilerinin Bilişsel Aktivitelerine Etkisi [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Chen, Z., Hammad, A. W., Kamardeen, I., & Haddad, A. (2020). Optimising window design on residential building facades by considering heat transfer and natural lighting in nontropical regions of Australia. Buildings, 10(11), 206.

Çiftçi, M. E. (2023). *Mimari tasarımda gün ışığı ve gün ışığı aydınlatma sistemlerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Fine Arts University

Demirarslan, D., & Demirarslan, O. (2020). Tasarım ve tasarım süreci. *İksad Yayınevi*.

Du, T., Jansen, S., Turrin, M. and van den Dobbelsteen, A. (2020), "Effects of architectural space layouts on energy performance: a review", Sustainability, Vol. 12 No. 5, doi: 10.3390/su12051829.

Düzgün, N., & Aydın Yağmur, Ş. (2019, 18–19 Eylül). *Nitelikli aydınlatma için günışığı: Pencere camı özelliklerinin hacim içi aydınlığa etkisi*. 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi, 137–144.

Ekasiwi, S. N. N., Antaryama, I. G. N., Krisdianto, J., & Ulum, M. S. (2018, March). Correlation of classroom typologies to lighting energy performance of academic building in warm-humid climate (case study: ITS Campus Sukolilo Surabaya). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 126, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.

ElBatran, R. M., & Ismaeel, W. S. (2021). Applying a parametric design approach for optimizing daylighting and visual comfort in office buildings. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(3), 3275-3284.

Eltaweel, A., & Yuehong, S. U. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 1086-1103.

Ercan, B., & Elias-Ozkan, S. T. (2015). Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components. *Design Studies*, *38*, 33-53.

Erkan, E. Ş. (2024). *Ilımlı-nemli iklim bölgelerinde gölgeleme elemanlarının bina enerji performansına etkisinin değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Ertürk M., Calculation amount of carbon dioxide and sulfur dioxide per capita area, per unit area for the heating period: Example of Izmir, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 36 (1), 319-332, 2021.

Ershov, S., Sokolov, V., Galaktionov, V., & Voloboy, A. (2023). Virtual Light Sensing Technology for Fast Calculation of Daylight Autonomy Metrics. Sensors, 23(4), 2255.

Farivar, S., & Teimourtash, S. (2023). Impact of window design on dynamic daylight performance in an office building in Iran. *Journal of Daylighting*, *10*(1), 31-44.

Gagne, J. M. L. (2011). *An interactive performance-based expert system for daylighting in architectural design* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Galatioto, A., & Beccali, M. (2016). Aspects and issues of daylighting assessment: A review study. *Renewable & Sustainable Energy Reviews, 66*, 852-860.

Gerber, D. J., Lin, S. H. E., Pan, B. Ve Solmaz, A. S. (2012). Design Optioneering: Multi-disciplinary Design Optimization Through Parameterization, Domain Integration and Automation of a Genetic Algorithm. In Proceedings of the 2012 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, 11:1–11:8.

SimAUD ’12. San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation International.

Green Design Consulting. (2021, 22 Mart). Environmental certifications: LEED, BREEAM and HQE for buildings. https://www.greendesignconsulting.com/single-post/environmental-certifications-leed-breeam-and-hqe-for-buildings adresinden 13 Haziran 2025 tarihinde erişilmiştir.

Goldschmidt, G. (2014). Modeling the role of sketching in design idea generation. In *An anthology of theories and models of design: philosophy, approaches and empirical explorations* (pp. 433-450). London: Springer London.

Gomaa, M., & Jabi, W. (2016). Evaluating daylighting analysis of complex parametric facades. eCAADe.

Hakimazari, M., Baghoolizadeh, M., Sajadi, S. M., Kheiri, P., Moghaddam, M. Y., Rostamzadeh-Renani, M., ... & Hamooleh, M. B. *Multi-objective optimization of daylight illuminance indicators and energy usage intensity for office space in Tehran by genetic algorithm, Energy Reports, 11 (2024) 3283-3306*.

Heskett, J. (2001). Past, present, and future in design for industry. Design Issues, 17(1), 18-26.

Iesna, I. E. S. (2000). Lighting handbook. *Illuminating Engineering Society of North America, New York, USA*.

Javanmard, Z., & Nava, C. (2024). Regenerative architecture in Practice: A multifaceted exploration of cladding systems to meet LEED standards. *Energy and Buildings*, *323*, 114810.

Jakubiec, J. A. (2014). *The use of visual comfort metrics in the design of daylit spaces* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Jones, N. L. (2017). *Validated interactive daylighting analysis for architectural design* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Kazanasmaz, T., Grobe, L. O., Bauer, C., Krehel, M., & Wittkopf, S. (2016). Three approaches to optimize optical properties and size of a South-facing window for spatial Daylight Autonomy. *Building and Environment*, *102*, 243-256.

Kazanasmaz, Z. T. (2009). *Binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesi*. V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 7–9 Ekim 2009, İzmir, Türkiye.

Kılıç, Z. A., Kaya, K., & Yener, A. K. (2025). A data mining-based daylighting design decision support model for achieving visual comfort conditions in the multi-functional residential space. *Journal of Building Engineering*, *103*, 112141.

Kılıç, Z. A. (2018). Cephe açıklıklarının iç mekandaki günışığı performansına etkisinin konut örneğinde incelenmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

Kızılırmak, H. (2010). Mimari tasarım sürecinin betimlenmesi. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Kider, J. T., Walter, B., Fang, S., Sekkin, E., & Greenberg, D. P. (2019). Transition Portal for daylighting calculations in early phase design. *Energy and Buildings*, *198*, 353-363.

Khidmat, R. P., Fukuda, H., Paramita, B., Qingsong, M., & Hariyadi, A. (2022). Investigation into the daylight performance of expanded-metal shading through parametric design and multi-objective optimisation in Japan. *Journal of Building Engineering*, *51*, 104241.

Kleindienst, S. A. (2010). *Time-varied daylighting performance to enable a goal-driven design process* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Kızılörenli, E., & Maden, F. (2023). Modular responsive facade proposals based on semi- regular and demi-regular tessellation: Daylighting and visual comfort. Frontiers of Architectural Research, 12(4), 601-612.

Korsavi, S. S., Zomorodian, Z. S., & Tahsildoost, M. (2016). Visual comfort assessment of daylit and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in Kashan, Iran. *Energy and Buildings*, *128*, 305-318.

Kutlu, R. (2019). Bir Tasarim Öğesi Olarak Günişiği. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, *9*(2), 226-233.

Lam, W. (1977) Perception and Lighting as Formgivers for Architecture, McGraw-Hill.

Lawson B. (1980). *"The Design Process", How designers think.* Oxford: Architectural Press.

Le-Thanh, L., Nguyen-Thi-Viet, H., Lee, J., & Nguyen-Xuan, H. (2022). Machine learning-based real-time daylight analysis in buildings. *Journal of Building Engineering*, *52*, 104374.

Lin, C. H., & Tsay, Y. S. (2021). A metamodel based on intermediary features for daylight performance prediction of façade design. Building and Environment, 206, 108371.

Liu, J., Li, Z., Zhong, Q., Wu, J., & Xie, L. (2024). Multi-objective optimization of daylighting performance and energy consumption of educational buildings in different climatic zones of China. *Journal of Building Engineering*, *95*, 110322.

Lm, I. (2013). Approved method: IES spatial Daylight autonomy (sDA) and annual sunlight exposure (ASE). *Illum Eng Soc https//www ies org/product/ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase*.

Ma'bdeh, S., & Matar, H. (2020). Designing a dynamic fenestration to improve visual performance in educational spaces using daylight. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 8(3), 1898-1910.

Mahdavinejad, M., Bazazzadeh, H., Mehrvarz, F., Berardi, U., Nasr, T., Pourbagher, S., & Hoseinzadeh, S. (2024). The impact of facade geometry on visual comfort and energy consumption in an office building in different climates. *Energy Reports*, *11*, 1-17.

Mandala, A. (2019, February). Lighting Quality in the Architectural Design Studio (Case Study: Architecture Design Studio at Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 238, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.

Mangkuto, Rizki A. & Rohmah, Mardliyahtur & Asri, Anindya Dian, 2016. "Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics," Applied Energy, Elsevier, vol. 164(C), pages 211-219.

Mardaljevic, J. (2015). Climate-based daylight modelling and its discontents. Simple Buildings Better Buildings? Delivering Performance through Engineered Solutions, CIBSE Technical Symposium. London.

Mardaljevıc, J. and Janes, G., 2012. Multiscale daylight modeling for urban environments. IN: Beckers, B. (ed.). Solar Energy at Urban Scale. London: ISTE and John Wiley & Sons, pp.159-190.

Mashaly, I. A., Garcia-Hansen, V., Isoardi, G., & Cholette, M. E. (2021). CFStrace: An evaluation method to include complex fenestration systems in the façade design process. *Solar Energy*, *217*, 253-262.

Mostafavi, F., Tahsildoost, M., Zomorodian, Z. S., & Shahrestani, S. S. (2022). An interactive assessment framework for residential space layouts using pix2pix predictive model at the early-stage building design. *Smart and Sustainable Built Environment*, *13*(4), 809-827.

Mohsenin, M., & Hu, J. (2015). Assessing Daylight Performance in Atrium Buildings by Using Climate Based Daylight Modeling. *Solar Energy, 119*, 553-560.

Mokhtari, R., Dehghan, N., & Maleki, A. (2023). Analysis of The Impact of Window Properties On the Main Living Space with The Aim of Daylight Efficiency and Energy Saving in The Hot and Dry Climate of Isfahan. Journal of Solar Energy Research, 8(1), 1235- 1249.

M. Rashid and C. Zimring. A review of the empirical literature on the relationships between indoor environment and stress in health care and office settings:

Problems and prospects of sharing evidence. Environment and Behavior, 40(2):151-190, Mar. 2008.

Nabil, A., & Mardaljevic, J. (2005). Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research & Technology, 37(1), 41-57.

Ngarambe, J., Adilkhanova, I., Uwiragiye, B., & Yun, G. Y. (2022). A review on the current usage of machine learning tools for daylighting design and control. Building and Environment, 109507

Nezamdoost, A., & Van Den Wymelenberg, K. (2016). Sensitivity study of annual and point- in-time daylight performance metrics: A 24 space multi-year field study. Proceedings of SimBuild, 6(1).

Ochoa, C. E., Aries, M. B., Van Loenen, E. J., & Hensen, J. L. (2012). Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. Applied energy, 95, 238-245.

Okutan, H. (2008). *Gün ışığı ile aydınlatmanın temel ilkeleri ve gelişmiş gün ışığı aydınlatma sistemleri* (Master's thesis, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Özer Yaman, G. (2021). Binaların Pencere/Duvar Oranı ve Yönlenme Parametrelerinin Güneş Enerjisi Kazancına Etkisi, Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 3(2), 425-441.

Öztürk, Ç. (2006)..Gelişmiş Doğal Aydınlatma Sistemleri ve Uygulama Örnekleri. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkum, E. (2011). *Doğal ve yapay aydınlatmanın insan psikolojisi üzerindeki etkileri* (Master's thesis, Marmara Universitesi (Turkey)).

Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Rahimian, F. P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency. *Applied Energy*, *261*, 114356.

Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: influencing factors. *Energy Procedia*, *122*, 331-336.

Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. Energy and buildings, 33(7), 683-697.

Reinhart, C., & Fitz, A. (2006). Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and buildings*, *38*(7), 824-835.

RIBA. (2020). *RIBA Architect's Handbook of Practice Management*.Londra, RIBA Publishing, Taylor & Francis.

Rowe, P., 1987. Design Thinking, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Ruck, N., ve ark. (2000). *Daylight in buildings: A source book on daylighting systems and components* (IEA Task 21 Rapor No. LBNL-47493). Lawrence Berkeley National Laboratory.

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

Shafavi, S. N. S., Dehnavi, A. N., Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., Korsavi, S. S., & Mohaghegh, S. (2023). Façade design of side-lit spaces for different climates and surroundings by machine learning and NSGAIII. *Building and Environment*, *245*, 110851.

Sezer, F. (2005). Farkli Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenesi. *Cilt*, *10*(1).

Talaei, M., & Sangin, H. (2024). Thermal comfort, daylight, and energy performance of envelope-integrated algae-based bioshading and static shading systems through multi-objective optimization. *Journal of Building Engineering*, *90*, 109435.

Taşoluk, D. (2014). Mimari tasarıma bir girdi olarak doğal aydınlatma, Konya'daki ofis binalarının doğal aydınlatma bakımından incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Tekbıyık, G. (2018). *Sürdürülebilir mimarlıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, kamu binalarında uygulama yöntemleri ve örneklerinin incelenmesi* (Master's thesis, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü).

Tsay, Y. S., Wu, M. S., & Lin, C. H. (2022). An Integrated User Interface of Assessment and Optimization for Architectural Façade Shading Designs in Taiwan. Buildings, 12(12), 2116.

TT Toolbox. (2021). Colibri. Food4Rhino. https://www.food4rhino.com/en/app/colibri

Türk Dil Kurumu. (t.y.). Güncel Türkçe Sözlük. TDK Çevrimiçi Sözlük. Erişim tarihi: 5 Mart 2025, https://sozluk.gov.tr/

U.S. Green Building Council. (t.y.). *LEED v4.1*. U.S. Green Building Council. Erişim tarihi: 8 Eylül 2024, https://www.usgbc.org/leed/v41

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.

Vaidhyanathan, Vishal & Wang, Jichen. (2021). Real-Time Light Simulation Methodology for Expedited Comparison and Optimization Studies through Agent-Based Photon Modelling. 10.26868/25222708.2021.30572.

VELUX Knowledge Centre for Daylight, E. and I. C. (DEIC). (2014). Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book.

Vries, M., Wagter, H., "A CAAD Model For Use in Early Design Phases", The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge an the Media in the Computer Era, McCullough, M., Mitchell, W. J., Purcell, P., The MIT Pres, United States of America, 215-218 (1991).

Wienold, J. (2009). *Dynamic daylight glare evaluation*. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009. Retrieved from https://www.aivc.org/resource/dynamic-daylight-glare-evaluation

Yener, A. K. (2005). Binaların enerji etkin aydınlatma sistemleri olarak tasarlanması. *3. Aydınlatma Sempozyumu* (ss. 151–156). Ankara.

Yücel, Ş. B. (2019). *Açık planlı ofislerde aydınlatma tasarımının irdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yüksek İ., Mıhlayanlar, E., Tıkansak, T. E. (2015). Konut Kullanıcılarının İç Ortam Konfor Koşullarından Memnuniyetlerinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 2141-2149, İzmir.

Zahra, Sadat, Zomorodian., Mohammad, Tahsildoost. (2019). Assessing the effectiveness of dynamic metrics in predicting daylight availability and visual comfort in classrooms. Renewable Energy, 134:669-680. doi: 10.1016/J.RENENE.2018.11.072

Zolfaghari, Z., & Jones, J. (2022). A multi-variable building energy optimization: assessing the role of energy efficient lighting technology in changing the optimal window-to-wall ratio in an office building. International Journal of Sustainable Energy, 41(11), 1819-1835.

Zhang, A., Bokel, R., van den Dobbelsteen, A., Sun, Y., Huang, Q., & Zhang, Q. (2017). Optimization of thermal and daylight performance of school buildings based on a multi-objective genetic algorithm in the cold climate of China. Energy and Buildings, 139, 371-384.

EKLER

EK1. Karma Açılı Binanın Analiz Sonuçları

Analiz Sırası	Tasarım ID	İç Yüzey Yansıtıcılığı	İGÇ (%)	Yön	sDA (%)	ASE (%)	DA (%)	cDA (%)	UDI (%)	UDI_low (%)	UDI_up (%)	sDA LEED puanı	ASE LEED Uygunluğu	Doluluk oranı (%)
1	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	G	58.9	16.03	51.22	64.95	66.375	30.323	3.30	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
2	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	G	32.63	7.94	33.134	56.07	62.087	35.749	2.16	0 (Düşük)	EVET	21
3	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	G	18.66	1.91	20.727	46.19	53.984	45.101	0.92	0 (Düşük)	EVET	21
4	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	G	44.16	9.9	40.927	60.48	64.377	33.25	2.37	1 (Düşük)	EVET	21
5	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GD	59.07	13.6	51.369	65.07	66.7	30.263	3.04	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
6	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GD	32.63	7.55	33.365	55.83	61.395	36.362	2.24	0 (Düşük)	EVET	21
7	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GD	19.74	1.59	21.828	46.86	54.616	44.455	0.93	0 (Düşük)	EVET	21
8	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GD	43.32	10.6	40.572	60	63.798	33.775	2.43	1 (Düşük)	SINIRLI	21
9	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	D	57.63	14.3	50.869	64.91	66.713	30.368	2.92	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
10	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	D	33.38	7.89	33.285	55.63	61.023	36.534	2.44	0 (Düşük)	EVET	21
11	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	D	17.41	2.3	20.176	45.11	51.996	46.957	1.05	0 (Düşük)	EVET	21
12	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	D	44	11.1	40.846	60.17	64.113	33.502	2.39	1 (Düşük)	SINIRLI	21
13	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KD	56.72	16.28	50.107	64.42	66.197	30.626	3.18	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
14	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KD	34.34	9.41	32.827	54.96	60.346	37.131	2.52	0 (Düşük)	EVET	21
15	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KD	20.89	4.03	22.584	46.28	52.205	46.427	1.37	0 (Düşük)	EVET	21
16	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KD	45.1	10.52	40.193	59.53	63.98	33.654	2.37	1 (Düşük)	SINIRLI	21
17	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	K	56.18	17.24	49.152	63.86	65.754	30.996	3.25	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
18	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	K	34.48	7.81	32.759	54.87	60.472	37.192	2.34	0 (Düşük)	EVET	21
19	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	K	19.97	3.98	21.38	45.16	50.569	48.068	1.36	0 (Düşük)	EVET	21
20	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	K	45.74	10.06	40.432	59.45	64.067	33.805	2.13	1 (Düşük)	SINIRLI	21
21	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KB	55.44	16.28	48.856	63.69	65.539	30.955	3.51	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
22	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KB	33.95	6.11	31.885	54.68	61	36.833	2.17	0 (Düşük)	EVET	21
23	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KB	21.82	5.11	22.65	46.22	51.693	47.002	1.30	0 (Düşük)	EVET	21
24	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	KB	45.32	8.31	39.767	59.2	64.463	33.569	1.97	1 (Düşük)	EVET	21
25	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	B	56.68	17.49	49.186	63.65	65.205	31.101	3.69	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
26	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	B	32.39	5.56	32.53	55.29	61.54	36.405	2.05	0 (Düşük)	EVET	21
27	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	B	18.35	3.45	20.832	45.42	51.534	47.243	1.22	0 (Düşük)	EVET	21
28	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	B	44.85	9.3	40.327	59.56	64.147	33.756	2.10	1 (Düşük)	EVET	21
29	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GB	57.97	16.04	50.479	64.46	65.827	30.614	3.56	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
30	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GB	32.27	6.43	32.596	55.58	61.97	35.998	2.03	0 (Düşük)	EVET	21
31	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GB	19.7	3.61	22.008	46.74	53.63	45.272	1.10	0 (Düşük)	EVET	21
32	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,40)	GB	44.14	9.62	40.252	59.8	64.241	33.591	2.17	1 (Düşük)	EVET	21
33	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	G	58.76	16.03	51.076	64.89	66.379	30.341	3.28	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
34	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	G	32.06	7.94	32.772	55.81	61.903	35.941	2.16	0 (Düşük)	EVET	21
35	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	G	18.37	1.91	20.349	45.81	53.533	45.559	0.91	0 (Düşük)	EVET	21
36	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	G	43.78	9.9	40.616	60.32	64.292	33.337	2.37	1 (Düşük)	EVET	21
37	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GD	58.56	13.6	51.089	64.95	66.654	30.335	3.01	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
38	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GD	31.88	7.55	32.884	55.44	61.007	36.77	2.22	0 (Düşük)	EVET	21
39	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GD	18.94	1.59	21.302	46.3	53.938	45.133	0.93	0 (Düşük)	EVET	21

40	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GD	43.04	10.6	40.176	59.74	63.631	33.952	2.42	1 (Düşük)	SINIRLI	21
41	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	D	57.05	14.3	50.478	64.72	66.655	30.444	2.90	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
42	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	D	32.52	7.89	32.86	55.22	60.588	36.991	2.42	0 (Düşük)	EVET	21
43	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	D	16.55	2.3	19.725	44.56	51.271	47.682	1.05	0 (Düşük)	EVET	21
44	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	D	43.47	11.1	40.576	59.97	63.911	33.713	2.38	1 (Düşük)	SINIRLI	21
45	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KD	56.2	16.28	49.76	64.2	66.069	30.773	3.16	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
46	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KD	34.1	9.41	32.437	54.69	60.128	37.374	2.50	0 (Düşük)	EVET	21
47	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KD	20.32	4.03	22.041	45.76	51.65	47.01	1.34	0 (Düşük)	EVET	21
48	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KD	44.48	10.52	39.898	59.3	63.84	33.809	2.35	1 (Düşük)	SINIRLI	21
49	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	K	55.8	17.24	48.856	63.69	65.641	31.119	3.24	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
50	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	K	34.2	7.81	32.423	54.58	60.243	37.441	2.32	0 (Düşük)	EVET	21
51	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	K	18.92	3.98	21.086	44.72	50.02	48.616	1.36	0 (Düşük)	EVET	21
52	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	K	45.55	10.06	40.23	59.28	63.933	33.941	2.13	1 (Düşük)	SINIRLI	21
53	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KB	55.16	16.28	48.597	63.56	65.458	31.07	3.47	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
54	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KB	33.24	6.11	31.538	54.45	60.841	37.018	2.14	0 (Düşük)	EVET	21
55	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KB	20.92	5.11	22.092	45.67	51.09	47.623	1.29	0 (Düşük)	EVET	21
56	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	KB	45.18	8.31	39.541	59.01	64.243	33.798	1.96	1 (Düşük)	EVET	21
57	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	B	56.44	17.49	48.877	63.49	65.124	31.204	3.67	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
58	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	B	31.91	5.56	32.063	54.95	61.282	36.681	2.04	0 (Düşük)	EVET	21
59	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	B	17.54	3.45	20.312	44.85	50.95	47.842	1.21	0 (Düşük)	EVET	21
60	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	B	44.56	9.3	40.029	59.35	63.976	33.933	2.09	1 (Düşük)	EVET	21
61	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GB	58.26	16.04	50.291	64.38	65.833	30.643	3.52	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
62	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GB	31.89	6.43	32.28	55.46	61.976	36.012	2.01	0 (Düşük)	EVET	21
63	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GB	18.86	3.61	21.698	46.46	53.369	45.54	1.09	0 (Düşük)	EVET	21
64	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,40)	GB	43.67	9.62	39.974	59.64	64.154	33.689	2.16	1 (Düşük)	EVET	21
65	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	G	73.35	19.04	63.87	71.26	66.1	26.429	7.47	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
66	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	G	59.33	9.33	52.471	67.7	67.559	27.906	4.54	2 (Kabul e.)	EVET	21
67	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	G	41.05	2.39	38.252	59.46	64.943	33.313	1.74	1 (Düşük)	EVET	21
68	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	G	66.27	12.11	57.765	70.12	68.606	26.505	4.89	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
69	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GD	74.03	15.75	64.109	71.34	66.413	26.413	7.17	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
70	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GD	58.74	9	51.941	67.32	67.193	28.127	4.68	2 (Kabul e.)	EVET	21
71	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GD	39.38	2.16	38.383	59.56	65.226	33.002	1.77	0 (Düşük)	EVET	21
72	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GD	64.65	12.28	56.965	69.75	68.328	26.66	5.01	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
73	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	D	74.32	16.59	63.941	71.23	66.441	26.479	7.08	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
74	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	D	58.25	9.37	51.398	67.2	67.139	27.963	4.90	2 (Kabul e.)	EVET	21
75	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	D	39.74	3.01	36.853	58.56	64.671	33.555	1.77	0 (Düşük)	EVET	21
76	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	D	64.37	13.01	57.122	69.9	68.412	26.602	4.99	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
77	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KD	73.39	18.92	63.39	70.91	65.755	26.728	7.52	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
78	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KD	56.58	11.14	50.161	66.91	67.519	27.559	4.92	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
79	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KD	41.5	4.85	37.241	58.67	64.518	33.134	2.35	1 (Düşük)	EVET	21
80	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KD	61.58	12.2	55.79	69.72	69.015	26.076	4.91	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
81	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	K	71.65	20.07	62.567	70.71	65.555	26.645	7.80	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
82	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	K	56.23	8.72	49.973	66.81	67.626	27.732	4.64	2 (Kabul e.)	EVET	21
83	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	K	40.52	4.89	36.543	58.24	64.166	33.498	2.34	1 (Düşük)	EVET	21
84	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	K	62.21	12.4	55.578	69.59	69.126	26.374	4.50	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
85	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KB	71.78	18.43	62.396	70.58	65.137	26.794	8.07	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
86	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KB	55.3	6.97	49.715	67.01	68.393	27.291	4.32	2 (Kabul e.)	EVET	21
87	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KB	41.31	5.87	36.841	58.04	63.874	33.69	2.44	1 (Düşük)	EVET	21
88	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	KB	60.74	10.41	55.083	69.71	69.944	25.796	4.26	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
89	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	B	71.54	19.93	62.179	70.58	65.183	26.702	8.12	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
90	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	B	57.4	6.37	50.76	67.18	68.079	27.728	4.19	2 (Kabul e.)	EVET	21
91	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	B	40.39	4.12	37.096	58.46	63.985	33.769	2.25	1 (Düşük)	EVET	21
92	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	B	62.91	11.12	55.886	69.66	69.336	26.32	4.34	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
93	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GB	72.84	18.53	63.137	70.99	65.481	26.526	7.99	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27

94	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GB	58.26	7.6	51.565	67.55	68.081	27.692	4.23	2 (Kabul e.)	EVET	21
95	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GB	41.42	4.27	38.165	59.16	64.4	33.616	1.98	1 (Düşük)	EVET	21
96	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,69)	GB	63.93	11.73	56.449	69.79	69.035	26.416	4.55	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
97	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	G	73.3	19.04	63.759	71.21	66.204	26.456	7.34	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
98	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	G	59.23	9.33	52.223	67.57	67.517	28.019	4.46	2 (Kabul e.)	EVET	21
99	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	G	40.48	2.39	37.886	59.24	64.796	33.498	1.71	1 (Düşük)	EVET	21
100	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	G	66.41	12.11	57.611	70.02	68.546	26.605	4.85	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
101	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GD	74.07	15.75	63.931	71.26	66.509	26.454	7.04	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
102	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GD	58.46	9	51.515	67.07	67.127	28.293	4.58	2 (Kabul e.)	EVET	21
103	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GD	38.91	2.16	37.743	59.07	64.773	33.476	1.75	0 (Düşük)	EVET	21
104	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GD	63.81	12.28	56.606	69.55	68.196	26.851	4.95	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
105	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	D	74.18	16.59	63.726	71.14	66.55	26.514	6.94	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
106	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	D	57.77	9.37	50.974	66.93	67.02	28.154	4.83	2 (Kabul e.)	EVET	21
107	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	D	38.88	3.01	36.189	57.94	64.018	34.222	1.76	0 (Düşük)	EVET	21
108	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	D	64.32	13.01	56.803	69.7	68.261	26.82	4.92	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
109	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KD	72.72	18.92	63.162	70.79	65.806	26.814	7.38	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
110	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KD	55.91	11.14	49.752	66.65	67.441	27.739	4.82	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
111	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KD	40.73	4.85	36.503	58.04	63.986	33.724	2.29	1 (Düşük)	EVET	21
112	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KD	61.05	12.2	55.47	69.56	68.992	26.177	4.83	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
113	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	K	71.17	20.07	62.419	70.63	65.583	26.697	7.72	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
114	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	K	56.03	8.72	49.524	66.55	67.501	27.928	4.57	2 (Kabul e.)	EVET	21
115	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	K	40.37	4.89	36.236	57.82	63.638	34.039	2.32	1 (Düşük)	EVET	21
116	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	K	61.49	12.4	55.263	69.45	69.051	26.499	4.45	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
117	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KB	71.73	18.43	62.243	70.51	65.235	26.864	7.90	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
118	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KB	54.82	6.97	49.462	66.84	68.386	27.387	4.23	1 (Düşük)	EVET	21
119	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KB	40.88	5.87	36.328	57.66	63.544	34.084	2.37	1 (Düşük)	EVET	21
120	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	KB	60.41	10.41	54.829	69.55	69.882	25.912	4.21	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
121	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	B	71.11	19.93	61.941	70.47	65.237	26.767	8.00	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
122	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	B	57.07	6.37	50.34	66.98	68.072	27.845	4.08	2 (Kabul e.)	EVET	21
123	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	B	39.58	4.12	36.561	58.07	63.718	34.085	2.20	0 (Düşük)	EVET	21
124	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	B	62.63	11.12	55.653	69.56	69.345	26.381	4.27	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
125	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GB	72.65	18.53	63.026	70.94	65.62	26.542	7.84	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
126	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GB	57.79	7.6	51.417	67.45	68.069	27.758	4.17	2 (Kabul e.)	EVET	21
127	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GB	41.32	4.27	37.833	58.89	64.199	33.851	1.95	1 (Düşük)	EVET	21
128	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,69)	GB	63.6	11.73	56.218	69.68	69.021	26.49	4.49	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
129	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	G	75.79	19.62	66.216	72.4	64.462	25.712	9.83	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
130	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	G	66.6	9.47	57.077	70.04	67.939	26.354	5.71	2 (Kabul e.)	EVET	21
131	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	G	47.27	2.58	43.539	62.68	67.012	30.817	2.17	1 (Düşük)	EVET	21
132	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	G	71	12.68	61.327	72.06	68.556	25.073	6.37	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
133	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GD	76.37	16.17	66.456	72.46	64.724	25.68	9.60	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
134	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GD	64.89	9.47	56.35	69.67	67.628	26.466	5.91	2 (Kabul e.)	EVET	21
135	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GD	46.32	2.39	43.32	62.71	67.149	30.634	2.22	1 (Düşük)	EVET	21
136	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GD	70.23	12.89	60.591	71.76	68.375	25.137	6.49	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
137	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	D	76.23	17.07	66.256	72.34	64.762	25.747	9.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
138	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	D	64.37	9.66	55.952	69.67	67.583	26.271	6.15	2 (Kabul e.)	EVET	21
139	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	D	46.25	3.11	41.777	61.82	66.851	31.029	2.12	1 (Düşük)	EVET	21
140	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	D	69.44	13.39	60.768	71.91	68.536	25.015	6.45	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
141	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KD	75.89	19.4	65.872	72.06	64.034	26.013	9.95	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
142	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KD	63.5	11.67	54.821	69.51	68.088	25.818	6.09	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
143	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KD	46.21	5.04	41.44	61.77	66.732	30.466	2.80	1 (Düşük)	EVET	21
144	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KD	66.76	12.73	59.822	71.95	69.101	24.477	6.42	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
145	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	K	74.23	20.64	65.176	71.97	63.891	25.862	10.25	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
146	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	K	62.6	9.29	54.671	69.47	68.236	25.976	5.79	2 (Kabul e.)	EVET	21
147	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	K	46.17	5.03	41.093	61.61	66.567	30.64	2.79	1 (Düşük)	EVET	21

148	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	K	66.95	13.17	59.6	71.86	69.28	24.698	6.02	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
149	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KB	74.64	18.82	65.088	71.87	63.476	26.041	10.48	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
150	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KB	61.22	7.21	54.681	69.7	68.997	25.598	5.40	2 (Kabul e.)	EVET	21
151	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KB	46.13	6.21	41.053	61.14	65.996	31.023	2.98	1 (Düşük)	EVET	21
152	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	KB	66.14	11.27	59.358	72	69.954	24.268	5.78	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
153	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	B	73.79	21.08	64.823	71.89	63.634	25.89	10.48	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
154	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	B	62.87	6.61	55.525	69.75	68.692	26.054	5.25	2 (Kabul e.)	EVET	21
155	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	B	46.67	4.36	41.819	61.66	66.278	31.006	2.72	1 (Düşük)	EVET	21
156	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	B	68.28	11.69	59.835	71.88	69.458	24.726	5.82	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
157	0	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GB	74.44	19.47	65.62	72.17	63.802	25.795	10.40	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
158	1	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GB	65.06	7.65	56.391	70.02	68.551	26.133	5.32	2 (Kabul e.)	EVET	21
159	2	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GB	47.56	4.36	42.995	62.26	66.446	31.11	2.44	1 (Düşük)	EVET	21
160	3	(0.8/0.9/0.6)	(0,80)	GB	68.95	11.96	60.277	71.89	69.116	24.868	6.02	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
161	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	G	75.6	19.62	66.159	72.37	64.661	25.711	9.63	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
162	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	G	65.69	9.47	56.777	69.91	67.958	26.413	5.63	2 (Kabul e.)	EVET	21
163	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	G	46.6	2.58	43.033	62.43	66.847	31.046	2.11	1 (Düşük)	EVET	21
164	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	G	70.91	12.68	61.172	71.97	68.587	25.116	6.30	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
165	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GD	76.18	16.17	66.285	72.37	64.9	25.733	9.37	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
166	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GD	64.28	9.47	56.008	69.44	67.571	26.645	5.78	2 (Kabul e.)	EVET	21
167	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GD	45.66	2.39	42.685	62.14	66.602	31.212	2.19	1 (Düşük)	EVET	21
168	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GD	69.48	12.89	60.324	71.61	68.369	25.259	6.37	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
169	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	D	76.09	17.07	66.144	72.3	64.983	25.781	9.24	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
170	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	D	64.23	9.66	55.561	69.45	67.545	26.44	6.02	2 (Kabul e.)	EVET	21
171	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	D	44.33	3.11	40.913	61.24	66.375	31.523	2.10	1 (Düşük)	EVET	21
172	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	D	68.77	13.39	60.425	71.71	68.457	25.196	6.35	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
173	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KD	75.6	19.4	65.645	71.95	64.125	26.085	9.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	27
174	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KD	62.82	11.67	54.359	69.27	68.039	25.955	6.01	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
175	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KD	45.92	5.04	40.682	61.2	66.295	30.957	2.75	1 (Düşük)	EVET	21
176	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KD	66.52	12.73	59.534	71.78	69.081	24.628	6.29	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
177	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	K	74.23	20.64	64.997	71.89	63.971	25.908	10.12	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
178	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	K	61.69	9.29	54.185	69.25	68.198	26.101	5.70	2 (Kabul e.)	EVET	21
179	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	K	45.31	5.03	40.51	61.03	65.984	31.248	2.77	1 (Düşük)	EVET	21
180	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	K	66.48	13.17	59.343	71.7	69.234	24.839	5.93	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
181	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KB	74.31	18.82	64.853	71.74	63.559	26.122	10.32	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
182	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KB	61.17	7.21	54.314	69.5	69.016	25.713	5.27	2 (Kabul e.)	EVET	21
183	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KB	44.99	6.21	40.524	60.76	65.811	31.28	2.91	1 (Düşük)	EVET	21
184	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	KB	65.52	11.27	59.06	71.84	69.91	24.427	5.66	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
185	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	B	73.65	21.08	64.617	71.79	63.753	25.962	10.29	2 (Kabul e.)	HAYIR	27
186	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	B	62.43	6.61	55.135	69.51	68.656	26.239	5.11	2 (Kabul e.)	EVET	21
187	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	B	45.9	4.36	41.365	61.34	66.025	31.315	2.66	1 (Düşük)	EVET	21
188	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	B	67.94	11.69	59.512	71.65	69.394	24.903	5.70	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
189	0	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GB	74.53	19.47	65.605	72.18	63.998	25.785	10.22	2 (Kabul e.)	SINIRLI	27
190	1	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GB	64.17	7.65	56.09	69.85	68.521	26.239	5.24	2 (Kabul e.)	EVET	21
191	2	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GB	47.05	4.36	42.52	61.97	66.431	31.186	2.38	1 (Düşük)	EVET	21
192	3	(0.5/0.7/0.2)	(0,80)	GB	68.57	11.96	60.066	71.77	69.102	24.978	5.92	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21

EK 2.Dik Açılı Binanın Analiz Sonuçları

Analiz Sırası	Tasarım ID	İç Yüzey Yansıtıcılığı	VLT (%)	Yön	sDA (%)	ASE (%)	DA (%)	cDA (%)	UDI (%)	UDI low (%)	UDI up (%)	sDA LEED puanı	ASE LEED Uygunluğu	Doluluk oranı (%)
1	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KB	38.77	8.14	42.5	68.99	76.78	21.29	1.93	0 (Düşük)	EVET	12
2	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KD	47.49	7.27	46.25	70.68	77.53	20.48	1.99	1 (Düşük)	EVET	12
3	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	K	49.77	8.1	47.95	71.41	77.69	20.18	2.13	1 (Düşük)	EVET	12
4	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GD	52.67	7.85	47.8	71.85	78.23	19.57	2.21	1 (Düşük)	EVET	12
5	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	D	56.97	9.21	50.29	72.72	78.32	19.38	2.30	2 (Kabul e.)	EVET	12
6	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KB	38.46	8.14	42.12	68.75	76.67	21.41	1.92	0 (Düşük)	EVET	12
7	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KD	47.7	7.27	45.77	70.47	77.45	20.57	1.98	1 (Düşük)	EVET	12
8	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	K	49.02	8.1	47.46	71.15	77.55	20.33	2.12	1 (Düşük)	EVET	12
9	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GD	52.13	7.85	47.43	71.66	78.16	19.64	2.20	1 (Düşük)	EVET	12
10	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	D	56.56	9.21	49.85	72.46	78.20	19.53	2.28	2 (Kabul e.)	EVET	12
11	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GB	43.7	10.79	42.78	69.47	77.14	20.58	2.27	1 (Düşük)	SINIRLI	12
12	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	B	44.88	10.7	45.26	70.56	77.46	20.22	2.32	1 (Düşük)	SINIRLI	12
13	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	G	52.02	11.04	47.24	71.63	78.00	19.62	2.38	1 (Düşük)	SINIRLI	12
14	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GB	71.55	16.44	60.51	77.50	79.25	16.93	3.82	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
15	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	B	72.25	15.73	60.09	77.17	79.20	17.12	3.69	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
16	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KB	73.93	15.28	60.88	77.27	79.35	17.20	3.45	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
17	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	G	74.51	17.18	62.16	78.13	79.34	16.75	3.91	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
18	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	B	75.13	15.24	60.72	77.55	79.67	16.84	3.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
19	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	K	75.27	12.88	62.03	77.61	79.41	17.15	3.44	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
20	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GB	75.54	14.12	60.92	77.73	79.88	16.72	3.40	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
21	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	G	77.24	15.84	62.5	78.33	79.98	16.54	3.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
22	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KB	77.59	19.05	6.22	77.99	79.78	16.76	3.47	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
23	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GD	77.95	16.21	6.42	78.81	79.42	16.55	4.04	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
24	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KD	78.44	12.71	63.85	78.38	79.62	16.85	3.53	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
25	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	D	78.59	14.58	64.43	78.75	79.55	16.66	3.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
26	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	K	79.71	17.23	63.83	78.54	79.94	16.62	3.45	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
27	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	GD	80.14	15.94	64.61	78.98	80.07	16.35	3.57	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
28	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	D	81.78	16.15	65.61	79.27	80.15	16.32	3.53	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
29	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.4)	KD	81.97	14.84	65.46	79.16	80.12	16.38	3.51	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
30	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GB	42.65	10.79	42.31	69.26	77.05	20.68	2.27	1 (Düşük)	SINIRLI	12
31	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	B	43.77	10.7	4.49	70.35	77.35	20.35	2.30	1 (Düşük)	SINIRLI	12
32	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	G	50.6	11.04	46.69	71.42	77.96	19.68	2.36	1 (Düşük)	SINIRLI	12
33	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GB	71.72	16.44	60.22	77.39	79.23	16.97	3.80	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
34	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	B	7.18	15.73	59.83	77.05	79.19	17.17	3.64	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
35	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KB	73.42	15.28	60.59	77.16	79.33	17.25	3.42	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
36	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	G	74.22	17.18	6.19	78.02	79.34	16.79	3.87	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
37	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	K	74.49	12.88	61.64	77.44	79.37	17.23	3.40	2 (Kabul e.)	SINIRLI	16
38	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	B	74.97	15.24	60.42	77.43	79.64	16.89	3.46	2 (Kabul e.)	SINIRLI	21
39	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GB	75.09	14.12	60.62	77.61	79.84	16.77	3.39	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
40	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	G	76.92	15.84	62.24	7.82	79.96	16.58	3.46	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
41	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KB	77.25	19.05	61.88	77.88	79.75	16.80	3.45	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21

42	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GD	77.31	16.21	63.8	78.68	79.40	16.59	4.01	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
43	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KD	77.49	12.71	63.52	78.24	79.57	16.92	3.51	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
44	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	D	77.7	14.58	64.09	78.62	79.51	16.73	3.75	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
45	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	K	78.96	17.23	63.45	78.38	79.88	16.69	3.43	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
46	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	GD	79.96	15.94	64.33	78.87	80.04	16.41	3.56	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
47	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	D	81.47	16.15	65.24	79.12	80.10	16.38	3.52	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
48	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.4)	KD	81.49	14.84	6.52	79.06	80.08	16.42	3.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
49	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KD	86.67	8.12	69.93	80.64	80.03	15.75	4.22	3 (Tercih e.)	EVET	12
50	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	K	0.87	9.81	70.85	81.13	79.59	15.41	5.00	3 (Tercih e.)	EVET	12
51	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GD	88.72	9.59	71.75	81.52	79.76	15.32	4.93	3 (Tercih e.)	EVET	12
52	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KD	86.6	8.12	69.78	80.58	80.05	15.78	4.17	3 (Tercih e.)	EVET	12
53	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	K	86.6	9.81	70.5	80.97	79.61	15.48	4.91	3 (Tercih e.)	EVET	12
54	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GD	88.24	9.59	71.55	8.15	79.77	15.35	4.88	3 (Tercih e.)	EVET	12
55	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KB	92.4	22.4	77.96	84.29	78.22	13.75	8.03	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
56	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	K	92.73	20.58	78.41	84.42	78.35	13.71	7.93	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
57	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KB	92.4	22.4	77.85	84.25	78.28	13.76	7.95	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
58	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	K	92.71	20.58	78.27	84.36	78.44	13.74	7.83	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
59	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KB	83.54	10.39	6.79	80.03	79.59	15.92	4.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
60	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GB	84.89	12.3	68.84	80.57	79.29	15.63	5.08	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
61	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	B	85.61	12.13	70.06	81.02	78.98	15.38	5.65	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
62	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	G	87.81	12.65	71.6	81.58	79.03	15.20	5.77	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
63	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	D	89.38	10.83	72.64	81.78	79.53	15.19	5.27	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
64	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KB	91.57	17.7	77.07	8.39	77.55	13.90	8.55	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
65	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	B	91.7	17.25	77.14	83.95	76.98	13.86	9.16	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
66	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	K	9.18	14.87	77.35	83.94	77.93	13.89	8.18	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
67	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	B	9.19	17.02	77.58	84.21	78.23	13.76	8.00	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
68	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KD	92.24	14.62	78.11	84.16	77.84	13.83	8.33	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
69	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GB	92.26	19.25	77.59	84.11	76.69	13.80	9.51	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
70	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	D	92.32	17.02	78.65	84.37	77.40	13.77	8.83	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
71	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GB	9.25	16.23	77.81	84.31	78.41	13.72	7.88	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
72	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	G	92.71	19.15	78.21	84.30	76.66	13.76	9.59	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
73	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	KD	92.86	18.16	79.04	84.65	78.32	13.64	8.04	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
74	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	G	92.9	17.87	78.32	84.47	78.44	13.67	7.89	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
75	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GD	92.9	19.88	78.79	84.47	76.76	13.72	9.52	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
76	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	D	93.13	18.34	79.13	84.69	78.46	13.62	7.92	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
77	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.69)	GD	93.17	19.23	78.88	84.65	78.34	13.61	8.05	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
78	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KB	8.31	10.39	67.67	79.91	79.60	15.98	4.41	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
79	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GB	84.39	12.3	68.58	80.49	79.32	15.66	5.02	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
80	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	B	85.32	12.13	69.75	80.90	79.05	15.43	5.52	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
81	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	G	87.91	12.65	71.42	81.52	79.11	15.23	5.66	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
82	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	D	89.01	10.83	72.36	81.65	79.56	15.27	5.18	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
83	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	B	91.49	17.25	76.99	83.90	77.13	13.88	8.98	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
84	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KB	91.57	17.7	76.97	83.85	77.67	13.92	8.41	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
85	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	K	91.61	14.87	77.14	83.85	78.00	13.93	8.07	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
86	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	B	91.78	17.02	77.42	84.15	78.32	13.78	7.89	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21

87	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GB	91.97	19.25	77.46	84.06	76.79	13.82	9.39	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
88	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KD	92.15	14.62	77.99	84.12	77.89	13.85	8.26	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
89	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	D	92.34	17.02	78.52	84.30	77.50	13.80	8.70	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
90	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GB	92.44	16.23	77.69	84.26	78.46	13.74	7.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
91	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	G	92.59	19.15	78.07	84.24	76.78	13.78	9.43	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
92	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	G	92.77	17.87	78.19	84.42	78.52	13.69	7.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
93	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	KD	92.9	18.16	78.92	84.60	78.39	13.66	7.95	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
94	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	D	92.98	18.34	78.99	84.64	78.53	13.65	7.82	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
95	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GD	93.02	19.88	78.72	84.43	76.85	13.74	9.41	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
96	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.69)	GD	93.27	19.23	7.88	84.60	78.41	13.63	7.96	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
97	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KD	90.23	8.41	73.84	82.20	79.65	14.91	5.44	3 (Tercih e.)	EVET	12
98	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GD	91.2	9.96	75.36	82.91	78.95	14.57	6.48	3 (Tercih e.)	EVET	12
99	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KD	90.06	8.41	73.68	82.14	79.70	14.94	5.36	3 (Tercih e.)	EVET	12
100	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GD	9.14	9.96	75.23	82.88	79.01	14.59	6.39	3 (Tercih e.)	EVET	12
101	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KB	93.42	23.19	80.23	85.24	76.49	13.20	10.30	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
102	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	K	93.46	21.43	80.51	85.31	76.57	13.18	10.25	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
103	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GD	93.52	20.62	80.82	85.30	74.88	13.21	11.91	3 (Tercih e.)	HAYIR	16
104	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GD	93.54	20.29	80.91	85.50	76.71	13.10	10.19	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
105	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	K	93.37	21.43	80.39	85.26	76.69	13.21	10.11	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
106	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KB	93.37	23.19	80.14	85.26	76.57	13.22	10.20	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
107	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GD	93.52	20.29	80.8	85.45	76.79	13.12	10.08	3 (Tercih e.)	HAYIR	21
108	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GD	93.58	20.62	80.78	8.53	75.01	13.22	11.78	3 (Tercih e.)	HAYIR	16
109	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KB	88.22	10.99	72.34	81.78	79.10	15.02	5.88	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
110	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	B	89.3	12.51	74.1	82.63	78.07	14.55	7.38	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
111	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GB	8.93	12.77	73.35	82.29	78.72	14.77	6.52	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
112	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	K	90.62	10.12	74.52	82.63	78.91	14.59	6.49	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
113	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	G	90.85	13.33	75.38	83.03	78.03	14.44	7.53	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
114	0	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	D	91.66	11.16	76	83.09	78.76	14.46	6.78	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
115	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	K	92.48	15.47	7.97	84.93	76.28	13.32	10.40	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
116	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KB	92.48	18.1	79.51	84.89	75.90	13.33	10.77	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
117	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	B	92.75	17.87	79.59	84.94	75.30	13.31	11.39	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
118	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KD	92.9	15.16	80.27	85.05	76.10	13.30	10.60	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
119	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GB	9.31	19.83	79.94	85.08	74.88	13.25	11.88	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
120	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	D	93.13	17.56	8.07	85.22	75.62	13.25	11.13	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
121	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	B	93.27	17.58	79.97	85.18	76.59	13.22	10.19	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
122	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	GB	93.37	16.54	80.15	85.26	76.82	13.18	10.00	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
123	1	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	G	93.42	19.69	80.38	85.19	74.77	13.23	12.00	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
124	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	D	93.46	19.01	8.11	85.52	76.73	13.11	10.16	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
125	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	KD	93.48	18.63	81	85.47	76.53	13.13	10.34	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
126	2	0.8 / 0.9 / 0.6	(0.8)	G	93.54	18.3	80.53	85.37	76.85	13.15	10.01	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
127	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KB	87.66	10.99	72.11	81.70	79.15	15.07	5.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
128	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GB	88.92	12.77	73.11	82.21	78.73	14.81	6.46	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
129	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	B	89.01	12.51	73.88	82.52	78.19	14.61	7.21	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
130	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	K	9.05	10.12	74.32	82.54	78.99	14.63	6.38	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
131	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	G	90.75	13.33	75.16	82.95	78.14	14.48	7.38	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12

132	0	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	D	91.41	11.16	75.76	82.98	78.81	14.52	6.66	3 (Tercih e.)	SINIRLI	12
133	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	K	9.24	15.47	79.58	84.86	76.41	13.36	10.24	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
134	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KB	92.48	18.1	79.46	84.87	76.04	13.34	10.62	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
135	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	B	92.75	17.87	79.5	84.91	75.44	13.32	11.24	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
136	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KD	92.82	15.16	80.15	85.02	76.21	13.32	10.47	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
137	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	D	93.15	17.56	8.05	85.15	75.75	13.28	10.97	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
138	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	B	93.17	17.58	79.87	0.85	76.73	13.23	10.04	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
139	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GB	93.19	19.83	79.9	85.05	75.00	13.26	11.74	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
140	1	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	G	93.31	19.69	80.3	85.15	74.96	13.25	11.79	3 (Tercih e.)	SINIRLI	16
141	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	GB	93.4	16.54	80.05	85.22	76.91	13.20	9.89	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
142	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	KD	93.42	18.63	80.9	85.43	76.62	13.15	10.23	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
143	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	G	93.44	18.3	80.41	85.33	76.97	13.17	9.86	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21
144	2	0.5 / 0.7 / 0.2	(0.8)	D	93.44	19.01	80.96	8.55	76.86	13.14	10.01	3 (Tercih e.)	SINIRLI	21

EK3. Modelde Kullanılan Öneri Üretim Kodu (Python, Kısaltılmış)

```
import clr
import math

def evaluate_LEED(sDA, ASE, Yon, Cam, Duvar, Zemin):
    # Yön açısını metne çevirme
    yon_map = {
        0: "Güney",
        45: "Güneydoğu",
        90: "Doğu",
        135: "Kuzeydoğu",
        180: "Kuzey",
        225: "Kuzeybatı",
        270: "Batı",
        315: "Güneybatı"
    }
    yon_str = yon_map.get(Yon, "Bilinmeyen")

    # Durum belirleme ve puan tanımları
    durum_no = 0
    puan = 0
    durum_aciklama = ""

    if ASE <= 10:
        if sDA >= 75:
            durum_no = 1
            puan = 3
            durum_aciklama = "Doğal aydınlık seviyesi yüksektir, parlama yoktur; optimum performans sağlanmıştır."
        elif sDA >= 55:
            durum_no = 2
            puan = 2
            durum_aciklama = "Gün ışığı yeterlidir ve parlama riski düşüktür; performans iyileştirilebilir düzeydedir."
        elif sDA >= 40:
            durum_no = 3
            puan = 1
            durum_aciklama = "Gün ışığı seviyesi düşüktür ancak parlama riski bulunmamaktadır; aydınlık artırılmalıdır."
        else:
            durum_no = 4
            puan = 0
            durum_aciklama = "Gün ışığı çok düşüktür ve parlama olmasa da kullanım konforu sağlanamamaktadır."
    else:
        if sDA >= 75:
            durum_no = 5
            puan = 3
            durum_aciklama = "Doğal aydınlık seviyesi yüksektir; ancak aşırı parlama riski bulunmaktadır."
        elif sDA >= 55:
            durum_no = 6
            puan = 2
            durum_aciklama = "Doğal aydınlık yeterlidir fakat parlama riski yüksektir; iyileştirme önerilir."
        elif sDA >= 40:
            durum_no = 7
            puan = 1
            durum_aciklama = "Gün ışığı yetersizdir ancak doğrudan güneş ışığı nedeniyle parlama riski oluşmaktadır."
        else:
            durum_no = 8
```

```
        puan = 0
        durum_aciklama = "Gün ışığı yetersizdir ancak doğrudan güneş ışığı nedeniyle parlama riski oluşmaktadır."

    # Tüm durumların eksiksiz tanımları (numaralar çıkarılmış versiyon)
    table = {
        1: {
            "sub_conditions": [
                "ASE ≤ 10 ve sDA ≥ 75",
                "Cam malzemesi= %33 veya %49 veya %79",
                "Yön: Kuzey veya Kuzeybatı veya Kuzeydoğu veya Doğu veya Batı veya Güneybatı veya Güneydoğu veya Güney",
                "ASE ≤ 10 ve sDA ≥ 75"
            ],
            "kosul": [
                "ASE ≤ 10 ve sDA ≥ 75",
                "Cam malzemesi= %33 veya %49 veya %79",
                "Yön: Kuzey veya Kuzeybatı veya Kuzeydoğu veya Doğu veya Batı veya Güneybatı veya Güneydoğu veya Güney",
                "ASE ≤ 10 ve sDA ≥ 75"
            ],
            "oneri": [
                "Malzeme seçimi korunabilir.",
                "Cam türü seçimi korunabilir.",
                "Yön korunabilir; gölgeleme sistemi gerekli değildir, ancak güney yönünde yaz ayları için önleyici gölgeleme elemanları düşünülebilir.",
                "Saydam yüzey konumu ve oranı başarılıdır; mevcut açıklık düzeni korunabilir."
            ]
        },
        2: {
            "sub_conditions": [
                "Duvar yansıtılığı =  < 0.5",
                "Zemin yansıtıcılığı = <0.2",
                "Cam malzemesi= %79",
                "Cam malzemesi=%49",
                "Cam malzemesi=%33",
                "Yön= Kuzey veya Kuzeydoğu veya Kuzeybatı",
                "Yön= Güney veya Güneydoğu veya Güneybatı veya Batı",
                "Her koşulda",
                "Her koşulda"
            ],
            "kosul": [
                "Duvar yansıtıcılığı < 0.5 olan malzeme seçildiyse",
                "Zemin yansıtıcılığı < 0.2 olan malzeme seçildiyse",
                "Şeffaf Çift Cam (%79) seçildiyse",
                "Solar Low-E Cam (%49) seçilsiyse",
                "Füme Solar Low-E (%33) cam seçildiyse",
                "Yön Kuzey, Kuzeydoğu veya Kuzeybatı ise",
                "Yön Güney, Güneydoğu, Doğu, Güneybatı, Batı ise",
                "Her koşulda",
                "Her koşulda"
            ],
            "oneri": [
                "Duvar yüzeyleri için önerilen aralık 0.50 – 0.80 dir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek duvar malzemesi seçiniz.",
                "Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri yüksek zemin malzemesi seçiniz.",
                "Cam türü uygun görünür ışık geçirgenliğine sahiptir; değiştirilmesine gerek yoktur.",
                "Daha yüksek geçirgenliğe sahip bir cam türü tercih edilerek iç mekânda gün ışığı performansı artırılabilir.",
                "Görünümler, görünür ışık geçirgenliği %40'ın üzerinde olan camdan olmalıdır. Yüksek ışık geçirgenliğe sahip olan cam türü seçilmelidir.",
                "Yapı güneydoğuya veya güney yönüne döndürülerek gün ışığı potansiyeli artırılmalıdır.",
```

```
            "Yön korunabilir. Yalnızca güney yönü için, yaz aylarında yatay gölgeleme elemanları önerilir.",
            "Saydam yüzey alanı hafifçe artırılarak iç mekâna daha fazla gün ışığı alınabilir. Üst kotta açıklıklar tercih edilirse ışık daha derinlere ulaşabilir.",
            "Yukarıdaki koşulların hiçbiri sağlanamıyorsa, tasarım kararlarını gözden geçiriniz (örneğin: yapı formu, kat yüksekliği, iç mekân derinliği ve hacim oranları)."
        ]
```

.....

```
        "oneri": [
            "Duvar yüzeyleri için önerilen aralık 0.50 – 0.80 dir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri düşük duvar malzemesi seçiniz.",
            "Zemin yüzeyleri için önerilen aralık 0.20 – 0.60 olarak belirtilmektedir (TS EN 12464-1:2021). Yansıtıcılık değeri düşük zemin malzemesi seçiniz.",
            "Daha düşük geçirgenliğe sahip bir cam türü tercih edilerek, doğrudan güneş ışığına bağlı parlama riski azaltılabilir.",
            "Daha düşük geçirgenliğe sahip bir cam türü tercih edilerek, ASE (Yıllık Güneş Işığı Alımı) değeri düşürülebilir ve görsel konfor iyileştirilebilir.",
            "Görünümler, görünür ışık geçirgenliği %40'ın üzerinde olan camdan olmalıdır. Orta ışık geçirgenliğe sahip olan cam türü seçilmelidir.",
            "Yön değiştirilmesi önerilir. Gölgeleme yetersiz kalabilir; yapı güneydoğuya döndürülerek hem sDA hem ASE iyileştirilebilir.",
            "Yön korunabilir. ASE kontrolü için yatay/dikey gölgeleme sistemleri kullanılmalıdır.",
            "Saydam yüzey alanı artırılmalı ve daha dengeli yerleştirilmeli; aynı zamanda ASE etkisini azaltmak için pencere konumlandırması yeniden düşünülmelidir (örneğin doğrudan güneş alan konumdan kaçınılmalı).",
            "Yukarıdaki koşulların hiçbiri sağlanamıyorsa, tasarım kararlarını gözden geçiriniz (örneğin: yapı formu, kat yüksekliği, iç mekân derinliği ve hacim oranları)."
        ]
    }
}

# Seçilen durumun verileri
data = table.get(durum_no, {})
sub_conditions = data.get("sub_conditions", [])
kosul_list = data.get("kosul", [])
oneri_list = data.get("oneri", [])

# Koşulları değerlendirme
kosul_sonuc = []
oneri_sonuc = []

for i, cond in enumerate(sub_conditions):
    kosul = kosul_list[i] if i < len(kosul_list) else ""
    oneri = oneri_list[i] if i < len(oneri_list) else ""

    # Her koşulda geçerli olanlar
    if "Her koşulda" in cond:
        kosul_sonuc.append(kosul)
        oneri_sonuc.append(oneri)
        continue

    # Cam koşulları
    if "Cam malzemesi" in cond:
        cam_values = []
        if "%33" in cond: cam_values.append(33)
        if "%49" in cond: cam_values.append(49)
        if "%79" in cond: cam_values.append(79)

        if Cam in cam_values:
            kosul_sonuc.append(kosul)
            oneri_sonuc.append(oneri)

    # Duvar koşulu
```

```
        elif "Duvar" in cond:
            if "<" in cond and Duvar < 0.5:
                kosul_sonuc.append(kosul)
                oneri_sonuc.append(oneri)
            elif ">" in cond and Duvar > 0.8:
                kosul_sonuc.append(kosul)
                oneri_sonuc.append(oneri)

        # Zemin koşulu
        elif "Zemin" in cond:
            if "<" in cond and Zemin < 0.2:
                kosul_sonuc.append(kosul)
                oneri_sonuc.append(oneri)
            elif ">" in cond and Zemin > 0.6:
                kosul_sonuc.append(kosul)
                oneri_sonuc.append(oneri)

        # Yön koşulu
        elif "Yön" in cond:
            yon_gecerli = False
            if "Kuzey" in cond and yon_str == "Kuzey": yon_gecerli = True
            if "Güney" in cond and yon_str == "Güney": yon_gecerli = True
            if "Doğu" in cond and yon_str == "Doğu": yon_gecerli = True
            if "Batı" in cond and yon_str == "Batı": yon_gecerli = True
            if "Kuzeydoğu" in cond and yon_str == "Kuzeydoğu": yon_gecerli = True
            if "Kuzeybatı" in cond and yon_str == "Kuzeybatı": yon_gecerli = True
            if "Güneydoğu" in cond and yon_str == "Güneydoğu": yon_gecerli = True
            if "Güneybatı" in cond and yon_str == "Güneybatı": yon_gecerli = True

            if yon_gecerli:
                kosul_sonuc.append(kosul)
                oneri_sonuc.append(oneri)

    # Çıktıları birleştirme
    kosul_cikti = "\n".join(kosul_sonuc)
    oneri_cikti = "\n".join(oneri_sonuc)

    return durum_no, puan, durum_aciklama, kosul_cikti, oneri_cikti

# Grasshopper girişleri
sDA = float(sDA)
ASE = float(ASE)
Yon = float(Yon)
Cam = float(Cam)
Duvar = float(Duvar)
Zemin = float(Zemin)

# Fonksiyonu çalıştırma ve 5 çıktı döndürme
durum_no, puan, durum_aciklama, kosul, oneri = evaluate_LEED(sDA, ASE, Yon, Cam, Duvar, Zemin
```

ÖZGEÇMİŞ

Nur Sümeyye YALÇIN KOÇAK

Yüksek Mimar

EĞİTİM

Lisans: 2011-2017 Viyana Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Kentsel Planlama Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans: 2017 – 2018, Viyana Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Kentsel Planlama Fakültesi, Mimarlık ve Tasarım Enstitüsü, Mimarlık Bölümü

Doktora: 2020 – 2025, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Doktora Programı

AKADEMİK DENEYİM

2020-2025 Öğretim Görevlisi, Proje Yürütücüsü, Mimarlık Projesi 1, 2, 3, 4, Yapı 1,2 Taşıyıcı Sistemler 1,2, İleri Tasarım Sunum Teknikleri, Uygulama Projesi, Temel Tasarım 2, Mimari Çizim ve Sunum Teknikleri 1,2 İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü

2020-2025 Öğretim Görevlisi, Proje Yürütücüsü, Mimari Proje 1, 2, Yapı ve Strüktür 1,2 İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarım Bölümü

YAYINLAR, SUNUMLAR ve PATENTLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Kocak, N. S. Y., Tastemir, I. A., Koymen, E., & Yasa, E. A Digital-based Model Proposal for Optimum Building Orientation in Architecture in Ecological Context. Athens Journal of Sciences, 11, Doi: 10.30958/ajs.11-4-3

Koçak, N. S. Y., & Özdemir, Ş. (2021). ÇAMLICA CAMİİ'NİN EVRENSEL TASARIM KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, *4*(2), 133-145.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

Yalçin Koçak, N. S., Tastemir, I. A., Koymen, E., & Yasa, E. (2024). Daylight and Energy Performance Relationship of Classrooms and Office Spaces: Comparative Study of Istanbul Ticaret University Kucukyali Campus Building. In *International Association of Building Physics* (pp. 332-343). Singapore: Springer Nature Singapore.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Koçak, N. S. Y., & Öztürk, Z. K. (2022). Viyana'dan İstanbul'a endüstriyel miras değerlendirmesine yaklaşımlar: Anker Ekmek Fabrikası, Kasımpaşa ve Unkapanı un fabrikası örnekleri. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *4*(1), 31-39.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri:

Yalçın Koçak, N. S, Yalçın, M.E. (2020). Kanal İstanbul Projesi Kapsamında Düzenlenecek Olan Ulaşım Ağlarının ve Konteyner Limanlarının Lojistiğe Katkısı. IV. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)